

**А.А. Пługін, О.А. Калінін, О.А. Пługін**

# **ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Навчальний посібник**

**Харків 2013**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

А.А. Пługін, О.А. Калінін, О.А. Пługін

## ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Навчальний посібник

За загальною редакцією  
Лауреата державної премії України в галузі науки і техніки,  
доктора хімічних наук, професора А.М. Пługіна

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки,  
молоді та спорту України як навчальний посібник  
для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються  
за напрямками підготовки «Будівництво» та  
«Залізничний транспорт»*

Харків 2013

УДК 001.8  
ББК 72.4(3)  
П 402

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту  
України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних  
закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Будівництво»  
та «Залізничний транспорт»  
(№ 1/11-1588 від 06.02.12 р.).*

#### **Рецензенти:**

доктори техн. наук, професори Г.М.Шабанова (НТУ «ХП»),  
О.Г.Вандоловський (ХДТУБА)

Плугін А.А., Калінін О.А., Плугін О.А. Основи наукових  
**П 402** досліджень: Навч. посібник / За ред. проф. А.М.Плугіна. –  
Харків: УкрДАЗТ, 2013. – 378 с.

ISBN 978-966-2033-95-3

У навчальному посібнику наведено історичний нарис розвитку науки і техніки, зокрема в галузі будівництва і транспорту, відомості про наукові заклади і кадри, види і порядок проведення науково-дослідних робіт. Надано рекомендації щодо виконання кваліфікаційних науково-дослідних робіт, винахідницької діяльності і т. п. З прикладами розглянуто основні методи досліджень: теоретичних (побудови моделей об'єктів, процесів, проведення розрахункових експериментів), експериментальних (фізико-механічних та корозійних випробувань, фізико-хімічних досліджень). Наведено рекомендації і приклади з розроблення оригінальних методик досліджень, проведення кількісного експерименту, побудови графіків залежностей, підбору емпіричних формул.

Навчальний посібник призначений: для засвоєння курсу «Основи наукових досліджень» студентами спеціальностей «Промислове та цивільне будівництво» і «Залізничні споруди і колійне господарство»; для методичної допомоги у науково-дослідній роботі студентів, магістрантів, аспірантів.

УДК 001.8  
ББК 72.4(3)

**ISBN 978-966-2033-95-3**

© Українська державна академія  
залізничного транспорту, 2013.

Навчальний посібник

Плугін Андрій Аркадійович,  
Калінін Олег Анатолійович,  
Плугін Олексій Андрійович

## **ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Відповідальний за випуск Плугін А.А.

Редактор Решетилова В.В.

---

Підписано до друку 10.01.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16 . Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 15,5. Тираж 300. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту  
61050, Харків - 50, майдан Фейєрбаха, 7  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Міністерство інфраструктури України  
Українська державна академія залізничного транспорту

Плугін А.А., Калінін О.А., Плугін О.А.

## ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Навчальний посібник

За загальною редакцією  
Лауреата державної премії України в галузі науки і техніки,  
доктора хімічних наук, професора А.М. Плугіна

Харків 2011



УДК 62.001.85(075)

Плугін А.А., Калінін О.А., Плугін О.А. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / За ред. проф. А.М.Плугіна.- Харків: УкрДАЗТ, 2011.- 291 с.

ISBN

У навчальному посібнику наведено історичний нарис розвитку науки і техніки, зокрема в галузі будівництва і транспорту, будівельних матеріалів, відомості про наукові заклади і науково-педагогічні кадри, види і порядок проведення науково-дослідних робіт. Надано рекомендації щодо виконання кваліфікаційних науково-дослідних робіт, винахідницької діяльності і патентування винаходів, публікації результатів досліджень. Розглянуто, у т.ч. на прикладах, основні методи теоретичних досліджень, зокрема, особливості розроблення фізичних, математичних, натурних моделей об'єктів, явищ, процесів, проведення розрахункових експериментів, досліджень твердіння в'язучих і корозії термодинамічним методом, досліджень методом анкетування. Також з прикладами наведено методи експериментальних досліджень, застосовуваних у вказаних галузях науки і техніки: фізико-механічних та корозійних випробувань, фізико-хімічних досліджень, зокрема, мікроскопічного, рентгенофазового та термічного аналізу, інфрачервоної спектроскопії, побудови діаграм стану фізико-хімічних систем. Наведені рекомендації і приклади з розроблення оригінальних методик досліджень і конструювання лабораторних установок. Викладено методику проведення кількісного експерименту, у т.ч. порядок забезпечення точності вимірювань, побудови графіків залежностей, підбору емпіричних формул.

Навчальний посібник призначений: для засвоєння курсу «Основи наукових досліджень» студентами, що навчаються за навчальними планами ОКР «бакалавр» за спеціальностями «Промислове та цивільне будівництво» і «Залізничні споруди і колійне господарство»; для допомоги у науково-дослідній роботі (НДРС) студентам, що навчаються за навчальними планами ОКР «бакалавр» і «спеціаліст» за вказаними спеціальностями; для допомоги у виконанні кваліфікаційної науково-дослідної роботи магістрантам, що навчаються за навчальними планами ОКР «магістр» за вказаними спеціальностями; для допомоги у виконанні дисертаційного дослідження аспірантам і здобувачам наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальностями «Будівельні матеріали та вироби» і «Будівельні конструкції, будівлі та споруди».

Іл.176, табл.58, бібліогр.: 29 назв.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (лист №\_\_\_\_\_ від « » \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.).

А.А.Плугін – вступ, розд. 1, 2, 3.4÷3.5, 4.1÷4.3, 5.3÷5.5, 6.3.3, дод. А, Б;

О.А.Калінін – розд. 4.4÷4.5; 5.1÷5.2; 6.1÷6.2.2, 6.3.1;

О.А.Плугін – розд. 3.1÷3.3, 6.2.3÷6.2.5, 6.3.2, дод. В, Г.

Рецензенти:

доктори техн. наук, професори Г.М.Шабанова (НТУ «ХП»),

О.Г.Вандоловський (ХДТУБА)

© УкрДАЗТ, 2011

© Плугін А.А., Калінін О.А., Плугін О.А., 2011

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ .....	9
2. ІСТОРИЧНИЙ НАРИС РОЗВИТКУ НАУКИ .....	13
2.1. Наука і техніка .....	13
2.2. Будівництво: наука, будівельні матеріали, конструкції, будівлі, споруди .....	28
3. НАУКОВІ ЗАКЛАДИ І НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНІ КАДРИ .....	63
3.1. Види наукових закладів .....	63
3.2. Науково-педагогічні кадри .....	72
3.3. Наукові заклади України .....	78
3.4. Українська державна академія залізничного транспорту .....	89
3.5. Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд .....	92
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНІ РОБОТИ .....	120
4.1. Види науково-дослідних робіт .....	120
4.2. Порядок проведення і зміст науково-дослідних робіт .....	127
4.3. Кваліфікаційні науково-дослідні роботи .....	131
4.4. Винахідницька діяльність і патентування винаходів .....	135
4.5. Публікація результатів досліджень .....	138
5. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	144
5.1. Методи теоретичних досліджень .....	144
5.2. Модель об'єкта або предмета дослідження .....	145
5.2.1. Фізичні моделі .....	145
5.2.2. Математичні моделі .....	148
5.2.3. Натурні моделі .....	151
5.3. Розрахункові експерименти .....	151
5.4. Термодинамічний метод досліджень твердіння в'язучих і корозії .....	156
5.4.1. Визначення можливості протікання хімічної реакції за значенням її вільної енергії Гіббса .....	157
5.4.2. Визначення можливості протікання обмінної реакції за результатами аналізу хімічної рівноваги .....	159
5.4.3. Визначення можливості протікання окислювально-відновлювальної реакції за результатами аналізу хімічної рівноваги .....	163
5.5. Анкетування .....	164
6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	167
6.1. Загальні поняття і визначення .....	167
6.2. Методи експериментальних досліджень .....	170
6.2.1. Фізико-механічні випробування .....	171
6.2.1.1. Визначення міцності бетону випробуванням зразків .....	172
6.2.1.2. Визначення міцності цементу .....	182
6.2.2. Фізичні методи досліджень матеріалів .....	191
6.2.2.1. Визначення середньої густини бетону .....	191
6.2.2.2. Визначення вологості бетону .....	193
6.2.2.3. Визначення водопоглинання бетону .....	195
6.2.2.4. Дослідження пористості бетону .....	196

6.2.2.5. Визначення водонепроникності бетону .....	198
6.2.2.6. Визначення морозостійкості бетону .....	200
6.2.2.7. Дослідження безнапірної водопроникності бетону .....	208
6.2.3. Корозійні випробування .....	211
6.2.4. Фізико-хімічні методи досліджень .....	220
6.2.4.1. Мікроскопічний аналіз .....	221
6.2.4.2. Інфрачервона спектроскопія .....	252
6.2.4.3. Рентгенофазовий аналіз .....	255
6.2.4.4. Диференційний термічний аналіз .....	261
6.2.4.5. Діаграми стану фізико-хімічних систем .....	265
6.2.4.6. Реологічні дослідження .....	269
6.2.5. Розроблення оригінальних методик досліджень і конструювання лабораторних установок .....	270
6.2.5.1. Дослідження карбонізації бетону .....	271
6.2.5.2. Дослідження дії струмів витoku і блукаючих струмів на бетон .....	276
6.3. Проведення кількісного експерименту .....	280
6.3.1. Забезпечення точності вимірювань .....	285
6.3.1.1. Виключення систематичних погрішностей .....	286
6.3.1.2. Врахування випадкових погрішностей .....	287
6.3.1.3. Виключення грубих погрішностей .....	291
6.3.1.4. Порівняння точності вимірювань різними методами .....	293
6.3.2. Побудова графіків залежностей .....	294
6.3.2.1. Особливості побудови графіків за експериментальними даними .....	294
6.3.2.2. Побудова графіків за допомогою ПК .....	303
6.3.3. Підбір емпіричних формул .....	310
6.3.3.1. Визначення можливості підбору емпіричної формули .....	311
6.3.3.2. Підбір емпіричних формул лінійної і параболічної залежностей за графіком .....	314
6.3.3.3. Підбір емпіричних формул лінійної і параболічної залежностей методом найменших квадратів .....	316
6.3.3.4. Підбір емпіричних формул за допомогою ПК .....	318
6.3.3.5. Перевірка адекватності моделей .....	321
6.3.3.6. Підбір емпіричних формул багатофакторних моделей .....	323
Бібліографічний список .....	327
Додаток А. Зміст навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень» для студентів .....	329
Додаток Б. Найвідоміші архітектурні стилі .....	334
Додаток В. Характеристики деяких мінералів неорганічних в'язучих, цементного каменю, бетону .....	342
Додаток Г. Методи дослідження реологічних властивостей і реологічні прилади .....	359
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК .....	363
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК .....	368

## ВСТУП

Розвиток людського суспільства, будь то становлення монархій, утворення світових імперій, розвиток капіталістичних відносин, побудова розвинутого соціалізму або розбудова держави, неможливий без відповідного розвитку матеріально-технічної бази. Розвиток матеріально-технічної бази, у свою чергу, ґрунтується на розвитку науки і техніки.

Останніми десятиріччями в Україні науці приділяється увага переважно на словах. Через хронічне недофінансування у вигляді згортання масштабних науково-технічних програм і державного замовлення на наукові дослідження, падіння реального рівня життя науковців і майнове розшарування суспільства після 1991 р. скорочувалась кількість науковців і наукових закладів, відбувався відплив найбільш талановитої молоді в бізнес та комерцію, виходило з ладу і безнадійно застарівало дослідницьке обладнання, знижувались кількість і рівень виконуваних науково-дослідних робіт, включаючи дисертаційні, і, як наслідок, – фактично знижувалась якість вищої освіти.

Проблема відпливу кадрів з цього ряду проблем є, мабуть, найболючішою, бо придбання сучасного дослідницького обладнання при наявності коштів і відсутності перешкод у вигляді тендерних процедур, які вимагають купувати не найкраще, а найдешевше, здійснюється за декілька місяців. Підготовка ж науковця високої кваліфікації, здатного на самостійне проведення на сучасному рівні наукових досліджень, триває десятки років і після закінчення ВНЗ передбачає участь у науково-дослідних роботах, аспірантуру, докторантуру, підготування і захист кандидатської і докторської дисертацій. Як правило, такого рівня науковець досягає не раніше 40-річного віку. На жаль, після 1991р. не тільки скоротився приплив кращих випускників ВНЗ в науку, а й пішло багато вчених, які подолали вже значну частину цього шляху. Багато з них емігрували або знайшли своє місце в бізнесі та є досить успішними. Проте для науки це стало значною втратою. В теперішній час у більшості закладів науки і вищої освіти дуже мало саме науково-

педагогічних працівників віком від 40 до 60 років – віком творчого розквіту вченого.

Дивовижно, що вітчизняна наука не тільки ще існує, а й відповідає світовому рівню. Але це тільки тому, що в ній залишилися віддані вчені-ентузіасти, теоретичні дослідження яких часто навіть випереджають переважно експериментальну закордонну науку.

Вихід з цього замкненого кола можливий лише за умови зміни суспільної свідомості на всіх рівнях у ставленні до науки. Першою метою цього посібника є надання студентам, магістрантам та аспірантам – майбутнім науковцям первинних знань та навичок щодо проведення наукових досліджень на сучасному рівні. Другою, не менш важливою метою, є надання студентам та магістрантам як майбутнім керівникам підприємств та галузей, підприємцям та олігархам, державним діячам, урядовцям та парламентарям усвідомлення необхідності повернутися до науки обличчям. Це значить – ставити перед наукою масштабні завдання, не вимагаючи результатів у вигляді негайного одержання прибутку «за рік», обов'язково підкріплювати ці завдання достойним довгостроковим фінансуванням, яке дозволить оновити дослідницьке обладнання (вартість сучасного електронного мікроскопа, наприклад, може перевищувати 1 млн євро) і залучити до наукової діяльності кращих випускників ВНЗ. При цьому молоді слід пропонувати хоча б у віддаленій перспективі матеріальні умови не набагато гірші, ніж у брокерів, дилерів, ріелтерів, менеджерів фірм, супер- та гіпермаркетів та інших безумовно потрібних і шановних діячів сфери торгівлі та обслуговування.

Посібник створили двоє ентузіастів, що прийшли в науку саме напередодні 1991 р. і, не залишивши її в складні роки, здобули наукові ступені з будівельних матеріалів та виробів і вчені звання з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, а також один ще зовсім молодий науковець. Зокрема, д.т.н., професор А.А.Плугін здійснив загальне редагування і написав вступ, розд. 1, 2, 3.4÷3.5, 4.1÷4.3, 5.3÷5.5, 6.3.3, дод. А і Б, к.т.н., доцент О.А.Калінін – розд. 4.4÷4.5; 5.1÷5.2; 6.1÷6.2.2, 6.3.1,

а його аспірант О.А.Плугін, який тільки-но успішно захистив кандидатську дисертацію, – розд. 3.1÷3.3, 6.2.3÷6.2.5, 6.3.2, дод. В і Г.

У навчальному посібнику наведено історичний нарис розвитку науки і техніки, зокрема в галузі будівництва і транспорту, будівельних матеріалів, відомості про наукові заклади і науково-педагогічні кадри, види і порядок проведення науково-дослідних робіт. Надано рекомендації щодо виконання кваліфікаційних науково-дослідних робіт, винахідницької діяльності і патентування винаходів, публікації результатів досліджень.

Розглянуто, у т.ч. на прикладах, основні методи теоретичних досліджень, зокрема, особливості розроблення фізичних, математичних, натурних моделей об'єктів, явищ, процесів, проведення розрахункових експериментів, досліджень твердіння в'язучих і корозії термодинамічним методом, досліджень методом анкетування.

Також з прикладами наведено методи експериментальних досліджень, застосовуваних у вказаних галузях науки і техніки: фізико-механічних та корозійних випробувань, фізико-хімічних досліджень, зокрема, мікроскопічного, рентгенофазового та термічного аналізу, інфрачервоної спектроскопії, побудови діаграм стану фізико-хімічних систем. Наведені рекомендації і приклади з розроблення оригінальних методик досліджень і конструювання лабораторних установок. Викладено методику проведення кількісного експерименту, у т.ч. порядок забезпечення точності вимірювань, побудови графіків залежностей, підбору емпіричних формул. В кінці для зручності користування посібником наведено предметний та іменний покажчики, список використаної, у т.ч. рекомендованої додаткової літератури.

Навчальний посібник призначений:

- для засвоєння курсу «Основи наукових досліджень» студентами, що навчаються за навчальними планами ОКР «бакалавр» і «спеціаліст» за спеціальністю «Промислове та цивільне будівництво» (спеціалізація «Реконструкція та утримання будівель залізничного транспорту») і спеціальністю

«Залізничні споруди і колійне господарство» (спеціалізація «Технічна експлуатація споруд залізничного транспорту»); зміст навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень» для студентів наведений у дод. А;

- для допомоги у науково-дослідній роботі студентів (НДРС) студентам, що навчаються за навчальними планами ОКР «бакалавр» і «спеціаліст» за вказаними спеціальностями;

- для допомоги у виконанні кваліфікаційної науково-дослідної роботи магістрантам, що навчаються за навчальними планами ОКР «магістр» за вказаними спеціальностями;

- для допомоги у виконанні дисертаційного дослідження аспірантам і здобувачам наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальностями «Будівельні матеріали та вироби» і «Будівельні конструкції, будівлі та споруди».

При підготовці навчального посібника застосовані відомі посібники І.М. Грушка, В.М. Сиденка, І.М. Глущенко та ін. [1, 2], енциклопедичні матеріали [3÷5], у т.ч. Інтернет-енциклопедія [5], література з історії будівництва [6÷10], найбільш вагомі для галузі будівельних матеріалів та виробів праці відомих вчених [11÷26], нормативні джерела [27, 28], сайти вказаних виробників дослідницького обладнання та приладів.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАУКУ І ТЕХНІКУ

*Наука* – сфера людської діяльності, що включає систему знань про об'єктивну дійсність (природу, техніку, суспільство, мислення) і процес її формування.

Під науками розуміють також окремі галузі науки – фізику, математику, хімію і т.д. Науки умовно поділяють на природничі (фізика, математика, хімія, біологія, геологія), технічні (машинознавство, матеріалознавство і т.п.), гуманітарні та суспільні (історія, економіка, філософія і т.п.).

Науки – галузі науки, наукові спеціальності, за якими присуджуються наукові ступені та присвоюються вчені звання [6], наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Науки і деякі наукові спеціальності, за якими проводиться присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань

Шифр	ГАЛУЗЬ НАУКИ. Група спеціальностей. Спеціальність
1	2
<b>01</b>	<b>ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ</b>
<b>01.01.00</b>	<b>Математика</b>
<b>01.02.00</b>	<b>Механіка</b>
<b>01.03.00</b>	<b>Астрономія</b>
<b>01.04.00</b>	<b>Фізика</b>
<b>01.05.00</b>	<b>Інформатика і кібернетика</b>
<b>02</b>	<b>ХІМІЧНІ НАУКИ</b>
<b>03</b>	<b>БІОЛОГІЧНІ НАУКИ</b>
<b>04</b>	<b>ГЕОЛОГІЧНІ НАУКИ</b>
<b>05</b>	<b>ТЕХНІЧНІ НАУКИ</b>
<b>05.01.00</b>	<b>Прикладна геометрія, інженерна графіка та ергономіка</b>
<b>05.02.00</b>	<b>Машинознавство</b>
05.02.01	Матеріалознавство
05.02.02	Машинознавство
<b>05.03.00</b>	<b>Обробка матеріалів у машинобудуванні</b>
<b>05.05.00</b>	<b>Галузеве машинобудування</b>
05.05.02	Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій
05.05.04	Машини для земляних і дорожніх робіт
05.05.05	Піднімально-транспортні машини
<b>05.07.00</b>	<b>Авіаційна та ракетно-космічна техніка</b>



Продовження табл. 1.1

1	2
<b>05.08.00</b>	<b>Кораблебудування</b>
<b>05.09.00</b>	<b>Електротехніка</b>
<b>05.11.00</b>	<b>Прилади</b>
05.11.15	Метрологія та метрологічне забезпечення
<b>05.12.00</b>	<b>Радіотехніка та телекомунікації</b>
<b>05.13.00</b>	<b>Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація</b>
<b>05.14.00</b>	<b>Енергетика</b>
<b>05.05.00</b>	<b>Розробка корисних копалин</b>
05.15.01	Маркшейдерія
05.15.04	Шахтне та підземне будівництво
05.15.09	Механіка ґрунтів та гірських порід
<b>05.16.00</b>	<b>Металургія</b>
<b>05.17.00</b>	<b>Хімічні технології</b>
05.17.06	Технологія полімерних і композиційних матеріалів
05.17.11	Технологія тугоплавких неметалічних матеріалів
05.17.14	Хімічний опір матеріалів та захист від корозії
<b>05.18.00</b>	<b>Технологія харчових продуктів</b>
<b>05.19.00</b>	<b>Технології матеріалів та виробів текстильної та легкої промисловості</b>
<b>05.20.00</b>	<b>Техніка в сільськогосподарському виробництві</b>
<b>05.22.00</b>	<b>Транспорт</b>
05.22.01	Транспортні системи
05.22.06	Залізнична колія
05.22.07	Рухомий склад залізниць та тяга поїздів
05.22.09	Електротранспорт
05.22.11	Автомобільні шляхи та аеродроми
05.22.12	Промисловий транспорт
05.22.20	Експлуатація та ремонт засобів транспорту
<b>05.23.00</b>	<b>Будівництво</b>
05.23.01	Будівельні конструкції, будівлі та споруди
05.23.02	Підвалини та фундаменти
05.23.03	Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання
05.23.04	Водопостачання, каналізація
05.23.05	Будівельні матеріали та вироби
05.23.08	Технологія промислового та цивільного будівництва
05.23.16	Гідравліка та інженерна гідрологія
05.23.17	Будівельна механіка
05.23.20	Містобудування та територіальне планування
<b>05.24.00</b>	<b>Геодезія</b>

1	2
<b>05.26.00</b>	<b>Безпека життєдіяльності</b>
05.26.01	Охорона праці
<b>05.27.00</b>	<b>Електроніка</b>
<b>06</b>	<b>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ</b>
<b>06.01.00</b>	<b>Агрономія</b>
<b>06.02.00</b>	<b>Зоотехнія</b>
<b>06.03.00</b>	<b>Лісове господарство</b>
<b>07</b>	<b>ІСТОРИЧНІ НАУКИ</b>
<b>08</b>	<b>ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ</b>
<b>08.01.00</b>	<b>Економічна теорія та історія</b>
<b>08.02.00</b>	<b>Механізми регулювання економіки</b>
<b>08.03.00</b>	<b>Кількісні методи в економіці</b>
<b>08.04.00</b>	<b>Фінанси, грошовий обіг і кредит</b>
<b>08.05.00</b>	<b>Світове господарство і міжнародні економічні відносини</b>
<b>08.06.00</b>	<b>Економіка підприємства та управління виробництвом</b>
<b>08.07.00</b>	<b>Економіка галузей господарства</b>
08.07.01	Економіка промисловості
08.07.03	Економіка будівництва
08.07.04	Економіка транспорту і зв'язку
<b>08.08.00</b>	<b>Економіка природокористування і охорони навколишнього середовища</b>
<b>08.09.00</b>	<b>Демографія, економіка праці та соціальна політика</b>
<b>08.10.00</b>	<b>Розміщення продуктивних сил і регіональна економіка</b>

*Техніка* – загальна назва різних пристосувань, облаштувань, механізмів, способів, що не існують в природі, а створюються і застосовуються людиною.

Наука і наукові знання базуються на логічному обґрунтуванні і практичній перевірці фактів дійсності. Цим вони відрізняються від релігії та віри – безумовного визнання якихось положень без їх обґрунтування і перевірки.

Форми наукових знань:

*Аксиома, постулат* – вихідне положення, яке приймають без логічних доказів у зв'язку з очевидною переконливістю.

*Гіпотеза* – науково обґрунтоване припущення про закономірності дійсності, яке висувається попередньо і в процесі наукового дослідження доказується або відкидається.

*Теорія* – система знань в певній галузі науки, що дає цілісне уявлення про яку-небудь закономірність дійсності.

Форма розвитку науки – наукове дослідження (науково-дослідна робота – НДР).

Об'єкт дослідження – частина матеріального світу, яка досліджується, наприклад, бетон або залізобетонна прогонова споруда мосту.

Предмет дослідження – явища і процеси, які відбуваються з об'єктом, та його властивості, наприклад, твердіння і міцність бетону, деформація прогонової споруди при навантаженні.

Мета дослідження – визначення кінцевих вимог до об'єкту і предмету дослідження. Наприклад, досягнення певної міцності затверділого цементу.

Методи досліджень – шляхи досягнення мети досліджень, можуть бути теоретичними та експериментальними.

Теоретичні методи досліджень складаються із розумової діяльності без дій з об'єктом.

Експериментальні методи досліджень полягають у спостереганні за об'єктом, предметом досліджень, їх фізичною або натурною моделлю.

### **Контрольні запитання**

1. Що таке наука ?
2. За якими галузями науки присуджуються наукові ступені?
3. До якої галузі наук відносяться наукові спеціальності «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» і «Залізнична колія»?
4. До якої групи спеціальностей відноситься наукова спеціальність «Будівельні матеріали та вироби»?
5. Що таке техніка?
6. Чим наука відрізняється від релігії?
7. Що таке аксіома, постулат?
8. Що таке гіпотеза?
9. Що таке теорія?
10. Що є формою розвитку науки?
11. Що таке об'єкт дослідження?
12. Що таке предмет дослідження?
13. Що таке мета дослідження?
14. Що таке методи досліджень?
15. Які є два основних види методів досліджень?

## 2. ІСТОРИЧНИЙ НАРИС РОЗВИТКУ НАУКИ

### 2.1. Наука і техніка

Наука постійно розвивається, тобто збагачується новими знаннями. Рушійні сили розвитку науки – об'єктивна потреба суспільства і суб'єктивна допитливість людини. Розвиток науки взаємозв'язаний з розвитком суспільних відносин, матеріального виробництва, техніки.

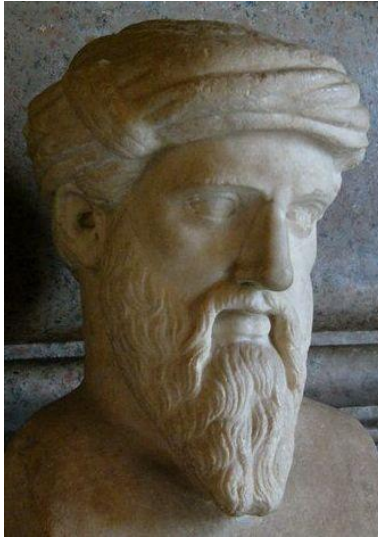
Наука і техніка розвивались нерівномірно. За історію цивілізації періоди їх повільного розвитку і навіть тривалого застою змінювались періодами дуже швидкого розвитку – науковими і технічними революціями (табл. 2.1).

*Найвидатніші вчені періоду виникнення науки  
у стародавньому світі*

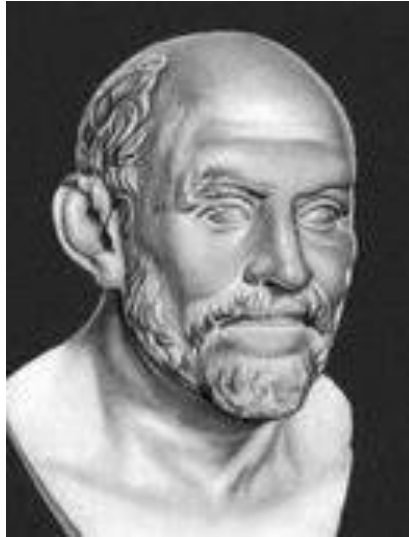
**Піфагор** Самоський (Πυθαγόρας ὁ Σάμιος, бл. 570÷490 р. до н. е., рис. 2.1) – грецький філософ і математик, заснував філософську течію піфагореїзм, вперше увів докази в геометрії, сформулював і довів теорему свого імені ( $a^2+b^2=c^2$ ), створив навчання про подібність, навчання про парні і непарні, прості і складені числа і т.п. Народився і мешкав на о.Самос, відвідав Єгипет, Вавілонію, бл. 530 р. до н. е. оселився у м. Кротон, Південна Італія.

**Демокрит** (Δημόκριτος, бл.460 ÷ 370 р. до н.е., рис. 2.1) – грецький філософ-матеріаліст, один із перших представників атомізму – висунув гіпотезу про атомну будову речовини; автор близько 70 наукових праць з філософії, етики, математики, фізики, астрономії, медицини, філології, техніки, теорії музики. Народився і мешкав у м. Абдери у Фракії, відвідав Вавілонію, Іран, Індію, Єгипет, Ефіопію. Зустрічався з Сократом, Анаксагором, Гіпократом. Справжні тексти праць Демокрита були знищені за ініціативою Платона і не збереглися.

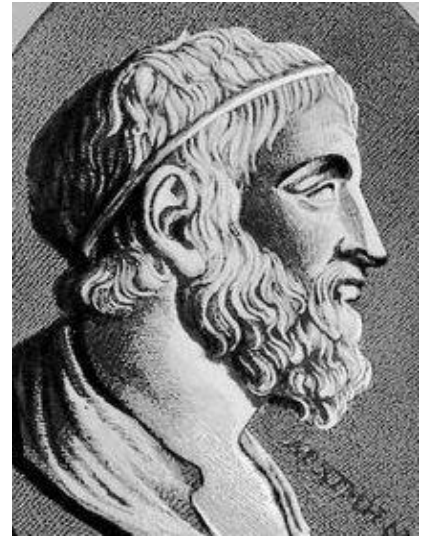
**Евклід** (Ευκλείδης, 3 ст.до н.е., м. Олександрія, Єгипет) – перший математик Олександрійської школи, засновник сучасної Евклідової геометрії, яка базується на системі аксіом. Наукові праці: «Начала» (протягом 2 тис. років були базовим підручником з геометрії), «Про ділення фігур», «Конічні січення», «Поризми», інші роботи з математики, астрономії, оптики, музики.



Піфагор



Демокрит



Архімед

Рис. 2.1. Видатні вчені Стародавнього світу

Таблиця 2.1

Основні дати і події розвитку науки і техніки

Історичний період		Розвиток матеріального виробництва і техніки	Розвиток наукових знань та установ
1		2	3
2,6 млн р. тому ÷ 3 тис.р.до н.е.	2,6 млн р.тому ÷ 10 тис.р.до н.е.	<p>Присвоювальне господарство. Розвиток техніки повільний: кам'яні знаряддя (2,6 млн р. тому); вогонь (1,5 млн р. тому); лук та стріли (15÷6 тис. р. до н. е.); човен (15÷6 тис. р. до н. е.)</p>	<p><b>Примітивні спостереження і досвід</b> дозволяють використовувати природні явища, властивості матеріалів. Знання розвиваються повільно</p>
	10÷3 тис.р.до н.е.		
Первісне суспільство		Палеоліт, мезоліт	
		Неоліт	

Продовження табл. 2.1

1		2		3
3 тис. р. до н.е. ÷ 476 р. н. е.		Стародавній світ		<p>Рабовласницьке господарство, морське та караванне сполучення, крупне будівництво. <b>Перша технічна революція:</b> металургія заліза (2 тис. р. до н. е.); водяний двигун (колесо, 2 тис. р. до н. е.); штучні в'язучі речовини</p> <p><b>Виникнення науки</b> – шляхом спостережень та досвіду виникають елементарні знання з геометрії, астрономії (XXVIII ст. до н. е., Єгипет); натурфілософія – елементарні знання з фізики, математики, астрономії (VII÷V ст. до н. е., Греція). Філософські школи; Платонівська академія (395 р. до н. е.)</p>
476÷1640 pp.	V÷X ст.	Середні віки	Раннє середньовіччя	<p>Феодалне натуральне господарство. Ремісничі майстерні. Розвиток техніки повільний</p> <p><b>Занепад науки</b> – господарювання релігійних догм. Алхімія – сполучення філософії, ремісничих навичок, магії та містики (III÷IV ст., Азія; VII ст., Європа)</p>
	X÷XIII ст.		Високе середньовіччя	<p>Ремісничі цехи. Прискорення розвитку техніки: вітровий двигун (млин, 1185); компас (Європа – XII ст., Китай – 1044, ); папір (Європа – 1270, Китай – 8 р. н.е.); окуляри (1280-ті); порох (Європа – Б. Шварц, 1330; Китай – 1044); вогнепальна зброя (XIV ст., Європа); друкарство (Німеччина – Іоган Гутенберг, 1440; Іван Федоров – «Апостол», Москва – 1564, Львів – 1574; Китай – 1000-ні pp.); механічна обчислювальна машина (1623, В.Шиккард, Англія)</p> <p>Університети: Салерно (XI ст.); Оксфорд (1096); Болонья (1100); Париж (XII ст.); Кембридж (1209)</p>
	XIV-XVII ст.		Відродження	<p>Механістичне природознавство: активне накопичення знань з механіки, гідравліки, астрономії, які мають розрізнений безсистемний характер і слабкий зв'язок з матеріальним виробництвом.</p> <p>Університети: Прага (1342); Краків (1364); Відень (1365); Гейдельберг (1385); Лейпциг (1409); Базель (1459)</p>

Закінчення табл.2.1

1		2	3
1640÷ 1918 рр.	Новий час	<p>Мануфактурне виробництво. Гідравлічне вапно (1756, Дж.Смітон, В. Британія); механічна прядильна машина Jenny (1764, Higgs, В.Британія);</p> <p><b>Промислова революція</b> кін. XVIII÷ поч. XIX ст.: парова машина (1784, Дж. Уатт, В. Британія); ткацький станок з програмним управлінням (1801, Ж.М. Жаккар); паротяг (1803, Р. Тревітік, В. Британія); пароплав (1807, Р. Фултон, США); портландцемент (В. Британія – Дж. Аспдін, 1824; Росія – Є.Г. Челієв, 1825); залізниця (1825, Дарлінгтон – Стоктон, В. Британія); промислові машини з паровими двигунами і передаточними механізмами</p>	<p><b>Перша наукова революція</b> XVII ст.– механістична картина світу: геліоцентрична система (1543, М. Копернік); закон пружності (1660, Р. Гук); закон всесвітнього тяжіння, три закони механіки, диференціальне та інтегральне числення (1660-ті рр., І. Ньютон) і т. д. Лондонське королівське товариство (1660); Паризька Академія наук (1666); Петербурзька Академія наук (1724)</p> <p><b>Друга наукова революція</b> кін. XVIII - поч. XIX ст.– дисциплінарна організація науки: хімія (1770÷80-ті рр., А. Лавуазьє), фізична хімія (1752, М.В.Ломоносов) і т.д. Електромагнітне поле (1831, М. Фарадей)</p>
1918 р.÷ до теперішнього часу	Новіший час	<p>Кін. XIX÷поч.XX ст.: електродвигун; двигун внутрішнього згорання</p> <p><b>Науково-технічна революція</b> – наука безпосередньо стає провідним фактором матеріального виробництва: радіотехніка і радіоелектроніка; конвейєрне виробництво; автоматична виробнича лінія; електронно-обчислювальна машина; атомна енергетика; космонавтика</p>	<p><b>Третя наукова революція</b> кін. XIX - поч. XX ст.: теорія еволюції (1859, Ч. Дарвін); періодична система елементів (1869, Д.І. Менделєєв, Росія), рент-генівські промені (1895, В. Рентген); радіоактивність (1896, А. Беккерель), електрон (1897, Дж. Томсон); теорія відносності (1905, А. Ейнштейн); будова атома (1911, Е. Резерфорд) і т. д.</p>

*Архімед* (Ἀρχιμήδης, 287÷212 до н.е., рис.2.1) – грецький математик, механік, астроном, засновник математичної фізики, механіки (статики), гідростатики. Вивів площу еліпса, площу поверхні конуса і шара, об'єм шара, інших тіл обертання та їх сегментів, вперше застосував дискримінанту, з великою точністю розрахував число  $\pi$ , дослідив розподіл навантаження між опорами балки, увів поняття центра ваги тіла; відкрив закон гідростатики свого імені. Автор багатьох технічних винаходів – гвинта свого імені, військових машин, астрономічного приладу «небесна сфера». Науковим працям надавав вигляду «Послання до...», наприклад «Послання до Ератосфена». Народився і мешкав у м.Сиракузи, о.Сіцилія. Був вбитий римлянами при захопленні Сиракуз під час Другої Пунічної війни.

*Найвидатніші вчені періоду першої наукової революції*

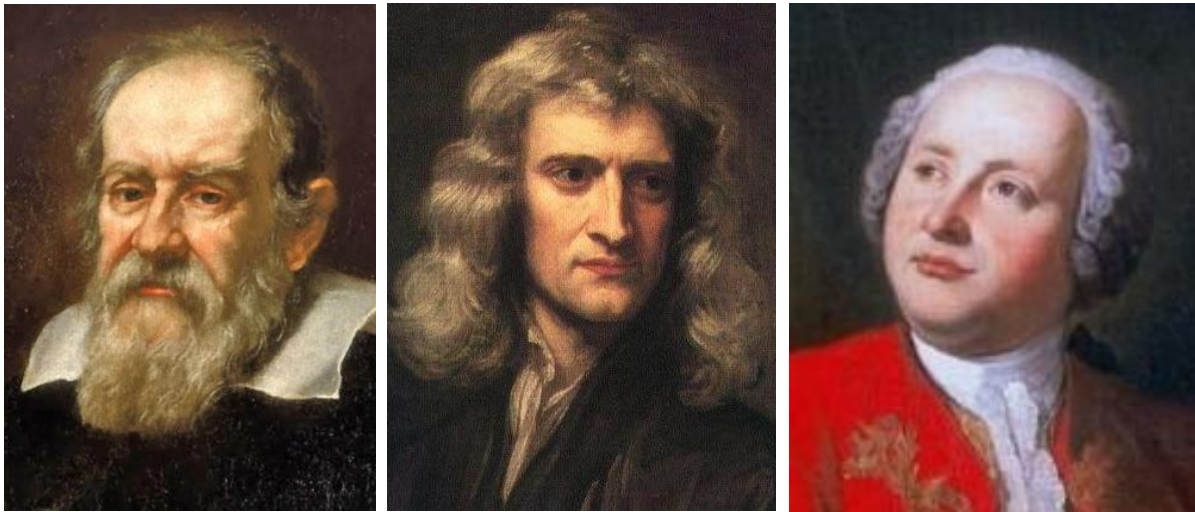
*Галілей* Галілео (Galilei, 1564÷1642, рис.2.2) – італійський фізик, механік, астроном, один із засновників природознавства, поет, філолог, критик; професор Пізанського університету (1589), Падуанського університету (1592).

Народився у м. Піза в сім'ї композитора-лютниста, навчався у Пізанському університеті, мешкав у Падуї, Флоренції. У 1633 р. піддався судовому процесу інквізиції, був вимушений публічно покаятись, останні роки мешкав у с. Арчетрі під наглядом інквізиції (вважався в'язнем), у 1637 р. заслп. Похований у Флоренції поруч з Мікеланджело, у 1992 р. реабілітований Ватиканом.

Вважав себе учнем Архімеда. Створив основні принципи механіки (динаміки), зокрема, встановив основні закони руху – інерції, складення рухів, встановив відносність руху; встановив закони падіння тіл – вільного, по похилій площині, кинутого під кутом до горизонту; встановив зберігання механічної енергії при коливанні маятника; визначив густину повітря; створив гідростатичні ваги. Відіграв значну роль у становленні геліоцентричної системи світу; встановив, що рух небесних тіл підкоряється законам механіки; створив перші телескопи з 3÷32-кратним збільшенням; відкрив гори та кратери на поверхні місяця, 4 супутники Юпітера, фази Венери,



сонячні плями та обертання Сонця, віддаленість зірок, будову Чумацького шляху з окремих зірок.



Галілей Г.

Ньютон І.

Ломоносов М.В.

Рис. 2.2. Видатні вчені XVI÷XVIII ст.

Основні наукові праці: «Маленькі ваги» (1586, вид.1655); «Діалог про рух» (бл.1589); «Зоряний вісник» (1611); «Розсуд про тіла, що перебувають у воді або такі, що в ній рухаються» (1612); «Пробирник» (1623); «Діалог про припливи та відливи» (бл.1630); «Діалог про дві найголовніші системи світу – птолемеєву та коперникову» (бл.1630); «Бесіди і математичні доведення, що стосуються двох нових галузей науки» (вид.1638).

**Ньютон** Ісаак (Sir Isaac Newton, 1643÷1727, рис.2.2) – англійський фізик і математик, який створив теоретичні основи механіки та астрономії; професор Кембриджського університету (1669), член Лондонського королівського товариства (1672), іноземний член Паризької академії наук (1699).

Народився у с. Вулсторп (графство Лінкольншир) у сім'ї фермера, у 1661 р. закінчив школу і вступив до Кембриджського університету, де був субсайзером – бідним студентом, що виконував обов'язки слуги. Більшість математичних відкриттів зробив у 1665÷67 рр. під час епідемії чуми, мешкаючи у Вулсторпі, проте опублікував їх через 20÷40 років. З 1669 р. завідує фізико-математичною кафедрою Кембриджського

університету. У 1689÷90 і 1701÷02 рр. – депутат Парламенту. З 1690 р. мав пріоритетний спір з Р.Гуком за авторство закону всесвітнього тяжіння, а з 1699 р. – з Г.Лейбніцем за авторство диференційного та інтегрального числення. З 1696 р. – наглядач, а з 1699 р. – директор Монетного двору, проводить грошову реформу Британії. З 1703 р. – президент Лондонського королівського товариства. У 1705 р. зведений до лицарського достоїнства – вперше в історії за наукові заслуги. Похований у Вестмінстерському абатстві.

У фізиці: дотримуючись уявлень про атомну будову речовини, висунув ідею про її ієрархічну будову, дав визначення кількості матерії, еквівалентної масі та густині, кількості руху, еквівалентної імпульсу, різних видів сили, встановив закон охолодження нагрітого тіла.

У механіці: сформулював 3 закони руху свого імені: 1-й – закон інерції (відкритий Галілеєм), 2-й – закон пропорційності кількості руху силі  $F = ma$ , 3-й – закон рівняння дії та протидії. Із 2-го та 3-го законів вивів закон зберігання кількості руху для замкненої системи.

У механіці рідин: встановив залежність опору руху тіла в суцільному середовищі (ньютонівській рідині) від швидкості руху  $\tau = \eta \cdot dv/dx$  (закон Ньютона).

В астрономії та небесній механіці: відкрив закон всесвітнього тяжіння, розробив теорію руху небесних тіл, розробив теорію припливів і відливів, встановив сплюснутість земної кулі з полюсів.

В оптиці: висунув гіпотезу про сполучення корпускулярних і хвильових властивостей світла, провів експериментальні дослідження дисперсії, інтерференції, дифракції світла, першим виміряв довжину світової хвилі, встановив явище хроматичної аберації лінзових оптичних систем, сконструював і власноручно виготовив у 1668 р. дзеркальний телескоп.

У математиці: розробив (наряду з Г. Лейбніцем) диференційне та інтегральне числення, відкрив взаємно обернений характер операцій диференціювання та інтегрування, зробив фундаментальні відкриття в галузі нескінченних рядів (біном Ньютона), розрахував похідну та інтеграл будь-якої

ступеневої функції, створив метод свого імені чисельного розв'язання алгебраїчних рівнянь.

Основні праці: «Нова теорія світла і кольорів» (1672); «Аналіз за допомогою рівнянь з нескінченною кількістю членів» (1669, опубл. 1711); «Міркування про квадратуру кривих» (1670, опубл. 1704); «Метод флюксій» (1671, опубл. 1736); «Математичні начала натуральної філософії» (опубл. 1687); «Оптика» (опубл. 1704); «Перерахування кривих третього порядку» (опубл. 1704); «Всезагальна арифметика» (опубл. 1707); «Метод різниць» (опубл. 1711).

### *Найвидатніші вчені періоду другої наукової революції*

**Ломоносов** Михайло Васильович (1711÷1765, рис. 2.2) – російський хімік, фізик, основоположник фізичної хімії, молекулярно-кінетичної теорії, науки про скло, історик, поет і філолог, що заклав основи сучасної російської літературної мови, художник, поборник розвитку російської просвіти і науки; професор, академік Петербурзької Академії наук (1745), почесний член Шведської академії наук (1760), член Російської Академії мистецтв (1763), почесний член Болонської академії наук (1764).

Народився у с. Мишанинська (в теперішній час с. Ломоносове) Куростровської волості Двинського уїзду Архангельської губернії у родині селянина-помора. У 1730 р. за три тижні пішки прийшов до Москви, у 1730÷1735 рр. навчається у Слов'яно-греко-латинській академії при Заїконоспаському монастирі у Москві, у 1735÷36 рр. – в Академічному університеті в Петербурзі, у 1736÷40 рр. – в Германії у Марбурзькому університеті і на металургічних підприємствах у Фрейберзі. З 1742 р. ад'юнкт, з 1745 р. професор (академік) хімії Петербурзької академії наук (перший академік – росіянин). У 1746 р. вперше розпочав читати публічні лекції з фізики російською мовою, у 1748 р. організував першу в Росії хімічну науково-дослідну лабораторію, у 1752÷53 рр. прочитав студентам курс «Введение в истинную физическую химию» з практичними заняттями. Розробив технологію виробництва кольорового скла і у 1753 р. збудував в Усть-Рудицях біля С.-Петербурга фабрику з

його виробництва. У 1755 р. за ініціативою і проектом М.В. Ломоносова відкрито Московський університет. У 1758 р. М.В. Ломоносову доручено «смотрение» за Географічним департаментом, Історичними зборами, Академічним університетом та Академічною гімназією. Похований в Олександро-Невській Лаврі.

Послідовний прихильник природнонаукового матеріалізму, закономірної еволюції природних процесів: «Напрасно многие думают, что все, как видим, с начала творцом создано... Такие рассуждения весьма вредны приращению всех наук». Пояснив теплоту механічним рухом корпускул (молекул), що складаються з атомів. Створив молекулярно-кінетичну теорію, в основу якої поклав власне формулювання законів зберігання енергії, руху та речовини: «Все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется, столько присовокупится к другому... Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения: ибо тело, движущее своей силою другое, столько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает». Фактично створив фізичну хімію, надавши їй визначення – «Физическая химия есть наука, объясняющая на основании положений и опытов физики то, что происходит в смешанных телах при химических операциях».

Разом з професором Г.В. Рихманом досліджував електрику, зокрема атмосферну. У 1753 р. під час дослідів з приладом для дослідження блискавки – «громовой машиной» (електроскопом) Рихман загинув.

Проводив дослідження з оптики, у 1756÷58 рр. розробив «ночезрительную трубу» – прототип сучасних приладів нічного бачення. Задовго до В. Гершеля створив дзеркальний телескоп без додаткового плоского дзеркала. 26 травня 1761 р. відкрив атмосферу Венери.

У філології виходив з того, що у літературній мові повинно бути те, що засвоєно народом і містить запас слів, зручний для вираження абстрактних понять. Поклав початок російської наукової термінології.

Основні праці:

- з фізики: «Размышления о причине теплоты и холода» (1744); «Экспериментальная физика» (переклад з німецької книжки Х.Вольфа, 1746);

- з геології та металургії: «Слово о рождении металлов от трясения Земли» (1757); «О слоях земных» (кінець 1750-х рр., опубл.1763); «Первые основания металлургии или рудных дел» (1763, наклад 1225 прим.);

- з географії: «Рассуждения о большой точности морского пути» (1759); «О сохранении и размножении российского народа» (1761); «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» (1762÷63); «О северном ходу в Ост-Индию Сибирским океаном» (1764);

- з історії: «Краткий российский летописец с родословием» (1760); «Древняя российская история от начала российского народа до кончины великого князя Ярослава Первого, или до 1054 года» (у 2-х част., 1766);

- з філології: «Письмо о правилах российского стихотворства» (1739, опубл. 1778); «Краткое руководство к красноречию» (1748); «Российская грамматика» (1755); «Предисловие о пользе книг церковных в российском языке» (1758);

- найвідоміші поетичні твори: «Ода блаженныя памяти Государыне Императрице Анне Иоанновне на победу над турками и татарами и на взятие Хотина 1739 года»; «Ода на день восшествия на всероссийский престол Её Величества Государыни Императрицы Елизаветы Петровны 1747 года»; «Письмо о пользе стекла к высокопревосходительному господину генералу-поручику, действительному её императорского величества камергеру, Московского университета куратору и орденов Белого Орла, Святого Александра и Святыя Анны кавалеру Ивану Ивановичу Шувалову, писанное 1752 года»; «Гимн бороде» (1757);

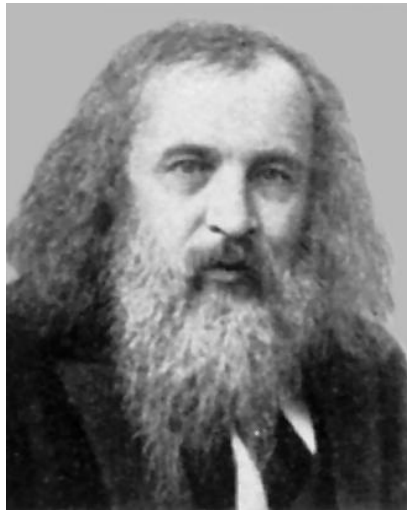
- художні твори: мозаїчний портрет Петра I, монументальна мозаїка 6,44×4,8 м «Полтавская баталия» (1762÷64).

Вшанування пам'яті: у 1956 р. АН СРСР засновано Золоту медаль Ломоносова – вищу нагороду АН, яка присуджується за

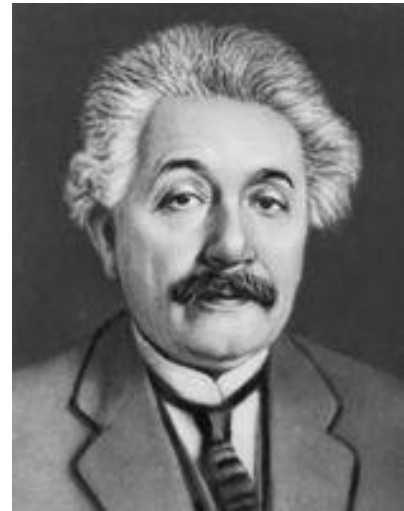
видатні роботи в галузі природничих і суспільних наук (на рік присуджується дві медалі – одна вітчизняному, друга – іноземному вченому). Ім'я М.В.Ломоносова носять місто в Ленінградській області, Московський державний університет, інші навчальні заклади, вулиці та площі міст Росії, України, Латвії, течія в Атлантичному океані, гірський хребет на о. Нова Земля, підводний хребет у Північному Льодовитому океані, висота на о. Західний Шпицберген, кратер на Місяці.



Лавуазьє А.Л.



Менделєєв Д.І.



Ейнштейн А.

Рис. 2.3. Видатні вчені XVIII÷XX ст.

*Лавуазьє* Антуан Лоран (Lavoisier, 1743÷1794, рис. 2.3) – французький хімік, якого вважають основоположником сучасної хімії, один із засновників термохімії; член Паризької Академії наук (1778).

Народився у Парижі, закінчив юридичний факультет Паризького університету, вивчав природничі науки, особливо фізику та хімію. У 1766 р. за розробку найкращого способу освітлення вулиць одержав золоту медаль Паризької Академії наук. З 1768 р. ад'юнкт, з 1772 р. – дійсний член, з 1785 р. – директор Паризької Академії наук. У 1768÷91 рр., будучи членом «Компанії відкупів» – установи фінансистів, що брали на відкуп державні податки, придбав значний достаток, більшість якого витратив на створення лабораторії та наукові дослідження. Під час Великої французької революції був прихильником

конституційної монархії, разом з іншими «відкупниками» за вироком революційного трибуналу був страчений (гільйотинований).

Дотримувався матеріалістичних поглядів. Зробив хімію кількісною наукою, систематично застосовуючи при дослідженні хімічних перетворень точне зважування. У 1772÷77 рр. встановив складність атмосферного повітря і вперше пояснив згоряння як процес сполучення речовин з киснем. У 1783 р. спільно з Ж. Менє довів, що вода – сполука водня і кисня і у 1785 р. синтезував воду із них. У 1783 р. спільно з П.С. Лапласом розробив крижаний калориметр, вперше визначив теплоту згоряння ряду речовин, прийшов до висновку, що теплота розкладання сполуки дорівнює теплоті її утворення. Встановив, що при диханні поглинається кисень і утворюється вуглекислий газ, тобто процес дихання подібний згорянню. У 1783÷84 рр. спільно з Лапласом встановив, що для тварин цей процес є головним джерелом теплоти.

У 1786÷87 рр. спільно з К. Бертолле, Л. Гитон де Морво і А. Фуркруа розробив хімічну номенклатуру, яка незабаром стала загальноприйнятою і в основному зберіглась дотепер. У 1789 р. спільно з іншими вченими заснував журнал «Annales de chimie» – одне з перших хімічних періодичних видань. У 1789 р. опублікував «Початковий підручник хімії», де хімію визначив як науку про склад речовин та їх аналіз; речовини, які на той час не могли бути розкладеними, назвав «простими». До них відніс всі відомі на той час неметали, метали, «землі». Створений Лавуазьє напрямок призвів до відкриття нових речовин, експериментального обґрунтування стехіометричних законів, введення в хімію атомізму. На початку ХІХ ст. погляди Лавуазьє отримали загальне визнання.

### *Найвидатніші вчені періоду третьої наукової революції*

**Менделєєв** Дмитро Іванович (1834÷1907, рис.2.3) – російський хімік, що відкрив періодичний закон хімічних елементів, різносторонній вчений, педагог, громадський діяч; професор (1864), доктор наук (1865), член-кореспондент Петербурзької академії наук (1876). Одержав понад 130 дипломів

і почесних звань російських і закордонних академій, вчених товариств і навчальних закладів.

Був молодшою, 17-ою дитиною в сім'ї директора Тобольської гімназії. У 1855 р. закінчив відділення природничих наук фізико-математичного факультету Головного педагогічного інституту в С.-Петербурзі, у 1855 р. – учитель Сімферопольської гімназії, у 1855÷56 рр. – учитель гімназії при Рішельєвському лицей в Одесі, з 1857 р. – приват-доцент Петербурзького університету, у 1859÷61 рр. – у науковому відрядженні в Гейдельберзі, у 1860 р. брав участь у Міжнародному конгресі хіміків у Карлсруе, де було розмежовано поняття атом, молекула, еквівалент, які потім він активно впроваджував. У 1864÷66 рр. – професор Петербурзького технологічного інституту, з 1865 р. – професор Петербурзького університету. У 1868 р. був одним із ініціаторів заснування і третім президентом Російського хімічного товариства (з 1878 р. – Російське фізико-хімічне товариство, з 1932 р. – Всесоюзне хімічне товариство ім.Д.І.Менделєєва). У 1890 р. під час студентських заворушень передав міністру народної освіти петицію студентських зборів і подав у відставку на знак солідарності зі студентами. У 1890÷95 рр. – консультант Науково-технічної лабораторії Морського міністерства, у 1890 р. винайшов новий вид бездимного пороху – «піроколодій» і у 1892 р. організував його виробництво. З 1892 р. – вчений охоронець «Депо образцовых гирь и весов», перетвореного у 1893 р. за його ініціативою в «Главную палату мер и весов» (в теперішій час Всеросійський науково-дослідний інститут метрології ім. Д.І. Менделєєва). У 1893÷1907 рр. – керуючий (директор) «Главной палаты мер и весов».

Д.І. Менделєєв був стихійним матеріалістом, визнавав об'єктивність законів природи, добре володів методами математики та фізики і застосовував їх для розв'язання хімічних проблем. 17.02(01.03)1869 склав таблицю «Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве». На питання про відкриття періодичної системи відповідав: «Я над ней, может быть, двадцать лет думал, а вы думаете: сидел и вдруг... готово». Виправив атомні маси 9



елементів (берилію, індію, урану і т.д.), надав опис ще 11-ти не відкритих елементів – «екаалюмінію» (галію), «екасіліцію» (германію), «екабору» (скандію), «двителиру» (полонію), «екайоду» (астату) і т. д. Науковий світ спочатку сприйняв періодичну систему стримано. Вона набула всесвітнього визнання після відкриття передбачених Д.І. Менделєєвим галію (1875), германію (1885), скандію (1879). Будова атома і наступні елементи відкривались згідно з періною системою, у 1955 р. черговий синтезований Г. Сиборгом (США) елемент одержав назву менделєєвій *Md*.

Д.І. Менделєєв винайшов пікнометр – прилад для визначення густини рідин і газів (1859); встановив існування «температуры абсолютного кипения» рідин (в теперішній час – критична температура, 1860÷61); створив гідратну теорію розчинів, уявлення про гідратацію і сольватацію іонів (1865÷87); вивів рівняння стану ідеального газу (Менделєєва – Клапейрона, 1874); у ролі пілота і дослідника здійснив політ на повітряній кулі для вивчення сонячного затемнення і верхніх шарів атмосфери (1887). Досліджував питання видобування і переробки нафти, вугілля, металургії, застосування мінеральних добрив та зрошення в сільському господарстві, неодноразово відвідував Баку, Донбас.

Д.І. Менделєєв – автор робіт з метрології, сворив точну теорію ваг, удосконалив конструкції ваг і методи точного зважування. Під його керівництвом у 1893÷98 рр. були зіставлені російські еталони мір (фунти, аршини) із англійськими і метричними (1893÷98). Вважав за необхідне уведення метричної системи мір, домігся її введення у 1899 р. (факультативно, остаточно – у 1918).

Найвідоміші учні Д.І. Менделєєва: А.А. Байков (п. 2.2), В.І. Вернадський (п. 3.2), Н.С. Курнаков, К.А. Тимирязєв та ін.

Д.І. Менделєєв – автор понад 500 праць з хімії, хімічної технології, фізики, метрології, повітроплавання, метеорології, сільського господарства, економіки, народної просвіти та ін. Основні праці: «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу» (випускна дисертація, 1855); «Удельные объёмы» (магістерська дисертація, 1856);

«Органическая химия» (підручник, 1861, удостоєний Демидовської премії Петербурзької АН); «О соединении спирта с водой» (докторська дисертація, 1865); «Основы химии» (ч.1 – 1869, ч.2 – 1871; в Росії до 1906 – 8 видань; англійською – 1891, 1897, 1905; німецькою – 1891; французькою – 1895; у СРСР – 5 видань – 1927÷28, 1931, 1932, 1934, 1947); «Исследование водных растворов по удельному весу» (1887).

Ім'я Д.І. Менделєєва носять: Всеросійське хімічне товариство; Всеросійський інститут метрології; Московський хіміко-технологічний інститут; Тобольський державний педагогічний університет; науково-дослідне океанографічне судно Російської академії наук; підводний хребет у Північному льодовитому океані; вулкан на о. Кунашир (Курильські о-ви); кратер на Місяці; мінерал менделєєвіт; елемент *Md* – менделєєвій, синтезований Г. Сиборгом (США) і т.д. У СРСР та Росії з 1907 проводяться Менделєєвські з'їзди із загальної та прикладної хімії (з 1907); щорічні Менделєєвські читання у С.-Петербурзі (з 1939).

**Ейнштейн** Альберт (Einstein, 1879÷1955, рис.2.3) – видатний фізик, автор теорії відносності і основоположник сучасної фізики, громадський діяч; професор (1909), член Пруської академії наук (1913), член Баварської академії наук (1913), лауреат Нобелівської премії в галузі фізики (1921), іноземний почесний член АН СРСР (1926), член багатьох наукових товариств і академій світу.

Народився у м. Ульм, Німеччина. У 1900 р. закінчив Цюрихський політехнікум (Швейцарія), працював учителем у Вінтертурі, Шафхаузені. У 1902÷09 рр. – експерт федерального патентного бюро у Берні, у 1909÷11 рр. – професор Цюрихського університету, у 1911÷12 рр. – професор Німецького університету в Празі, у 1912÷14 рр. керує кафедрою у Цюрихському політехнікумі, у 1914÷33 рр. – директор фізичного інституту в Берліні і професор Берлінського університету. У 1933 р. залишив Германію та відмовився від німецького громадянства і членства в академіях наук. З 1933 р. – член Інституту вищих досліджень у Принстоні (США). У 1930÷40-х рр. виступав проти нацизму, війни, застосування ядерної зброї, у 1952 р. відмовився від

пропозиції висунути свою кандидатуру на посаду президента Ізраїлю.

Автор понад 300 наукових праць з фізики, а також близько 150 книг і статей з історії та філософії науки, публіцистики.

Розробив значні фізичні теорії: спеціальну теорію відносності, а у її складі – закон взаємозв'язку маси та енергії  $E = mc^2$  (1905); статистичну теорію броунівського руху – основу теорії флуктуацій (1905); теорію індукованого випромінювання; гіромагнітний ефект Ейнштейна – де Хааза (1905); загальну теорію відносності – простору, часу і тяжіння (1907÷16); квантову теорію фотоефекту (1907, Нобелівська премія в галузі фізики 1921) і теплоємності (1911); квантову статистику Бозе – Ейнштейна.

## **2.2. Будівництво: наука, будівельні матеріали, конструкції, будівлі, споруди**

З якнайдавніших часів будівельні матеріали, конструкції і знання про них розвивалися в тісному взаємозв'язку з розвитком будівельної техніки, архітектури (табл. 2.2). При цьому діапазон застосовуваних матеріалів істотно залежав від місцевих умов – клімату, наявних сировинних матеріалів. Мали вплив на застосовувані матеріали і суспільно-політичні чинники. Наприклад, наявність у ряді стародавніх держав сильної централізованої влади, що мала значні фінансові можливості, і великої кількості дешевої робочої сили – рабів дозволяла будувати грандіозні споруди з довговічних матеріалів – природного каменю. Широко відомі величні пам'ятники архітектури древніх цивілізацій – єгипетської, античної, індіанців центральної Америки. Так, у Стародавньому Єгипті з XXVI ст. до н.е. за декілька століть було збудовано понад 118 пірамід, найдревнішою з яких була піраміда Джосера (рис. 2.4), а найбільшою – Хеопса (рис. 2.5). Побудову цих споруд можна вважати початком перегонів за розміри будівель і споруд – висоту (табл. 2.3, рис. 2.4, 2.5, 2.12÷2.21), довжину прогонів мостів (табл. 2.4, рис. 2.22÷2.35), довжину тунелів (табл. 2.2, рис. 2.36÷2.38).









Рис. 2.4. Піраміда Джосера, м. Саккара, Єгипет  
Висота – 62 м, розміри в плані – 125×115 м; кладка із тесаного каменю на глиняному розчині; побудована бл. 2670 р. до н. е.; архітектор – Імхотеп



Рис. 2.5. Великі піраміди, м. Гіза, Єгипет:  
Хеопса, Хефрена (143,5 м), Мікеріна (65,5 м). Найбільша – піраміда Хеопса: висота – 146,6 м (зберіглось 138,8 м), розміри – 230×230 м, площа забудови – 53 тис. м<sup>2</sup>, вага – 6,4 млн т; кладка із вапнякових блоків вагою 2÷14 т без розчину (гіпотези: кладка на вапняному молоці або із монолітного вапняного бетону); побудована у 2590÷2568 рр. до н. е.; архітектор – Хеміун; тривалість будівництва – 23 роки, кількість робітників-будівельників – до 20÷100 тис.; вартість будівництва – 1600 талантів (бл. 25÷30 млн дол. США). Понад 3,5 тис. р. була найвищою будовою у світі

Таблиця 2.3

## Побудова найвищих будівель та споруд світу

Найменування	Місто, країна	Рік побудови	Висота, м	Кількість поверхів	Несучі конструкції	Сучасний статус
1. Піраміда Джосера	Саккара, Єгипет	2670 до н.е.	62	–	Кам'яна кладка	існує
2. Піраміда Хеопса	Гіза, Єгипет	2568 до н.е.	146,6	–	Кам'яна кладка	існує
3. Лінкольнський собор	Лінкольн, В. Британія	1311	160	–	Цегляна кладка	перебудований після обрушення у 1549
4. Кельнський собор	Кельн, Німеччина	1880	157	–	Цегляна кладка	існує
5. Ейфелева вежа	Париж, Франція	1889	300,7	–	Сталеві	існує
6. Зінгер Білдинг	Нью-Йорк, США	1908	187	47	Сталеві	зруйнована
7. The Metropolitan Life Insurance Company Tower (Met Life Tower)	Нью-Йорк, США	1909	213	50	Сталеві	існує
8. Woolworth Building	Нью-Йорк, США	1913	241	60	Сталеві	існує
9. The Trump Building	Нью-Йорк, США	1930	283	71	Сталеві	існує
10. Chrysler Building	Нью-Йорк, США	1930	319	77	Сталеві	існує
11. Empire State Building	Нью-Йорк, США	1931	381,3 448,7*	102	Сталеві	існує
12. Телерадіощогла KVLV-TV	Північна Дакота, США	1963	628	–	Сталева конструкція на відтяжках	існує
13. Останкінська телевежа	Москва, Росія	1967	540	–	Попердньо напружений залізобетон	існує
14. World Trade Center (Північна вежа)	Нью-Йорк, США	1972	417	110	Сталеві	зруйнована у 2001
15. Sears Tower	Чикаго, США	1973	443,2	110	Сталеві	існує
16. Варшавська радіощогла	Варшава, Польща	1974	646,4	–	Сталева конструкція на відтяжках	обрушився у 1991
17. CN Tower	Торонто, Канада	1975	553,3	–	Попердньо напружений залізобетон	існує
18. Петронас	Куала-Лумпур, Малайзія	1997	451,9	88	Попердньо напружений залізобетон	існує
19. Тайбей 101	Тайбей, Тайвань	2005	508	101	Сталеві	існує
20. Бурдж Дубай	Дубай, ОАЕ	2009	818,9	164	Попердньо напружений залізобетон	будується

\* до верхівки шпиля



Таблиця 2.4

## Побудова найбільших та найвідоміших мостів світу

Найменування, місце розташування	Конструктор, будівельник	Роки побудови	Максимальний прогін, м	Несучі конструкції	Сучасний статус
1	2	3	4	5	6
<b>Кам'яні аркові мости</b>					
1. Джерванський акведук, м. Ніневія (Ассирія)		800 р. до н. е.	5	Кам'яний арковий	Не зберегся
2. Міст через р.Євфрат, м. Вавілон		700 р. до н. е.	15	«	«
3. Міст Понте Фабриціо	Луцій Фабрицій	62 р. до н. е.	24,5	«	В експлуатації
4. Міст через р.Нер, м. Сполето, Італія		14 р. до н. е.	34	«	
5. Акведук Пон-дю-Гар, м.Нім, Франція		10 р. до н.е.	25	Кам'яний арковий, 3 яруси аркад, довжина 260 м, висота до 55 м	Існує
6. Міст Чжаочжоу, пров. Хебей, Китай	Лі Чунь	595÷605	37,37	Кам'яна арка, довжина мосту 50,82 м, висота 7,3 м	В експлуатації
7. Міст Сен-Бенезе через р. Рону, м. Авіньон, Франція	Бенедикт	1177÷85	33	Кам'яні арки, 22×40,9 м	Збереглося 4 прогони
8. Міст через р.Адда, Італія		1377	72,25	Кам'яні арки	Не зберегся
<b>Дерев'яні мости</b>					
9. Міст Траяна через р. Дунай	Аполодор Дамаський	104÷105	35	Дерев'яні арки, 21×52 м	Збереглися залишки опор
10. Проект мосту через р. Нева у С.-Петербурзі	І.П. Кулібін	1776	300	Дерев'яна арка, збудовано і випробувано модель 1/10	Не будували
11. Міст «Колоссус», США		1811	103,6	Дерев'яна арка-ферма	У 1838 р. згорів
12. Міст у м. Філадельфія, США		1815	109,9	Дерев'яна арка	У 1817 р. зруйнований льодоходом
<b>Чавунні аркові мости</b>					
13. Міст Колбрук Дейл через р. Северн, Англія		1779	30	Чавунна арка	В експлуатації
14. Благовіщенський міст (ім. лейт. П.П. Шмідта) через р. Нева у С.-Петербурзі	С.В.Кербедз	1843÷50	47,5	Чавунні арки, 8-прогоновий, у т. ч. розвідний прогін 21 м	У 1938 р. замінено на сталеві нерозрізні балки

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	9
<b>Сталеві мости</b>					
15. Залізничний міст через р. Волга, м. Сизрань	М.А.Белелюбський	1875÷81	111	Сталеві арки 13×111 м, довжина 1443 м	В експлуатації
16. Міст Понте де Дона Марія Піа через р. Дору біля м. Порту, Португалія	Густав Ейфель	1877	160	Сталева арка	
17. Залізничний міст Forth Bridge (Форс Бридж) через затоку Фьорс-оф-Форс, м. Единбург, Шотландія	Бенджамін Бейкер	1882÷90	521	Сталевий 2-консольний зі вставками, аркового окреслення; надводні прогони 2×521 м	В експлуатації
18. Залізнично-автомобільний міст Pont de Quebec через р. Св. Лаврентія, м. Квебек, Канада		1919	549	Таке ж саме, надводні прогони 2×549 м	«
19. Міст Sydney Harbour Bridge через затоку Порт-Джексон, м. Сідней, Австралія		1931	503	Сталева арка з їздою посередині	«
<b>Залізобетонні аркові мости</b>					
20. Міст Сальгінатобель через ущелину Сальгіна, Швейцарія	Робер Майар (Maillart)	1929÷30	90	Залізобетонна арка, їзда зверху	«
21. Кркський міст, між материком і островом Крк, Хорватія	Ілля Строядинович	1976÷80	390	Залізобетонний арковий, їзда зверху, довжина 1430 м	«
<b>Висячі мости</b>					
22. Міст через р. Тис біля м. Мідлсборо, Англія		1741	20	Ланцюговий	В експлуатації
23. Пантелеймонівський міст, м. С.-Петербург	В. фон Третгер, В.А. Христианович	1823÷24	43	«	У 1906÷08 перебудований в сталевий арковий
24. Міст Menai Suspension Bridge через протоку Менай, Півн. Уельс	Томас Телфорд	1826	176	«	В експлуатації
25. Ланцюговий міст Сечені через р. Дунай, Будапешт	Уільям Терней Кларк	1839÷49	202,4	Ланцюговий; 50+202,4+50 м	«
26. Міст Brooklyn Bridge через р. Іст-Ривер, Нью-Йорк	Джон Август Реблінг	1870÷83	486,3	Кабельний; 287+486,3+287 м	«

Закінчення табл. 2.4

1	2	3	4	5	6
27. Міст Golden Gate Bridge через протоку Золоті ворота, м. Сан-Франциско, США	I. Штраус	1933÷37	1280	Кабельний; 343+1280+343 м	«
28. Міст Verrazano-Narrows Bridge через протоку Нерроуз, Нью-Йорк		1964	1298	Кабельний; 370,5+1298+370,5 м; висота пілонів 211 м	«
29. Босфорський міст	О.О. Керенський	1970÷73	1074	Кабельний; висота пілонів 165 м	«
30. Міст Акасі Кайкьо через протоку Акасі, м. Кобе, Японія		1988÷98	1991	Кабельний; 960+1991+960 м; висота пілонів 298 м	«

Застосовувані матеріали в основному обумовлювали конструктивні та архітектурні рішення при будівництві, архітектурні стилі (дод. Б). Багато століть основними матеріалами для капітального будівництва були природний і штучний керамічний камінь. З таких матеріалів неможливо виконати плоске перекриття великого прогону. Тому, наприклад, для давньогрецьких пам'ятників архітектури (Парфенон, рис. 2.6) характерна наявність великої кількості близько розташованих колон, поверх яких виконувалося плоске перекриття із кам'яних блоків – антаблемент із архітраву, фризу та карнізу, прогін якого (інтерколумній) призначали рівним не більше 3,5 діаметрів колони.

Більші прогони навчилися перекривати каменем, влаштовуючи арки, склепіння, куполи із замком. Тому для пам'ятників архітектури – давньоримської (рис. 2.7÷2.9), візантійської (рис. 2.10), давньоруської (рис. 2.11), романської, готичної (рис. 2.12, 2.13) характерні такі елементи, як арки, склепіння, куполи, які опираються на масивні стіни, або (найвиразніше у готиці) підтримуються контрфорсами, аркбутанами.

Проте знання про будівництво та будівельні матеріали до XIX ст. накопичувались виключно на основі емпіричного досвіду і дуже повільно – портландцемент запатентував каменярь Дж.Аспдін, залізобетон – садівник Ж.Моньє. Вивчення будівельних матеріалів з позицій фундаментальних наук,

розпочате А.Лавуазьє, сприяло тому, що з середини ХІХ ст. будівельні матеріали, конструкції і будівництво в цілому зазнали бурхливого розвитку, який у другій половині ХХ ст. набув характеру науково-технічної революції.

До тепершнього часу основними матеріалами для капітального будівництва стали цементний бетон, залізобетон, сталь. З ХХ ст. поширюється також застосування полімерів, з яких виробляють опоряджувальні матеріали, матеріали для ремонту, гідроізоляції і т.п.

Це суттєво змінило архітектурний вигляд будівель і споруд. Вони стали легкими і ажурними завдяки створенню попередньо напруженого залізобетону, плоских перекриттів великих прогонів, ферм, висячих, вантових конструкцій і т.п. На початку ХХ ст., а потім на рубежі ХХ і ХХІ ст., як наслідок науково-технічної революції прискорювались перегони з досягнення найвищих висот башт (рис. 2.14, 2.16, 2.17), будівель (рис. 2.13, 2.15, 2.18÷2.21), довжини мостів (рис. 2.28÷2.35), тунелів (рис. 2.36÷2.38).



Рис.2.6. Парфенон, Афіни, Греція

Розміри – 69,5× 30,9, висота колон – 10,4 м; суха кладка із мармурових блоків, з'єднання на залізних і дерев'яних штирях; збудований – 447÷438 рр. до н. е.; архітектор – Іктін. У 1687 р. зруйнований вибухом порохового складу при облозі Афін венеціанцями під час венеціансько-турецької війни

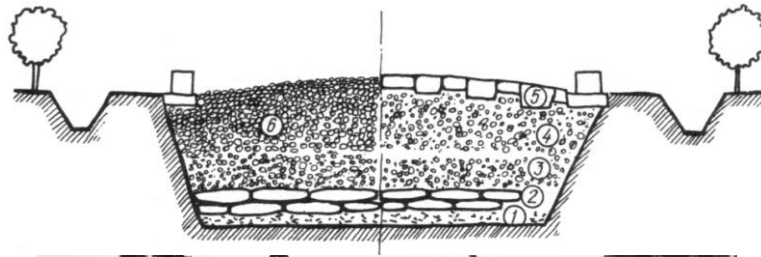


Рис. 2.7. Давньоримські дороги

Поперечний переріз дороги з гравійним (ліворуч) і кам'яним покриттям [7]:

1 – підстиляючий шар; 2, 5 – кам'яні плити; 3, 4 – бетон; 6 – гравій.  
 Аппієва дорога (сучасний вигляд), збудована у 312 р. до н. е. Вздовж Аппієвої дороги у 72 р. до н. е. було розп'ято 6000 рабів – учасників повстання Спартака

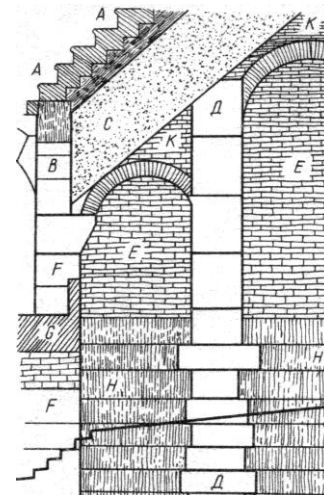


Рис. 2.8. Колізей, Рим, Італія

Збудований у 70÷80 рр. Розміри – 187,77×155,64 м (еліпс), висота – до 50 м; місткість – 87 тис. глядачів; А – мармурові сидіння; В – арка із вапняку-травертину; С – похиле склепіння із пемзобетону; Д – стовп із травертину; Е – стіна із туфобетону, облицьована цеглою; F – стовп із травертину; G – бетонна арка, облицьована цеглою; H – стіна із туфу; K – цегляні арки



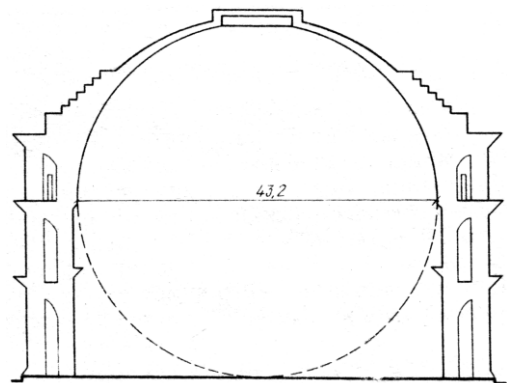


Рис. 2.9. Пантеон, Рим, Італія  
 Діаметр купола – 43,2 м;  
 монолітний бетон на вапні  
 з пуцоланою, цегляний каркас,  
 облицювання мармуром;  
 побудований бл.125 р.;  
 архітектор – імовірно Аполодор  
 Дамаський

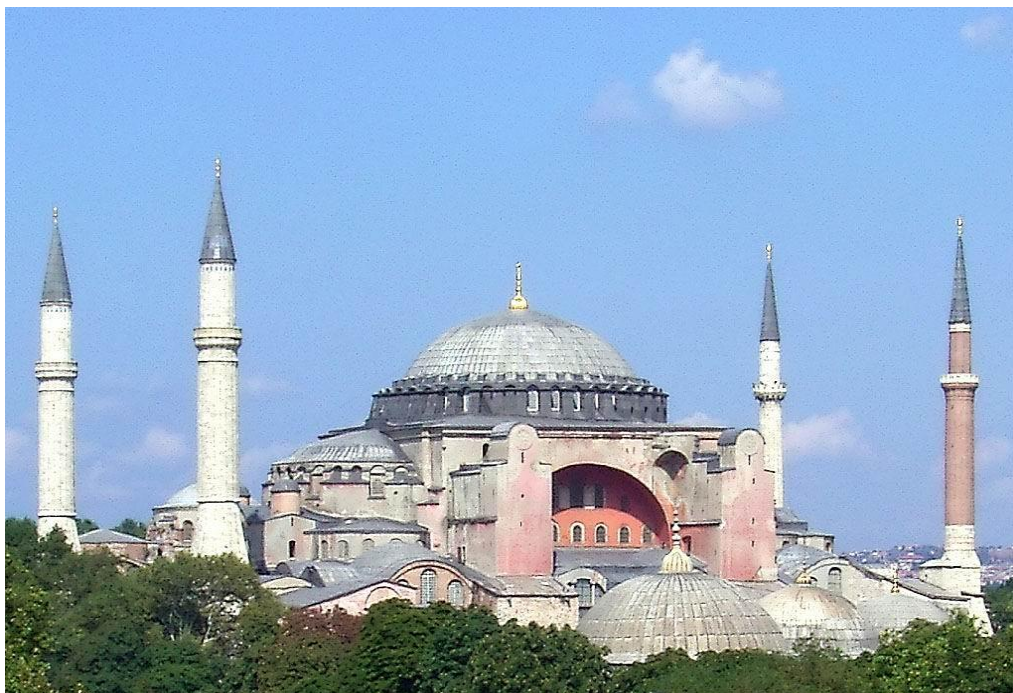


Рис. 2.10. Софійський собор, Стамбул, Туреччина  
 Висота – 55 м, розміри – 70×50 м, діаметр купола – 31 м; збудований у  
 532÷537 рр.; архітектори – Ісідор Мілетський, Анфій Тралеский. У 989 р.  
 купол обрушився від землетрусу, був відбудований. У XV ст. прибудовано  
 мінарети. 16.07.1054 р. у Софійському соборі Константинопольському  
 патріарху було вручено відлучувальну грамоту римського папи, яка  
 оформила розкіл християнської церкви на католицьку і православну



Рис. 2.11. Софійський собор, Київ, Україна  
Висота – 28,6 м; кладка із вапняка і плинфи (цегли) на вапняно-цем'янковому розчині; збудований у 1017÷1032 рр., перебудований – кін.ХVІІ ÷ поч. ХVІІІ ст.



Рис. 2.12. Лінкольнський собор Діви Марії (The Cathedral Church of the Blessed Virgin Mary of Lincoln), м. Лінкольн, В. Британія  
Висота – бл. 160 м; збудований – ХІІ ст.÷1311 р.; у 1311÷1549 рр. – найвища будова світу; у 1549 р. шпиль обрушився і собор був перебудований меншої висоти





Рис. 2.13. Кельнський собор,  
Кельн, Німеччина

Висота – 157 м; будувався у 1248÷1880 рр.;  
рекордний довгобуд – 632 роки; у  
1880÷84 рр. – найвища будова світу



Рис.2.14. Ейфелева вежа, Париж,  
Франція

Висота – 300,7 м; сталеві конструкції;  
збудована у 1889 р.; конструктор –  
Густав Ейфель; у 1889÷1930 рр. –  
найвища споруда у світі

Рис. 2.15. Empire State Building,  
Нью-Йорк, США

Висота – 381 м, до верхівки шпиля –  
448,7 м; кількість поверхів – 102;  
несучі конструкції – сталеві; вага –  
33 тис. т; місткість – 21 тис. люд.  
Побудований у 1930÷31 рр. за 410 днів,  
кількість будівельників – 3400; у  
1931÷72 рр. – найвища будівля світу





Рис. 2.16. Останкінська телевежа, Москва, Росія  
Висота – 540 м, діаметр в основі – 63 м, вага – 51,4 тис. т; попередньо напружений залізобетон; збудована у 1963÷67 рр., тривалість будівництва – 54 місяці; конструктор – М.В. Нікітін



Рис. 2.17. Телевежа CN Tower, Торонто, Канада  
Висота – 553,33 м; вага – 130 тис.т; попередньо напружений залізобетон; збудована у 1973÷75 рр.; у 1991÷2007 рр. – найвища споруда світу



Рис. 2.18. Вежі-близнюки World Trade Center (Нью-Йорк, США)  
 Висота башт: Північної – 417 м (у 1973÷2001 рр. – найвища будова світу), Південної – 415 м; кількість поверхів – 110; уведені в експлуатацію – у 1973 р., архітектор – Мінору Ямасакі (Японія). 11.09.2001 зруйновані внаслідок терористичного акту



Рис. 2.19 Вежі-близнюки Петронас, Куала-Лумпур, Малайзія  
 Висота – 451,9 м; кількість поверхів – 88; попередньо напружений залізобетон; збудовані у 1992÷97 рр.; кошторисна вартість – 800 млн. дол. США



Рис. 2.20. Тайбей 101; Тайбей, Тайвань  
 Висота – 509,2 м; поверхів – 101; сталеві конструкції; збудований у 1999÷2003 рр; архітектори – С.У. Lee & Partners; кошторисна вартість – 1,7 млрд дол.США



Рис. 2.21. Бурдж Дубай, Дубай, ОАЕ  
 Висота – 818,9 м, кількість поверхів – 164; попередньо напружений залізобетон; збудований у 2004÷09 рр.; архітектор – Е.Сміт; кошторисна вартість – 4,1 млрд дол.США





Рис. 2.22. Міст Понте Фабричіо через рукав р.Тибр, Рим  
Кам'яний арковий, двопрогоновий, з прогоном 24,5 м, повною довжиною  
62 м. Збудований у 62 р.до н. е. Луцієм Фабрицієм



Рис. 2.23. Акведук Пон-дю-Гар (Нім, Франція)  
Довжина – 275 м (всього водопроводу – 50 км), висота – 47 м;  
потужність – 20 тис. м<sup>3</sup> води на добу. Збудований у 19 р. до н. е.





Рис. 2.24. Міст Чжаочжоу, пров. Хебей, Китай  
Кам'яний арковий; довжина прогону 37,37 м, повна довжина мосту 50,82 м,  
висота 7,3 м. Збудований у 595÷605 рр.

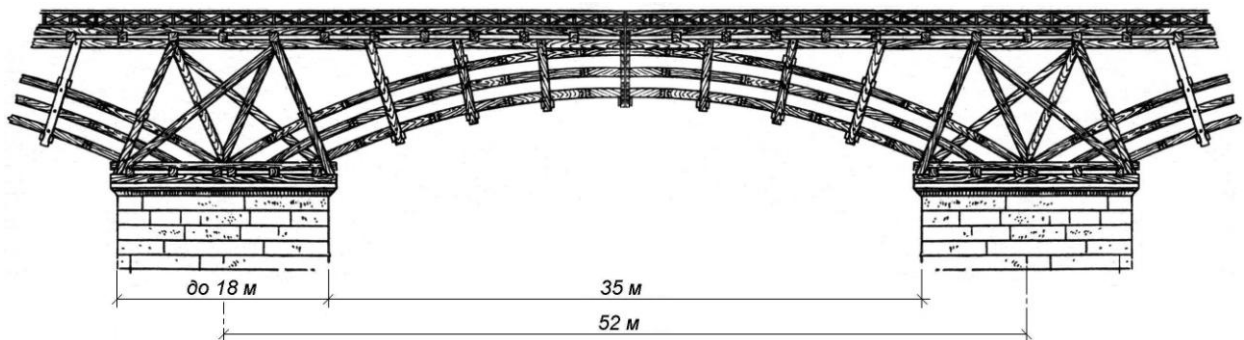


Рис. 2.25. Міст Траяна через р. Дунай  
Дерев'яний арковий на кам'яних опорах. Довжина близько 1100 м –  
21 прогін по 52 м між осями опор, 35 м на просвіт, ширина опор – до 18 м.  
Збудований у 104÷105 рр. Аполодором Дамаським

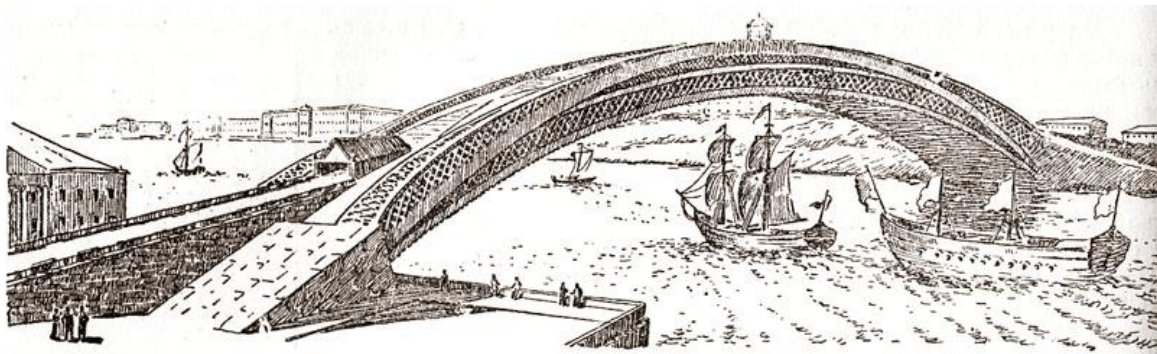


Рис. 2.26. Проект дерев'яного мосту прогоном 300 м через р. Нева  
у м. С.-Петербургу, розроблений І.П.Кулібіним у 1776. Була  
виготовлена і випробувана модель 1:10





Рис. 2.27. Міст Колбрук Дейл через р. Северн, Англія  
Чавунний арковий прогоном 30 м. Збудований у 1779 р.. Перший металевий міст. Всього у світі збудовано 47 чавунних мостів



Рис. 2.28. Залізничний міст Фьорс-оф-Форс через затоку Фьорс-оф-Форс поряд з м. Единбург, Шотландія  
Сталевий двоконсольний зі вставками, аркового окреслення, надводні прогони  $2 \times 521$  м. Збудований у 1883÷89 рр. за проектом Б. Бекера





Рис. 2.29. Міст Sydney Harbour Bridge через затоку Порт-Джексон, м. Сідней, Австралія  
Сталевий арковий з їздою посередині, довжина прогону 503 м.  
Збудований у 1931 р.



Рис. 2.30. Міст Салгінатобеле через ущелину Сальгіна,  
Швейцарія  
Залізобетонний арковий з їздою поверху, довжиною прогону 90 м.  
Збудований у 1929÷30 рр. за проектом Робера Майара (Maillart)





Рис. 2.31. Міст Menai Suspension Bridge через протоку Менай, Північний Уельс  
Висячий ланцюговий прогоном 176 м. Збудований у 1826 р. Томасом Телфордом



Рис. 2.32. Міст Brooklyn Bridge через р.Іст-Ривер, Нью-Йорк  
Висячий кабельний 287+486,3+287 м. Збудований у 1870÷83 рр. за проектом Джона Августа Реблінга. Кошторисна вартість 15,1 млн дол. США



Рис. 2.33. Міст Golden Gate Bridge (Золота брама) через протоку Золота Брама, м. Сан-Франциско

Висячий кабельний. Довжина: повна – 1970 м, основного прогону – 1280 м, висота над водою: пілонів – 230 м, проїжджої частини – 67 м. Збудований у 1933÷37 рр. за проектом Джозефа Штрауса. У 1937÷64 рр. – найдовший міст світу

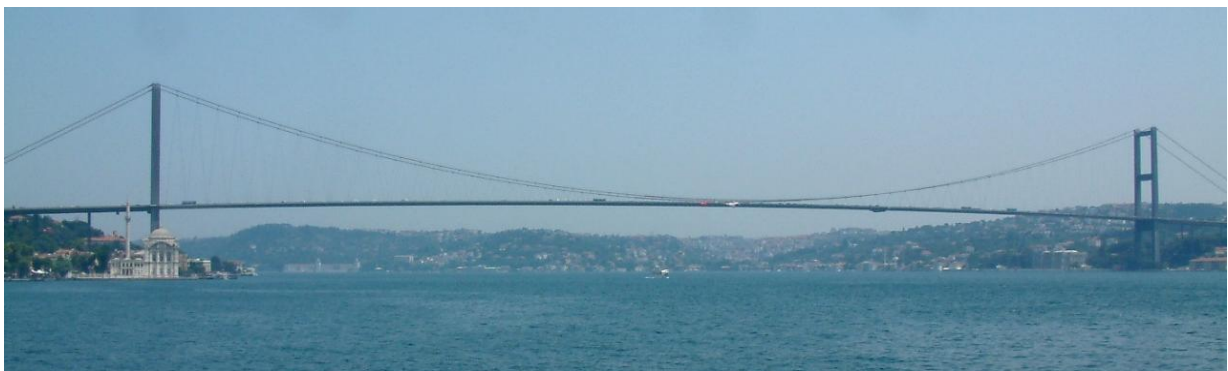


Рис. 2.34. Босфорський міст через протоку Босфор, м. Стамбул  
Висячий кабельний. Довжина прогону – 1074 м, висота пілонів – 165 м, збудований у 1970÷73 рр. за проектом Олега Олександровича Керенського (сина О.Ф. Керенського). Кошторисна вартість – 200 млн дол. США





Рис. 2.35. Міст Акасі Кайкьо через протоку Акасі, м. Кобе, Японія  
 Висячий, кабельний. Довжина 3911 м – 960+1991+960 м, висота пілонів –  
 298 м. Збудований у 1988÷98 рр. Кошторисна вартість – бл. 5 млрд дол. США

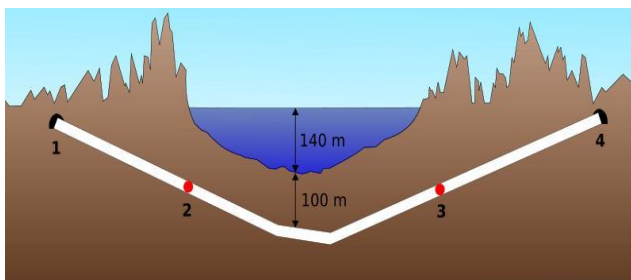


Рис. 2.36. Підводний тунель  
 Сейкан під протокою  
 Цугару між о-вами Хонсю і  
 Хокайдо, Японія  
 Довжина – 53,85 км, підводної  
 частини – 23,3 км; уведений в  
 експлуатацію 03.03.1988;  
 тривалість будівництва – 14 років

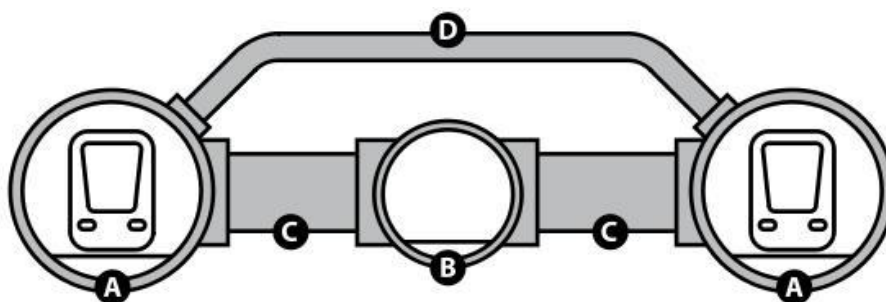
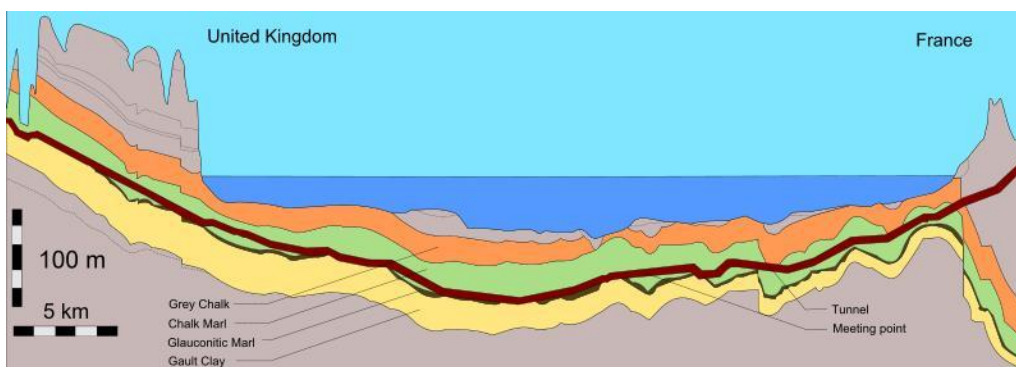


Рис.2.37. Євротунель під протокою Ла-Манш між Францією і В. Британією:

*A* – основні тунелі; *B* – службовий тунель; *C* – поперечні проходи для обслуговування та евакуації (кожні 375 м); *D* – система вентиляції (кожні 250 м). Довжина – 51 км, підводної частини – 39 км; уведений в експлуатацію 06.05.1994; тривалість будівництва – 7 років; кошторисна вартість – 12 млрд дол. США





Рис. 2.38. Готардський базовий тунель крізь Швейцарські Альпи, що будується на залізничній лінії Цюрих (Швейцарія) – Мілан (Італія). Залізничний, двоколіїний, довжина – 57 км; терміни будівництва: початок – 1993 р., заплановане уведення в експлуатацію – 2016-17 рр.; кошторисна вартість – 6,248 млрд дол. США

*Видатні винахідники і вчені в галузі будівництва та будівельних матеріалів*

**Імхотеп** (бл. 2650÷2610-х рр. до н. е., рис. 2.39) – давньоєгипетський архітектор, державний і релігійний діяч (візир, верховний жрець), лікар. Вперше застосував пірамідальну форму і колону в архітектурі, збудував першу піраміду – Джосера (рис.2.4). Імхотепа вважають засновником давньої науки і медицини. Після смерті його вважали за бога, який в грецькому пантеоні набув ім'я Асклепій, в римському – Ескулап.

**Вітрувій** Марк Полліон (*Vitruvius Marcus Pollio*) – давньоримський архітектор та інженер. У 10÷15 рр. н.е. створив трактат «Десять книг про архітектуру» (*De architectura libri decem*) – найстарішу відому наукову працю про архітектуру та будівництво, у т.ч. будівельні матеріали. Висунув вимогу до єдності «міцності, корисності та краси» споруди. Створив ергономічну систему пропорціювання в образотворчому мистецтві та архітектурі, яка пізніше була названа «Вітрувіанською людиною» (рис. 2.40).



Рис. 2.39. Імхотеп

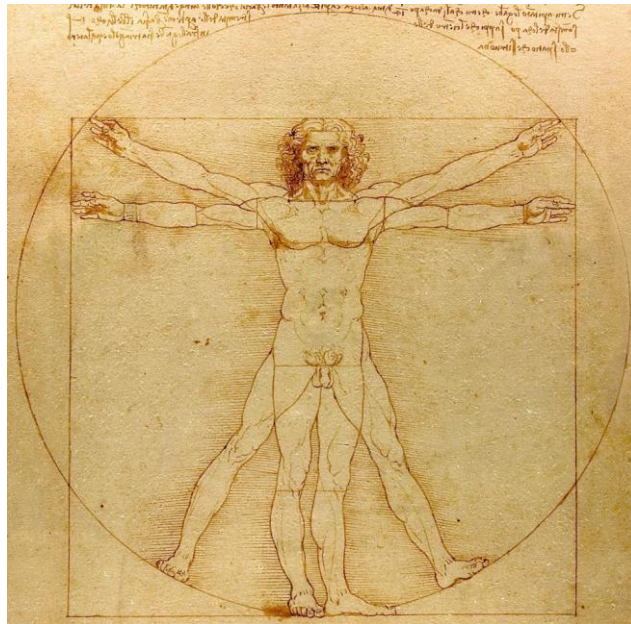


Рис. 2.40. «Вітрувіанська людина» – рисунок Леонардо да Вінчі, що пояснює «канонічні пропорції», розроблені Вітрувієм

**Смітон** Джон – англійський будівельник, у 1756 р. одержав із глинистого вапняку гідравлічне вапно.

**Лавуазьє** Антуан Лоран – видатний французький хімік (п. 2.1), вперше дослідив реакції утворення і твердіння будівельного гіпсу.

**Паркер** Джеймс – англійський будівельник, у 1796 р. одержав із глинистого вапняку романцемент.

**Фрост** Джеймс – англійський підприємець, у 1811 р. побудував перше промислове підприємство з виробництва гідравлічного вапна поблизу Лондона.

**Брюнель** Марк Ізамбар (sir Brunel, 1769÷1849) – винахідник прохідницького щита для будівництва тунелів, будівельник тунелю під Темзою, віце-президент Лондонського королівського товариства. Нар. у м. Гакевіль, Франція, отримав духовну освіту, служив у французькому флоті, під час Французької революції у 1793 р. емігрував у Нью-Йорк, у 1799 р. перїхав до Англії. У 1819 р. спроектував, а у 1825÷42 рр. збудував тунель під Темзою, у 1832 р. вперше застосував бетон. Син – також відомий винахідник – Брюнель Ізамбар Кінгдом.



Брюнель М.І.



Віка Л.Ж.

Рис.2.41. Видатні вчені і винахідники в галузі будівництва та будівельних матеріалів

**Челієв** Єгор Герасимович (1771÷бл.1839) – начальник майстерень Московської військово-робочої бригади, капітан. Брав участь у відбудові Москви після пожежі 1812 р. Незалежно від Дж.Аспідна одержав портландцемент, описав його в книзі «Полное наставление, как приготовить лучший мертель или цемент, весьма прочный для подводных строений, а именно, каналов, мостов, бассейнов, дамб, подвалов и штукатурки каменных и деревянных строений» (1825, рис. 2.42).

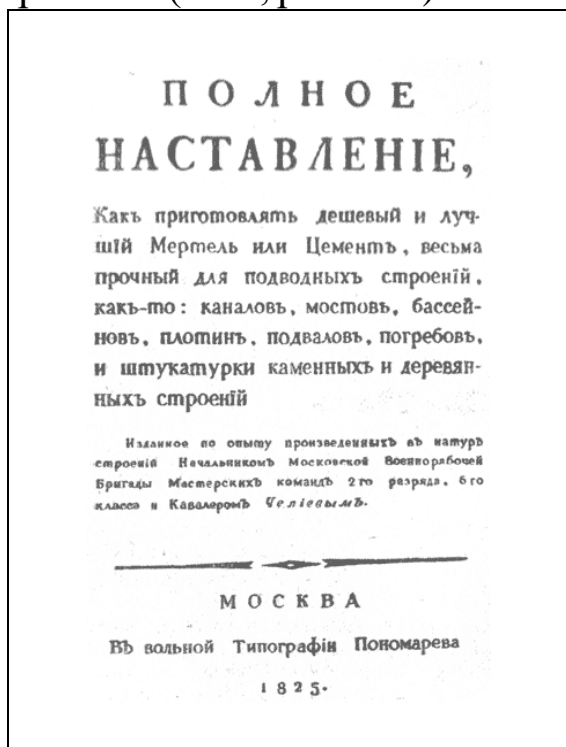


Рис. 2.42. Титульний аркуш книжки Є.Г. Челієва

**Аспдін** Джозеф (Aspdin Joseph, 1778÷1855) – англійський муляр з м. Лідс, 21.10.1824 запатентував «Удосконалений спосіб виробництва штучного каменю», який назвав портландцементом.

**Віка** Луї Жозеф (Vicat Louis-Joseph, 1786÷1861) – французький інженер і вчений, член-кореспондент Французької академії наук (1833). Вперше одержав гідравлічне вапно із штучної суміші вапняку (крейди) і глини, у 1818 р. побудував перше у Франції промислове підприємство з виробництва гідравлічного вапна, запропонував стандартні методи випробувань мінеральних в'язучих (прилад Віка).

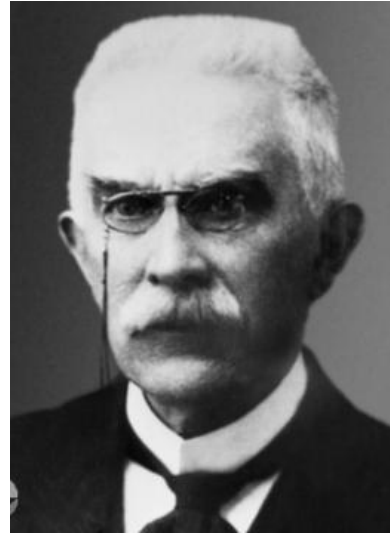
**Моньє** Жозеф (1823÷1906, рис.2.43) – французький садівник, винахідник залізобетону. Запатентував садову кадку із дротяного каркасу і цементного розчину, яка формується в опалубці (16.07.1867), укріплені залізом цементні труби і басейни (1868), залізоцементні панелі для фасадів будинків (1869), мости із залізоцементу (1873), залізобетонні балки (1878). У 1886 р. німецький інженер Гюстав Вайс (*Gustav Adolf Wayss*, 1851÷1917) купив патент Моньє, удосконалив принцип залізобетону, заснував будівельну фірму *Wayss&Freitag*, яка розповсюдила залізобетон по всьому світу.

**Міхаеліс** Вільгельм (Michaelis) – німецький вчений, у 1867 р. вперше запропонував теорію твердіння мінеральних в'язучих речовин – колоїдно-хімічну, у 1880 р. запатентував матеріал, одержуваний в автоклаві з вапна та піску (силікатна цегла, силікатні бетони).

**Ле Шательє** Анрі Луї (Le Chatelier, 1850÷1936, рис.2. 43) – видатний французький фізико-хімік, металознавець; член Паризької академії наук (1907), іноземний почесний член Академії наук СРСР (1927), професор Паризької вищої гірничої школи (1877÷1919), Коллеж де Франс (1898÷1907), Паризького університету (1907÷25). У фізичній хімії: сформулював закон зміщення хімічної рівноваги в залежності від зовнішніх факторів (принцип Ле-Шательє, 1884); розробив термоелектричний пірометр для вимірювання високих температур (1886÷89); сконструював металографічний мікроскоп (1897). У будівельному матеріалознавстві – розробив кристалохімічну теорію твердіння мінеральних в'язучих речовин (1883).



Монье Ж.



Ле Шательє А.Л.

Рис. 2.43. Видатні вчені і винахідники в галузі будівництва та будівельних матеріалів

**Малюга** Іван Григорович (1853÷1933) – російський військовий інженер і вчений в галузі будівельних матеріалів, основоположник дослідження і застосування в Росії бетонів, професор (1891), генерал-лейтенант (1909).

Народився в Чернігівській губернії у дворянській сім'ї, у 1879 р. закінчив Миколаївське інженерне училище і академію (С.-Петербург), у 1879÷82 рр. військовий інженер Керченської фортеці, з 1882 р. на науково-педагогічній роботі в Миколаївській інженерній академії.

Вперше встановив залежність міцності і щільності будівельних розчинів і бетонів від вмісту води (виявив закон водоцементного відношення), складу, ступеня ущільнення та інших факторів, запропонував метод визначення оптимального вмісту води в розчинах і бетонах.

Основні праці: «Причины порчи дерева в сооружениях и способы предохранения его от гниения» (1885); «Оценка глиняных строительных материалов» (1888); «Свойства портландского цемента (и других гидравлических вяжущих веществ) в применении его и испытании» (1891); «Естественные строительные камни» (1892); «Состав и способ приготовления цементного раствора (бетона) для получения наибольшей



крепости» (1895); «Производство кирпича и других глиняных строительных материалов» (1900); «Технический анализ каменных строительных материалов» (1902).

**Байков** Александр Александрович (1870÷1946, рис. 2.44) – радянський вчений-хімік і металознавець; академік і віце-президент Академії наук СРСР, лауреат Державної премії СРСР (Сталінської, 1943), Герой Соціалістичної праці.

Народився у Курській губернії, у 1893 р. закінчив Петербурзький університет, у 1893÷95 рр. лаборант кафедри хімії, у 1895÷1902 рр. викладає в Інституті шляхів сполучення, з 1903 р. професор Петербурзького політехнічного інституту, з 1921 р. – декан хімічного факультету, з 1925 р. – ректор. У 1937÷46 рр. депутат Верховної ради СРСР. У 1923 р. запропонував теорію твердіння мінеральних в'язучих речовин, в якій поєднав уявлення Ле Шательє і Міхаеліса.



Байков О.О.



Беляев М.М.



Рєбіндер П.О.

Рис. 2.44. Видатні вчені і винахідники в галузі будівництва та будівельних матеріалів

**Фрейсіне** Ежен (Freyssinet, 1879÷1962) – французький інженер і вчений, фахівець в галузі залізобетонних конструкцій, один із творців попередньо напруженого залізобетону.



Закінчив Національну школу мостів і доріг (1904). У 1905÷28 рр. запроектував і збудував ряд залізобетонних мостів (арочних з прогоном до 186,4 м) та інших споруд. Вперше дослідив повзучість бетону та її вплив на втрату попереднього напруження. З 1928 р. почав розроблення і дослідження попередньо напружених залізобетонних конструкцій і методів їх виготовлення із бетону і сталі високої міцності; у 1932 р. організував перше промислове виробництво попередньо напружених виробів – залізничних шпал, щогл, паль. Запропонував і здійснив ряд нових конструктивних рішень мостів, гідротехнічних споруд, покриття великих прогонів із попередньо напруженого залізобетону, які отримали розповсюдження в багатьох країнах.

**Беляєв** Микола Михайлович (1890÷1944, рис. 2.44) – радянський вчений і педагог в галузі теорії міцності, професор (1924), член-кореспондент Академії наук СРСР (1939). Після закінчення у 1916 р. Петербурзького інституту шляхів сполучення викладав у ВНЗ, з 1939 р. працював в інституті механіки Академії наук СРСР.

Одним із перших працював у галузі теорії пластичних деформацій та її застосування до явищ повзучості і релаксації металів; на її основі вперше вирішив ряд практичних задач теоретичної механіки і опору матеріалів; брав участь у розробленні основ методики динамічних випробувань мостів; у 1924÷40 рр. досліджував рейкову сталь, внаслідок чого були розроблені нові технічні умови на рейки. Автор відомого підручника «Сопротивление материалов», який витримав 14 видань тільки російською мовою і перекладений на ряд іноземних мов. У 1927 р. запропонував математичний вираз закону міцності бетону – залежності міцності від водоцементного відношення за масою  $R_{\sigma}=R_{\psi}/[A(B/C)^n]$ .

**Рєбіндер** Петро Олександрович (1898÷1972, рис. 2.44) – радянський фізик-хімік; професор (1929), член-кореспондент АН СРСР (1933), академік Академії наук СРСР (1946), лауреат Державної премії СРСР (Сталінської, 1942), Герой Соціалістичної праці (1968).

Народився у С.-Петербурзі, у 1924 р. закінчив фізико-математичний факультет МГУ. З 1929 р. професор Московського педагогічного інституту, з 1934 р. керівник створених ним лабораторії, відділу дисперсних систем Колоїдно-електрохімічного інституту (з 1945 р. – Інститут фізичної хімії) АН СРСР, з 1942 р. – завідувач кафедри колоїдної хімії МГУ, у 1958 р. створив і очолив Наукову раду АН СРСР з проблем колоїдної хімії і фізико-хімічної механіки, з 1967 р. – Голова Національного комітету СРСР з поверхнево-активних речовин, з 1962 р. – головний редактор «Коллоидного журналу».

Автор понад 500 наукових праць. Відкрив ефект адсорбційного зниження міцності твердих тіл (Ефект Ребіндера, 1928), запропонував термодинамічну характеристику поверхнево-активних речовин – поверхневу активність  $d\sigma/dc$ . У 1941÷45 рр. виконував розробки для підвищення боєздатності Червоної армії – розробив самозаймаючу рідину «коктейль Молотова», зимні мастила для бронетехніки. У 1950-х запропонував сучасну теорію твердіння мінеральних в'язучих речовин. Захоплювався філателією – був одним із провідних філателістів СРСР.

**Скрамтаєв** Борис Григорович (1905÷1966, рис. 2.45) – радянський вчений в галузі будівельних матеріалів, професор (1933), доктор технічних наук (1935), дійсний член Академії будівництва та архітектури (1956), лауреат Державної премії СРСР (1950).

Народився у м. Гончарна Слобода (нині м. Суджа) Курської обл. У 1921 р. закінчив вечірнє відділення Харківського будівельного технікуму, у 1926 р. – Харківський технологічний інститут (нині НУ «ХП»). У 1926÷29 рр. – інженер Харківського окружного відділу комунального господарства, у 1929÷31 рр. – завідувач лабораторії будівельних матеріалів Українського інституту споруд (м. Харків), у 1931÷40 рр. – керівник лабораторії бетонів Державного інституту споруд (м. Москва), у 1931÷32 рр. – завідувач кафедри будівельних матеріалів Московського інституту інженерів транспорту, у 1932÷60 рр. – начальник кафедри будівельних матеріалів Військово-інженерної академії, завідувач кафедри будівельних матеріалів Московського інженерно-будівельного інституту. У 1938÷47 рр. – член комітету зі

справ будівництва при Раднаркомі СРСР, голова технічної ради Наркомбуду СРСР, заступник Міністра промисловості будівельних матеріалів СРСР; у 1941÷47 рр. – директор Центрального науково-дослідного інституту промислових споруд; з 1947 р. – директор створеного ним науково-дослідного інституту цементів «НИИцемент»; з 1960 р. президент Міжнародної спілки випробувань матеріалів і конструкцій RILEM. Похований у Москві на Новодівичому кладовищі.

Основні праці пов'язані з дослідженнями властивостей і вдосконаленням технології бетону і мінеральних в'язучих. Розробив теоретичні основи міцності бетону, сучасну методику підбору складу бетону, зокрема, запропонував сучасний математичний вираз закону міцності бетону  $R_6 = AR_u(C/B \pm 0,5)$ , логарифмічний закон зростання міцності бетону  $R_n/R_{28} = \lg n / \lg 28$ , принцип абсолютних об'ємів  $Щ/\rho_{щ} + П/\rho_n + Ц/\rho_c + B/\rho_e = 1 \text{ м}^3$ .

Автор 26 винаходів, понад 440 наукових і навчально-методичних праць, широко відомих у світі: «Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси» (докторська дисертація), «Строительные материалы», «Строительные материалы и изделия», «Примеры расчетов и задачи по строительным материалам», «Бетон. Исследовательские работы, проектирование составов и контроль на постройках», «Выбор допускаемых напряжений и марок бетонов», «Теория прочности бетона», «Новые виды бетонов», «Крупнопористый бетон и его применение в строительстве» і т.д.

**Мчедлов-Петросян** Отар Петрович – вчений в галузі фізичної хімії будівельних матеріалів (п. 3.5).

**Бабушкін** Володимир Іванович (1930÷2007, рис. 2.45) – вчений в галузі термодинаміки і технології мінеральних в'язучих і бетонів, корозії будівельних конструкцій, доктор технічних наук (1972), професор, академік Академії будівництва України, Інженерної академії України, Міжнародної Інженерної академії, лауреат Державної премії СРСР (1980), Державної премії України (1993).



Скрамтаєв Б.Г.



Бабушкін В.І.

Рис. 2.45. Видатні вчені і винахідники в галузі будівництва та будівельних матеріалів

Закінчив Харківський політехнічний інститут, працював у ХПІ, Українському заочному політехнічному інституті, Науково-дослідному інституті «УкрНИИводгео, у 1980÷90 рр. проректор з наукової роботи, у 1990÷2006 рр. – завідувач кафедри будівельних матеріалів та виробів Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури.

Вперше застосував термодинамічні методи до дослідження процесів твердіння і корозії цементу. Книгу Бабушкіна В.І., Матвєєва Г.М., Мчедлова-Петросяна О.П. «Термодинаміка силікатів» перекладено англійською, німецькою, китайською мовами та перевидано в усьому світі багато разів.

### *Контрольні запитання*

1. З яким досягненням пов'язують неолітичну революцію?
2. З яким досягненням пов'язують першу технічну революцію?
3. Хто є видатними вченими Стародавнього світу?
4. Хто із вчених висунув гіпотезу про атомну будову речовини?

5. Кого вважають засновником механіки, зокрема, статички?
6. Кого вважають засновником динаміки?
7. З якими відкриттями або досягненнями пов'язують першу наукову революцію?
8. Хто відкрив закон всесвітнього тяжіння, сформулював три закони механіки і розробив диференціальне та інтегральне числення?
9. Кого вважають засновником сучасної хімії?
10. Кого вважають засновником фізичної хімії?
11. Хто із вчених відкрив періодичну систему хімічних елементів?
12. Хто є автором теорії відносності?
13. Які досягнення в галузі будівництва характерні для Першої технічної революції?
14. Коли в будівництві почали застосовувати гіпс?
15. Коли в будівництві почали додавати у вапно гідравлічні добавки?
16. Які досягнення в галузі будівництва характерні для Промислової революції?
17. Коли і ким було винайдено портландцемент?
18. Коли і ким було запатентовано залізобетон?
19. Хто з видатних вчених вперше дослідив будівельний гіпс?
20. Які теорії твердіння цементу і ким були створені у XIX÷XX століттях ?
21. Хто є автором сучасної теорії твердіння цементу?

### 3. НАУКОВІ ЗАКЛАДИ І НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНІ КАДРИ

#### 3.1. Види наукових закладів

Наукові дослідження проводяться в наукових закладах, наукових підрозділах навчальних закладів і виробничих підприємств, а також окремими особами в ініціативному порядку. Наукові дослідження окремими особами на сучасному етапі розвитку науки значної ролі не відіграють.

Закладами, в яких здійснювалось накопичення знань у Стародавньому світі, були храми (Єгипет). Математичні, астрономічні дослідження проводили жреці, які були і політичними діячами, і будівельниками, і лікарями (наприклад, Імхотеп, п.1.2.2). Першими світськими закладами, які здійснювали наукові дослідження, були філософські школи Давньої Греції (Платонівська академія і т.д.).

Зі середньовіччя наукові дослідження провадили навчальні заклади – університети (табл.1.2). З нового часу в найбільш розвинутих країнах світу створюються академії наук.

Науковими закладами та навчальними закладами, що здійснюють наукові дослідження, в теперішній час є: академії, університети, інститути, лабораторії.

*Академія* – наукова установа (академія наук) або вищий навчальний заклад. Слово «академія» з'явилося у Давній Греції – близько 395 р. до н.е. в оливковому гаю біля Афін, присвяченому міфічному герою Академу, філософ Платон заснував Платонівську академію – релігійно-філософський союз, який вивчав філософію, математику, астрономію, природознавство та ін. Девізом академії було «Негеометр та не увійде!».

*Академія наук* – державна або громадська установа, яка об'єднує вчених і наукові установи і організовує, здійснює або координує наукові дослідження. Відомі такі академії:

- **Лондонське королівське товариство** з розвитку знань про природу (**The Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge**), створене у 1660 р.; громадська установа; найвідоміші президенти: Ісаак Ньютон (1703÷27), Уільям Томсон (лорд Кельвін, 1890÷95), Ернест Резерфорд (1925÷30);

- Французька (Паризька) академія наук (Académie des sciences), створена у 1666 р., громадська установа, найвідоміші президенти і директори – Христиан Гюйгенс (1666÷81), Антуан Лавуазьє (1785÷94);

- Російська академія наук, створена у 1724 р. під назвою Петербурзька академія наук, у 1924÷91 рр. – Академія наук СРСР, державна установа;

- Нью-Йоркська академія наук, створена у 1817 р., громадська установа, найвідоміші члени: Томас Джеферсон, Чарлз Дарвін, Альберт Ейнштейн.

- Національна академія наук України (п. 3.2).

Крім академій загальнонаукової спрямованості існують вузькі за фаховою спрямованістю академії – галузеві.

**Академія** – вищий навчальний заклад галузевої спрямованості, який здійснює підготовку, перепідготовку або підвищення кваліфікації працівників вищої кваліфікації для певної галузі професійної діяльності, а також виконує фундаментальні і прикладні наукові дослідження в певній галузі науки або культури. Приклад – Українська державна академія залізничного транспорту (п.3.3).

**Університет** (нім. Universität, лат. Universitas – сукупність) – вищий навчальний заклад, який здійснює навчання з фундаментальних і багатьох прикладних наук, а також проводить науково-дослідну роботу. Найстаріші і найвідоміші університети світу:

- Аль-Карауїн (м. Фес, Мароко), заснований у 859 р., безперервно діє дотепер;

- Медичний університет у м. Салерно (Італія), заснований на поч. XI ст., існував до 1861 р.;

- Болонський університет (юридичний, Італія), заснований бл. 1088 р.;

- Оксфордський університет (University of Oxford, Англія, рис.3.1), заснований у 1096 р., в теперішній час складається із 38 коледжів і 6 закритих релігійних навчальних закладів, в яких навчається 19486 студентів, 11300 магістрантів, 7380 аспірантів; серед випускників Оксфорду близько 50 Нобелівських лауреатів;





Рис. 3.1. Оксфордський університет: герб університету; один із авторів посібника О.А. Плугін в Оксфордському університеті

- Кембриджський університет (University of Cambridge, Англія, рис.3.2), заснований у 1209 р.; в теперішній час складається із 31 коледжа, в яких працює 8614 викладачів, навчається 18396 студентів, 12018 магістрантів, 6378 аспірантів; випускники Кембриджу – І. Ньютон, Дж. Максвелл, Ч. Дарвін, Е. Резерфорд, а також 83 Нобелівських лауреати, що є найвищим показником у світі;

- Сорбонна (Sorbonne, Франція, рис.3.3), заснований у 1215 р. як Паризький університет; у 1972 р. реорганізований в університетський центр із 13 університетів, об'єднаних у 3 академії і розташованих у м. Парижі і центральному департаменті Франції Іль-де-Франс;

- Карлов університет (Karlova Univerzita, м. Прага, Чехія), заснований у 1347 р.;

- Ягелонський університет (Uniwersytet Jagielloński, м.Краків, Польща), 1364 р.;

- Віденський університет (Universität Wien, лат.– *Alma Mater Rudolphina Vindobonensis*, Австрія), заснований у 1365 р.;

- Гейдельберзький університет Руперта і Карла (Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Німеччина), заснований у 1386 р.;



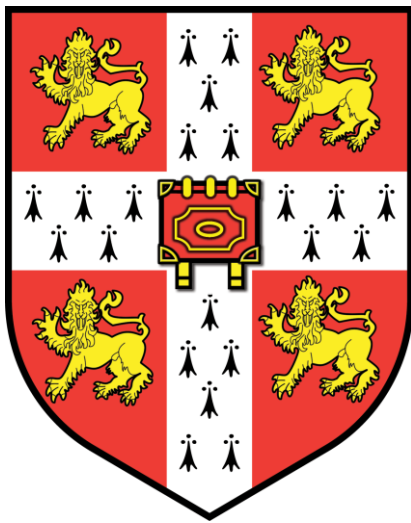


Рис. 3.2. Кембриджський університет: герб університету і будівля Trinity College



Рис.3.3. Сорбонна

- Лейпцигський університет (Universität Leipzig; лат.– Alma mater lipsiensis, Німеччина), заснований у 1409 р.;
- Базельський університет (Швейцарія), заснований у 1459 р.;
- Кенігсбергський університет Альбертина (м. Калінінград, Росія), заснований у 1544 р., старіший на території СРСР і Росії, його наступником вважають Російський державний університет ім. Імануїла Канта, заснований у 1947 р.;

- Києво-Могилянська академія (м.Київ), заснована у 1632 р., існувала до 1817 р., відроджена у 1992 р. як Національний університет «Києво-Могилянська академія», який тепер вважають старішим ВНЗ України;

- Гарвардський університет (Harvard University, м. Кембридж, штат Масачусетс, США, рис. 3.4), заснований у 1636 р., старіший університет США; в теперішній час складається з 9 факультетів, на яких працює 13171 викладач і навчається 19140 студентів, 6714 магістрантів, 12422 аспіранти; Гарвард очолює більшість світових рейтингів університетів; серед випускників Гарварду президенти США Т.Рузвельт, Ф.Рузвельт, Дж.Кеннеді, Дж.Буш-молодший, Б.Обама;



Рис. 3.4. Гарвардський університет: герб університету і одна із будівель

- Львівський університет Яна Казимира, заснований у 1661 р., в теперішній час Львівський національний університет ім. Івана Франка;

- Йельський університет (Yale University, м. Нью-Хейвен, штат Коннектикут, США), заснований у 1701 р.;

- Академічний університет (м. С.-Петербург, Росія), заснований у 1724 р., існував до 1766 р., у 1819 р. відновлений як Санкт-Петербурзький імператорський університет, з 1921 р.

Ленінградський, а з 1991 р. – Санкт-Петербурзький державний університет;

- Московський університет, заснований 12(25).01.1755 (Тетянин день) за ініціативою М.В. Ломоносова; в теперішній час Московський державний університет ім. М.В.Ломоносова (МГУ, рис. 3.5), складається із 40 факультетів і 13 науково-дослідних інститутів; серед випускників МГУ перший і останній президент СРСР М.С.Горбачов, перший президент Латвії (1922÷27) Яніс Чаксте, президенти: Румунії (1990÷96 і 2000÷04) Іон Ілієску, Сомалі (2000÷04) С.Х.Абдулкасім, прем'єр-міністри: Болгарії (2005÷09) С.Д.Станішев, Монголії (з 2007) С.Баяр, Грузії (2005÷07) З.Т.Ногаїделі, видатні діячі культури О.С.Грибоедов, І.С.Тургенєв, Ф.І.Тютчев, А.П.Чехов, Б.Л.Пастернак, В.І.Немирович-Данченко, В.Е. Мейєрхольд, видатні вчені, серед яких 5 Нобелівських лауреатів, 3 лауреати премії Філдса (з математики);

- Харківський імператорський університет, заснований у 1805 р. за ініціативою Василя Назаровича Каразіна; у 1920÷21 рр. – Вільна академія теоретичних знань; у 1921÷32 рр. – Хірківський інститут народної освіти; у 1932÷90-х – Харківський державний університет ім. А.М. Горького; з 1999 р. – Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна (рис. 3.6);

- Київський імператорський університет св.Володимира, заснований у 1832 р.; в теперішній час Київський національний університет ім. Т.Г.Шевченка (рис. 3.7).

В теперішній час в Україні працює понад 25 національних і державних університетів, в Росії – понад 40.

**Інститут** (лат. Institutum – установа) – загальна назва установ різного призначення.

*Інститут* – вищий навчальний заклад галузевої спрямованості, наприклад:

- Санкт-Петербурзький державний технологічний інститут, заснований у 1828 р.;

- Масачусетський технологічний інститут (Massachusetts Institute of Technology, МІТ, м. Кембридж, штат Масачусетс, США), заснований у 1861 р., серед співробітників і випускників МІТ 72 Нобелівських лауреати.





Рис.3.5. Московський державний університет ім. М.В.Ломоносова: герб і головна будівля



Рис.3.6. Харківський національний університет ім.В.Н.Каразіна: герб і головна будівля



Рис. 3.7. Київський національний університет ім.Т.Г. Шевченка: герб університету і головна будівля – «червоний корпус»

*Науково-дослідний інститут НДІ* – спеціалізована наукова установа, наприклад, Інститут колоїдної хімії та хімії води НАН України (м.Київ), Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій НДІБК (м.Київ), Науково-дослідний інститут будівельних матеріалів та виробів НДІБМВ.

*Проектно-вишукувальний інститут* – підприємство будь-якої форми власності, що, згідно з одержаною у Міністерстві регіонального розвитку і будівництва України ліцензією, здійснює вишукування і проектування будівельних об'єктів. Наприклад, проектно-вишукувальні інститути «Укрзалізничпроект», «Хардіпротранс», «Гідропроект».

*Проектно-вишукувальний і науково-дослідний інститут* – установа, яка здійснює проектно-вишукувальні і науково-дослідні роботи, наприклад Харківський «ПромбудНДІпроект», «УкрНДІпроектстальконструкція» (м. Київ), «ПівдентрансНДІпроект» (м. Харків).

*Інститут* – навчальний або науковий підрозділ (факультет, НДІ) сучасного університету, академії, наприклад, Інститут перепідготовки і підвищення кваліфікації ІППК УкрДАЗТ, науково-дослідний інститут в'язучих матеріалів НДІВМ Київського національного університету будівництва та архітектури.

*Інститут* – привілейований жіночий середній навчальний заклад закритого типу в Російській імперії, наприклад Смольний інститут у С.-Петербурзі.

*Інститут* – сукупність норм та інфраструктурних реалій, що відносяться до певної галузі суспільних відносин (соціальні інститути, інститут президентства і т.п.).

**Лабораторія** (лат. *Laboratorium*, від *labore* – працюю) – загальна назва окремих установ або структурних підрозділів вищих навчальних закладів, науково-дослідних установ, підприємств або спеціально обладнаних приміщень, призначених для різних спеціальних досліджень (хімічних, фізичних, технічних і т.п.).

*Лабораторія* як окрема установа – Лос-Аламоська національна лабораторія Міністерства енергетики США (LANL, м. Лос-Аламос, штат Нью-Мексико, США), заснована у 1943 р., в теперішній час нараховує бл.12,5 тис. постійних співробітників і

3,3 тис. співробітників, що працюють за контрактом. У LANL було розроблено перші ядерні бомби «Little Boy» («Малюк») і «Fat Man» («Товстун»), що 6 і 9.08.1945 були скинуті на Хіросиму і Нагасаки.

*Лабораторія як структурний підрозділ ВНЗ:*

- *науково-дослідна лабораторія* – підрозділ, що проводить науково-дослідні роботи, наприклад, галузева науково-дослідна лабораторія (ГНДЛ) підрейкових основ та спецзалізобетону УкрДАЗТ;

- *випробувальна лабораторія* – підрозділ, що проводить випробування промислової продукції у складі її сертифікації, наприклад випробувальний сертифікаційний центр (лабораторія) матеріалів, конструкцій та споруд (ВСЦ МКС) УкрДАЗТ;

- *навчальна лабораторія* – підрозділ, що здійснює матеріально-технічне і організаційне забезпечення лабораторних і практичних занять, наприклад, навчальна лабораторія будівельних матеріалів кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ.

*Лабораторія як структурний підрозділ промислового підприємства, будівельної організації: заводські лабораторії заводів залізобетонних конструкцій або будівельні лабораторії будівельних трестів, управлінь здійснюють випробування і вхідний контроль якості матеріалів, підбір складу бетону і режиму його твердіння, випробування і вихідний контроль якості бетону.*

Пересувна лабораторія – спеціально обладнаний залізничний вагон або автомобіль (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Пересувна лабораторія на базі вантажопасажирського автомобіля «Газель» ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону УкрДАЗТ при дослідженні впливу електрокорозії на довговічність і несучу здатність колієпроводу на ст. Лозова Південної залізниці

### 3.2. Науково-педагогічні кадри

Наукові дослідження здійснюються науковими співробітниками наукових закладів або наукових підрозділів ВНЗ, підприємств, а також професорсько-викладацьким складом ВНЗ. Наукові посади в закладах України та відповідні їм посади викладачів наведені у табл. 3.1. Посади наукових співробітників і викладачів не є адміністративними – завідувачі лабораторій, начальники відділів, директори інститутів, а також завідувачі кафедрами, декани, проректори, ректори є одночасно старшими, провідними, головними науковими співробітниками, доцентами, професорами. В наукових дослідженнях бере участь допоміжний персонал – лаборанти, техніки, старші лаборанти, інженери, однак їх посади не є науковими.

Таблиця 3.1

Наукові посади і відповідні їм посади і звання викладачів у ВНЗ країн світу

Україна, Росія				Закордонні країни		
Наукові посади	Посади викладачів	Кваліфікаційні вимоги <sup>1,2</sup>	Посади викладачів до 1917 р.	Посади викладачів у США	Посади викладачів у Великій Британії	Кваліфікаційні вимоги
Молодший науковий співробітник (м.н.с.)	Асистент (викладач)	Спеціаліст або магістр	Ад'юнкт-професор (XVIII÷п. XIX ст.)	Instructor	Lecturer	MSc
Науковий співробітник (н.с.)	Старший викладач			Assistant Professor	Senior Lecturer	
Старший науковий співробітник (с.н.с.)	Доцент (доц.)	Кандидат наук (к.н.), доцент або с.н.с.	Приват-доцент (к. XIX÷п. XX ст.)	Associate Professor	Reader	PhD
Провідний науковий співробітник (п.н.с.)	Професор (проф.)	Доктор наук (д.н.), професор	Екстраординарний професор	Professor	Professor	
Головний науковий співробітник (г.н.с.)			Ординарний професор			

<sup>1</sup> Після Жовтневої революції у СРСР наукові ступені були анульовані і відновлені у 1934 р.

<sup>2</sup> В Україні, Росії, інших пострадянських країнах крім наукових ступенів присвоюються вчені звання доцент, старший науковий співробітник, професор



Наукові посади і посади викладачів заміщуються на конкурсній основі особами, які мають відповідні кваліфікацію (освітній рівень), науковий ступінь, вчене звання, стаж роботи на попередніх посадах, наукові досягнення. Кваліфікації (бакалавр, спеціаліст, магістр) і наукові ступені у зіставленні з аналогічними в інших країнах, а також наукові посади і посади викладачів, які вони надають право обіймати, наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Кваліфікації (освітні рівні), наукові ступені, їх приблизна відповідність посадам ВНЗ інших країн і посади, які вони надають право обіймати, як правило

Україна, Росія		Німецькомовні країни		Англомовні країни	
Кваліфікації, наукові ступені	Які посади надає право обіймати	Кваліфікації, академічні ступені	Які посади надає право обіймати	Академічні ступені	Які посади надає право обіймати
Бакалавр	–	Bachelor (Bakkalaureus)	–	Bachelor of Science (BSc)	Instructor
Спеціаліст (інженер)	М.н.с., асистент, н.с., старший викладач	Diplom (Diplom Ingenieur, Dipl.Ing.)	Assistent, Privatdozent, Juniordozent	–	–
Магістр		Master (Magister)		Master of Science (MSc)	Assistant Professor, Associate Professor, Lecturer, Senior Lecturer
Кандидат наук <sup>1</sup> (к.н.)	С.н.с., п.н.с. доцент	Doktor <sup>2</sup> (Doktor-Ingenieur, Dr.-Ing)	Dozent, Juniorprofessor	Philosophy Doctor <sup>4</sup> (PhD)	Associate Professor, Reader, Professor
Доктор наук <sup>1</sup> (д.н.)	П.н.с., г.н.с., професор	Doktor <sup>2</sup> Habilitatus <sup>3</sup> (Dr.-Ing.habil)	Professor	Doctor of Science <sup>5</sup> (DSc)	Professor

<sup>1</sup> Кандидат / доктор: архітектури; біологічних наук (д.б.н.); ветеринарних наук; військових наук; географічних наук (д.г.н.); геолого-мінералогічних наук (д.г.-м.н.); мистецтвознавства; історичних наук



(д.і.н.); культурології; медичних наук (д.м.н.); педагогічних наук; політичних наук; психологічних наук; сільськогосподарських наук (д.с.-г.н.); соціологічних наук; технічних наук (д.т.н.); фармацевтичних наук; фізико-математичних наук (д.ф.-м.н.); філологічних наук (д.ф.н.); філософських наук (д.філос.н.); хімічних наук (д.х.н.); економічних наук (д.е.н.); юридичних наук (д.ю.н.).

<sup>2</sup> Dr.reg.nat. (доктор природознавства – фізики, хімії, біології, математики, комп'ютерної справи); Dr.phil. (доктор суспільствознавства – філософії, соціології, історії, психології); Dr.iur. (доктор права); Dr.reg.oec. (доктор економіки); Dr.reg.pol. (доктор політології); Dr.med. (доктор медицини); Dr.-Ing. (доктор-інженер).

<sup>3</sup> Dr.habil – хабілітований доктор є не окремим ступенем, а додатковою кваліфікацією, що дає право заняття посади професора.

<sup>4</sup> Доктор філософії PhD – за всіма науками, крім: доктор медицини (Doctor of Medicine), доктор права (Doctor of Laws, LL.D), доктор словесності (Doctor of Letters, DLitt), доктор богослов'я.

<sup>5</sup> Доктор наук DSc є не окремим, а додатковим почесним ступенем, що присуджується за особистий внесок в науку.

Кваліфікації бакалавра, спеціаліста, магістра присвоюються після завершення навчання у ВНЗ державними екзаменаційними комісіями (ДЕК) ВНЗ за результатами державних іспитів і захисту дипломних проектів (робіт). Дипломи державного зразка видаються ВНЗ.

Для підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації (кандидатів і докторів наук) у ВНЗ та НДІ існує аспірантура і докторантура. Підготовка здійснюється шляхом навчання в *аспірантурі* (очній – з відривом або заочній – без відриву від виробництва), *докторантурі* (тільки очній) або закріплення *здобувачем* (різновид заочної форми). В аспірантуру приймаються особи, що мають повну вищу освіту з відповідного напрямку. Під час навчання в аспірантурі здобувач наукового ступеня вивчає спеціальний предмет з наукової спеціальності, філософію та іноземну мову, а також виконує кваліфікаційну наукову роботу – дисертацію (п.4.3).

В докторантуру приймаються особи, що мають науковий ступінь кандидата наук з відповідної галузі наук. Під час навчання в докторантурі здобувач тільки виконує дисертацію.

Наукові ступені кандидата і доктора наук присуджуються спеціалізованими вченими радами з певних наукових спеціальностей (табл. 1.1) за результатами публічного захисту дисертацій. Спеціалізовані вчені ради з наукових спеціальностей (табл. 1.1) створюються у провідних ВНЗ або НДІ за їх ініціативою наказом Вищої атестаційної комісії України – ВАК.

ВАК є державним органом виконавчої влади, що організовує процес атестації наукових кадрів у цілому по країні – створює мережу спеціалізованих вчених рад, проводить експертизу захищених дисертацій, розгляд атестаційних справ здобувачів і видачу дипломів.

Здобувач наукового ступеня кандидата наук допускається до захисту дисертації після складення кандидатських іспитів. Перелік кандидатських іспитів визначає Міністерство освіти і науки (МОН), яке разом з ВАК здійснює контроль за їх складенням. Звичайно це іспити з наукової спеціальності, філософії та іноземної мови. Здобувач наукового ступеня кандидата наук, який не має повної вищої освіти в галузі науки, з якої підготовлено дисертацію, складає додаткові кандидатські іспити, перелік яких визначає спеціалізована вчена рада за програмами, затвердженими МОН.

Організація, де виконувалась дисертація, або до якої був прикріплений здобувач, проводить попередню експертизу дисертації, робить висновок про її наукову та практичну цінність і рекомендує до захисту у Спеціалізованій раді.

Дисертація подається для захисту у Спецраду і публічно захищається (заздалегідь подається об'ява про захист, примірник надається у бібліотеку ВНЗ, НДІ, на адреси провідних спеціалістів і організацій розсилається автореферат). Спецрада призначає офіційних опонентів, які аналізують дисертацію і виступають з відгуками, що містять висновки про відповідність спеціальності, апробацію, відповідають вимогам до актуальності, достовірності, наукової новизни, практичної значності. Рішення про присудження наукового ступеня приймається в результаті таємного голосування.

В особливих випадках (фундаментальні наукові відкриття) наукові ступені присуджувались без захисту дисертації (наприклад, П.О. Ребіндеру, п. 2.2).

Видачу дипломів кандидата і доктора наук державного зразка здійснює ВАК після проведення експертизи захищених дисертацій і розгляду атестаційних справ здобувачів.

Всі нормативні акти щодо присудження наукових ступенів та присвоєння вчених звань містяться на веб-сайті ВАК [www.vak.org.ua](http://www.vak.org.ua) [28].

### **Особисті мотиви для наукової діяльності [2]:**

1) зовнішні – прагнення до самоствердження, слави, досягнення певного матеріального рівня;

2) внутрішні – природня прихильність до творчості та розв'язання творчих завдань, потреба у самовираженні.

**Особисті якості науковця, які він повинен мати для успішної наукової діяльності [2]:**

1) *працелюбність* – здатність багато і наполегливо працювати над розв'язанням наукової проблеми. Більшість успішних вчених в активний період наукової діяльності працюють понад 10 год на добу, у т.ч. вдома увечорі та у вихідні дні. Невідривною від працелюбності є ініціативність – «творче горіння», постійна активність у пошуку розв'язання поставлених завдань, наполегливість у досягненні результатів, цілеспрямованість;

2) *наукова ерудиція* – «багатознання» в обраній і суміжних галузях знань. Науковець повинен мати добру освіту у відповідній галузі і постійно самовдосконалюватись, ознайомлюючись з новими досягненнями в ній, читаючи наукові періодичні видання, слухаючи доповіді на наукових конференціях. Пов'язане з ерудицією також володіння літературною і технічною мовою, уміння чітко формулювати думки, писати наукові статті, робити доповіді;

3) *творчі здібності* – здатність до критичного осмислення досягнень науки, творча уява.

За даними [2], всі перераховані властивості притаманні лише близько 12 % успішних науковців, а 62 % притаманна лише якась одна з цих рис, причому переважній більшості, 50 % –

працелюбність (рис. 3.9). Отже, найважливішою рисою науковця є працелюбність, притаманна 81 % вчених, що відбулись;

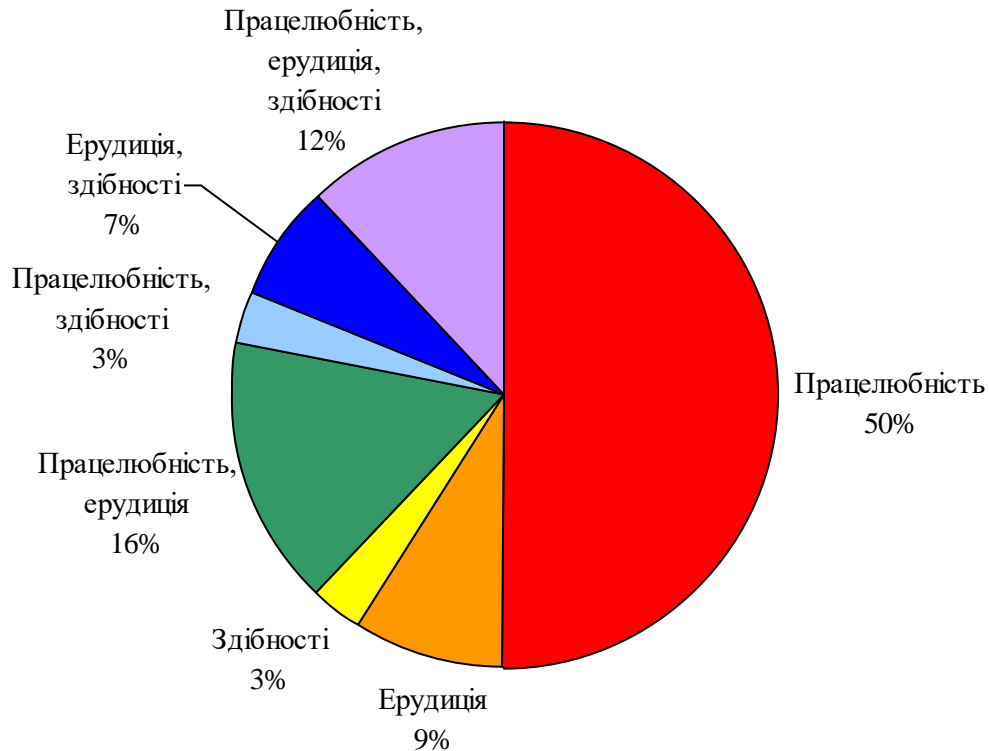


Рис. 3.9. Наявність основних особистих якостей у частці вчених, %, від загальної кількості успішних науковців [2]

4) *здатність до колективної творчості* – риса особистості, дуже важлива для успішної наукової діяльності в сучасних умовах. За радянських часів така здатність набула назви «почуття колективізму», в сучасних потужних приватних структурах – «корпоративний дух» і т.п. Сучасна наука, зокрема в технічних галузях, має крупномасштабний характер, високу технічну оснащеність і не може ефективно просуватись одинаками. Наукові результати, як правило, одержуються науковими колективами з певними розподілом обов'язків та ієрархією. Це знаходиться у певному протиріччі з природними особистими амбіціями вчених, особливо початківців, їх прагненням до визнання особистого пріоритету та успіху. Звідси може виникати ображена самолюбність, комплекс невдахи, психологічна несумісність членів наукового колективу, конфліктні ситуації. В

історії відомі особисті неприязні відносини між видатними вченими І. Ньютоном і Р. Гуком щодо пріоритету у відкритті закону всесвітнього тяжіння, І. Ньютоном і Г. Лейбніцем щодо пріоритету у розробленні диференціального та інтегрального числення (п. 2.1) і т. д. Такі конфліктні ситуації всередині колективів завдають лише шкоди як самим ученим, так і загальній меті одержання наукового результату. Тому під здатністю до колективної творчості слід розуміти такі психологічні риси, як уміння тверезо оцінювати свій особистий вклад в одержані колективом наукові результати, в певній мірі стримувати особисті амбіції, на засадах порядності врегульовувати особисті відносини з іншими членами колективу.

### **3.3. Наукові заклади України**

*Національна академія наук України* (НАН України) – вища державна наукова організація України, що заснована на державній власності та користується правами самоврядування, яка полягає у самостійному визначенні тематики досліджень, своєї структури, вирішенні науково-організаційних, господарських, кадрових питань, здійсненні міжнародних наукових зв'язків. Академія об'єднує дійсних членів, членів-кореспондентів та іноземних членів, усіх науковців її установ, організовує і здійснює фундаментальні та прикладні дослідження з найважливіших проблем природничих, технічних та соціогуманітарних наук.

Склад НАН України за станом на 01.01.2008: дійсних членів (академіків) – 182, членів-кореспондентів – 343, іноземних членів – 115. Кількість працюючих в установах НАН – 43349, у т. ч. наукових працівників – 19024, серед яких докторів наук – 2568, кандидатів наук – 8076.

Вищим органом НАН України є Загальні збори її членів. Між сесіями Загальних зборів керівництво роботою Академії здійснює Президія НАН України, яка обирається Загальними зборами строком на 5 років. До складу Президії НАН України входять 32 особи: президент (з 1962 – Патон Б.Є., спеціальність – електрозварювання), перший віце-президент – головний учений

секретар (Шпак А.П.– матеріалознавство), три віце-президенти (Наумовець А.Г.– фізика поверхні; Походенко В.Д.– фізична хімія; Литвин В.М. (голова Верховної Ради України) – новітня історія України), 14 академіків-секретарів відділень, 13 членів Президії.

Структура НАН України наведена у табл. 3.3. Основною ланкою структури НАН України є науково-дослідні інститути та прирівняні до них наукові установи, до структури входять також організації дослідно-виробничої бази.

Таблиця 3.3

Сучасна структура Національної академії наук України

НАН України			
Секції:			Регіональні наукові центри
фізико-технічних і математичних наук	хімічних і біологічних наук	суспільних і гуманітарних наук	
Відділення:			
- математики - інформатики - механіки - фізики та астрономії - наук про Землю - фізико-технічних проблем матеріалознавства - фізико-технічних проблем енергетики - ядерної фізики та енергетики	- хімії  - біохімії, фізіології і молекулярної біології  - загальної біології	- економіки  - історії, філософії та права  - літератури, мови та мистецтвознавства	Донецький  Західний (м. Львів)  Південний (м. Одеса)  Північно-Східний (м. Харків)
176 науково-дослідних інститутів та прирівняних до них закладів, у т.ч. національних: Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського, Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Національний історико-археологічний заповідник «Ольвія», Національний ботанічний сад ім. М.М.Гришка, Національний дендрологічний парк «Софіївка», Національний науково-природничий музей; 49 організацій і підприємств дослідно-виробничої бази: дослідні підприємства, конструкторсько-технологічні організації, обчислювальні центри			Придніпровський (м. Дніпропетровськ)  Кримський (м. Сімферополь)  Інноваційний центр по м. Києву



Співпраця між науковими установами НАН України та ВНЗ: договори про співробітництво; спільні наукові проекти; спільні науково-навчальні структури (бл.140 комплексів, центрів, лабораторій, філій кафедр тощо); викладання у ВНЗ, керівництво дипломними роботами науковцями НАН; захист науково-педагогічними працівниками ВНЗ дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів у спеціалізованих радах наукових установ НАН; спільні наукові статті, монографії.

Науковими установами НАН України щороку впроваджується в різні галузі економіки України понад 2000 новітніх розробок – технологій, у тому числі інформаційних, машин, устаткування, матеріалів, автоматизованих комплексів і систем, програмних продуктів, баз даних і баз знань, сортів рослин, методичних рекомендацій та методик, стандартів. У 2007 р. укладено 49 ліцензійних угод і контрактів, здобуто 653 патенти на винаходи і корисні моделі.

НАН України має власні видавництва «Наукова думка» та Видавничий дім «Академперіодика». Протягом 2007 р. установами НАН України видано майже 950 назв наукових книг, з яких 685 – монографії, понад 250 – збірники наукових праць; майже 400 книг навчальної, довідкової та науково-популярної літератури. Видається 81 науковий журнал та понад 50 серійних видань, у т.ч. основні друковані органи – «Вісник НАН України» (з 1928 р. під назвами «Вісті ВУАН», «Звіdomлення ВУАН», «Вісник АН УРСР») і «Доповіді АН України» (ДАН України, з 1939 р.). 35 журналів перекладаються англійською мовою, серед яких 17 перевидаються за кордоном. Практично всі журнали мають сторінки в мережі Інтернет, де розміщують змісти та анотації кількома мовами, близько 40 % – повнотекстові версії видань.

Міжнародне співробітництво здійснюється в рамках міжакадемічних угод з академіями наук інших країн, договорів, проектів, меморандумів про співробітництво між науковими установами НАН України і академій наук 45 країн світу, а також міжнародними організаціями: Міжнародним інститутом прикладного системного аналізу ІАСА, Європейською організацією ядерних досліджень CERN, Європейською

науковою асоціацією геофізичних досліджень EISCAT і т.д. На умовах паритетного фінансування реалізуються спільні науково-дослідні проекти з Сибірським відділенням РАН, Російським фондом гуманітарних досліджень, Національним центром наукових досліджень Франції (CNRS), Радою з науки і технологій Туреччини (TÜBİTAK) і т.д. Установами НАН України виконуються роботи за контрактами з корпораціями, компаніями, концернами: «Intel», «Motorola», «Boeing», «General Electric» і т.д. (у 2008 р. понад 300 контрактів на суму понад 50 млн грн). Вчені НАН України отримують гранти для виконання наукових проектів, проведення та участі в конференціях, стажування в зарубіжних наукових центрах (щорічно близько 600).

### *Історичний нарис НАН України*

Офіційна дата заснування – 27.11.1918.

Назви академії за період її існування:

Українська академія наук (УАН) –	1918÷1921 рр.
Всеукраїнська академія наук (ВУАН) –	1921÷1936 рр.
Академія наук УРСР (АН УРСР) –	1936÷1991 рр.
Академія наук України (АН України) –	1991÷1993 рр.
Національна академія наук України (НАН України) –	з 1994 р.

Основні дати і події:

04.1917 – Українське наукове товариство висунуло ініціативу заснування академії.

09.07÷17.09.1918 – комісія, створена за пропозицією міністра освіти та мистецтва Української держави М.П.Василенка, розробляє законопроект про заснування Української академії наук.

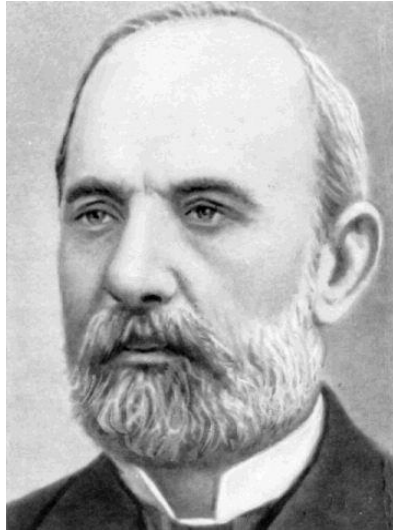
14.11.1918 – гетьман Української держави П.П.Скоропадський (29.04÷14.12. 1918) затверджує законопроект про заснування Української академії наук.

27.11.1918 відбулись установчі спільні збори УАН.

Президенти академії за весь період її існування наведені у табл. 3.4.



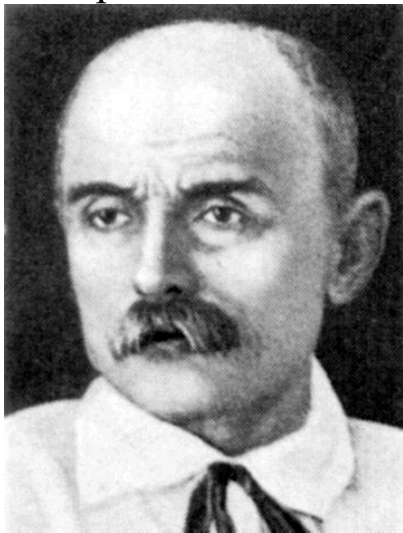
Вернадський В.І.



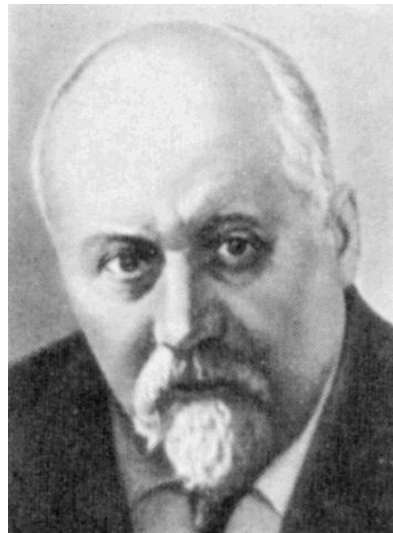
Левицький О.І.



Василенко М.П.



Липський В.І.



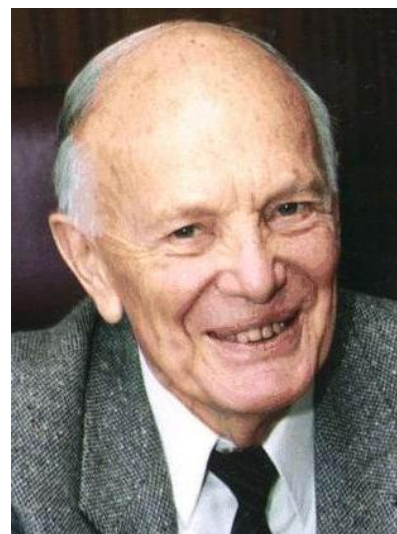
Заболотний Д.К.



Богомолець О.О.



Палладін О.В.



Патон Б.Є.

Рис. 3.10. Президенти НАН України

Таблиця 3.4

## Президенти Національної академії наук України

№ п/п	Роки	Президент академії	Спеціальність
1	1918÷19	Вернадський Володимир Іванович (1863÷1945)	фізико-математичні науки
2	1919÷21, 1922	Левицький Орест Іванович (двічі) (1848÷1922)	історія
3	1921÷22	Василенко Микола Прокопович (1866÷1935)	історія
4	1922÷28	Липський Володимир Іполітович (1863÷1937)	ботаніка
5	1928÷29	Заболотний Данило Кирилович (1866÷1929)	мікробіологія, епідеміологія
6	1930÷46	Богомолець Олександр Олександрович (1881÷1946)	патофізіологія
7	1946÷62	Палладін Олександр Володимирович (1885÷1972)	біохімія
8	з 1962	Патон Борис Євгенович (нар. 27.11.1918)	електрозварювання

Перші дійсні члени (академіки) УАН (всього – 12): Вернадський В.І. (президент, спеціальність – фізико-математичні науки); Кримський А.Ю. (неодмінний секретар, філологія); Багалій Д.І. (історія України); Кащенко М.Ф. (біологія); Косинський В.А. (економіка); Левицький О.І. (історія); Петров М.І. (літературознавство); Смаль-Стоцький С.Й. (мовознавство); Тарановський Ф.В. (право); Тимошенко С.П. (теорія пружності, будівельна механіка); Туган-Барановський М.І. (економіка); Тутковський П.А. (геологія). Динаміка подальшого зростання чисельності Академії та її установ наведена на рис. 3.11. Структура УАН – відділи: історико-філологічний (І); фізико-математичних наук (ІІ); соціально-економічний (ІІІ). Головну роль у діяльності УАН відіграє історико-філологічний (І) відділ.

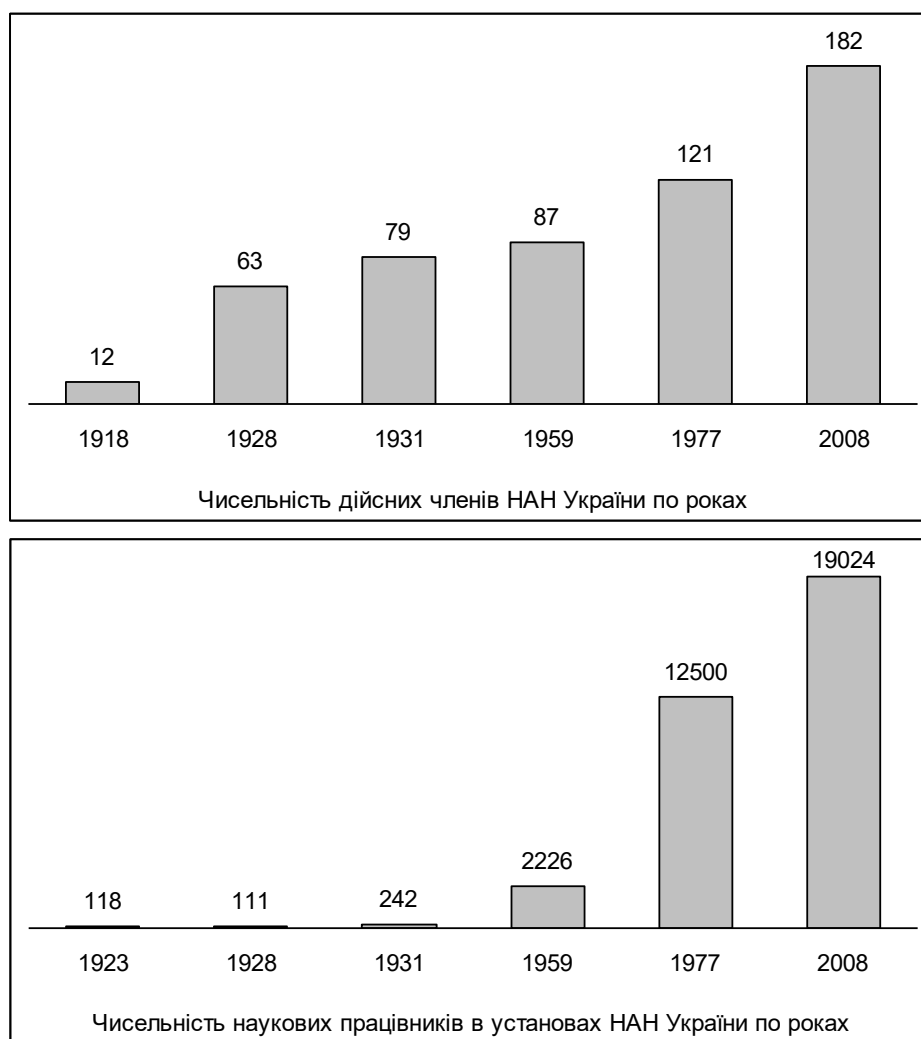


Рис. 3.11 Динаміка зростання чисельності НАН України та її установ

11.02.1919 – Радянська влада видала декрет про структуру та фінанси УАН.

14.06.1921 – декретом РНК УССР УАН перейменовано на Всеукраїнську академію наук ВУАН, що підкреслило її значення для всіх українських земель, що входили до Польщі, Румунії, Чехословаччини.

1924 р. – ВУАН нараховує 160 членів і наукових співробітників; М.С.Грушевський повертається з еміграції, його обрано дійсним членом ВУАН – керівником кафедри новітньої історії українського народу; в УРСР розпочинається українізація, в якій ВУАН відіграє значну роль.

1928 р. – ВУАН нараховує 63 дійсних члени, 16 членів-кореспондентів, 111 штатних наукових співробітників. Структура ВУАН наведена у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Структура Всеукраїнської академії наук у 1928 р.

ВУАН			
Відділи:			Регіональні наукові товариства
історико-філологічний (I)	фізико-математичний (II)	соціально-економічний (III)	
Кафедри:			
історико-філологічна історії української мови української усної словес. історії новітнього українського письменства давнього українського письменства давньої історії українського народу новітньої історії українського народу історичної географії, візантології історії українського мистецтва	геології прикладної математики прикладної фізики математичної фізики чистої математики біології сільськогосподарських рослин ботаніки експериментальної зоології хімії хімічної технології народного здоров'я клінічної медицини	історії західно-руського й українського права статистики економіки торгівлі й промисловості історії філософії права звичаєвого права України фінансової науки міжнародного права цивільного права історії народного господарства політичної економії	Харківське Одеське Полтавське Дніпропетровське Кам'янець-Подільське Чернігівське Лубенське Ніжинське Миколаївське Шепетівське Ленінградське
Установи: комісії, інститути, комітети, музеї, наукові товариства			
39 комісій, інститутів, комітетів, музеїв, наукових товариств	19 наукових установ: Ін-т технічної механіки; Геологічне товариство; Мікробіологічний інститут та ін.	Демографічний інститут; Товариство економістів; Товариство правників; Комісія західно-руського та українського права	Одеська комісія краєзнавства Кабінет вивчення Поділля (Вінниця)



1929 р. – ВУАН перетворено в радянську установу, замість Пленуму дійсних членів верховним органом стає Рада ВУАН, до якої включено представників Народного комісаріату освіти, виконавчим органом – Президія у складі президента, двох віцепрезидентів, неодмінного секретаря і п'ятьох академіків.

1929÷41 рр. – репресії проти ВУАН, репресовано понад 250 наукових співробітників, у тому числі 22 академіки, переважно представники суспільних наук. 07.1930 ліквідовано Історико-філологічний відділ, його установи включено до Соціально-економічного відділу; створено Природничо-технічний (І) відділ.

1931 р. – ВУАН нараховує 79 дійсних членів, 164 наукові установи.

1934 р. – ВУАН реорганізовано в асоціацію 36 галузевих інститутів, підпорядковано Раді народних комісарів УРСР, відділи ліквідовано. На перше місце в діяльності ВУАН висунулися математика, технічні та природознавчі науки.

1936 р. – ВУАН перейменовано на Академію наук УРСР і реорганізовано. До АН УРСР включено установи ліквідованої Всеукраїнської асоціації марксистсько-ленінських інститутів. Структура АН УРСР – відділи: суспільних наук; математико-природничих наук; технічних наук.

1938 р. – АН УРСР реорганізовано. Структура – відділи: суспільних наук; математичних наук; фізико-хімічних наук; біологічних наук.

1941÷44 рр. – АН УРСР працює в евакуації в Уфі, з 1943 р. – у Москві.

1945÷46 рр. – створено відділ сільськогосподарських наук.

1959 р. – структура АН УРСР – п'ять відділів (табл. 3.6).

11.04.1963 постановою ЦК КПРС і Ради міністрів СРСР АН УРСР разом з академіями наук всіх союзних республік підпорядковано АН СРСР.

1963 р. – АН УРСР реорганізовано. Структура АН УРСР – секції: фізико-технічних і математичних наук; хіміко-технологічних і біологічних наук; суспільних наук. На перше місце виходять фізико-математичні, технічні, природознавчі науки, націлені на розвиток машинобудування, металургії,

енергетики, сільськогосподарського виробництва, поліпшення якості продукції, охорону навколишнього середовища. Зі 118 дійсних членів у 1970 р. тільки 10 – гуманітарії. АН УРСР має своє видавництво «Наукова думка», видає «Вісник АН УРСР» (з 1928), «Доповіді АН УРСР» (з 1939), 36 галузевих журналів (16 українською, 13 російською і 5 двома мовами).

Таблиця 3.6

Структура АН УРСР у 1959 р.

АН УРСР					
Відділи:					Наукові центри
суспільних наук	фізико-математичних наук	хімічних та геологічних наук	біологічних наук	технічних наук	
Наукові установи:					
Інститути – 8 (філософії; економіки; історії; археології; мовознавства ім.О.О.Потебні; літератури ім. Т.Г. Шевченка; мистецтвознавства, фольклору та етнографії; суспільних наук, м.Львів); сектори – 1; музеї – 4; бібліотеки – 2	Інститути – 5 (математики; фізики; радіофізики й електроніки; фізико-технічний, м.Харків; металофізики); обсерваторії – 2; обчислювальний центр – 1	Інститути – 7 (загальної і неорганічної хімії; органічної хімії; фізичної хімії ім.Л.В.Писаржевського; полімерів і мономерів; геологічних наук; геології корисних копалин; мінеральних ресурсів); сектор – 1; комітет – 1	Інститути – 6 (ботаніки; зоології; гідробіології; біохімії; фізіології ім.О.О.Богомольця; мікробіології); ботанічний сад – 1; музей – 1; біол.станції – 2; дендропарки – 4; заповідники – 5; наукові товариства – 5 (фізіологів, біохіміків і фармакологів; охорони природи та ін.); комісія – 1	Інститути – 11 (електрозварювання ім. Є.О. Патона; гідрології і гідротехніки; будівельної механіки; машинознавства і автоматики; гірничої справи ім.М.М.Федорова; чорної металургії; електротехніки; теплоенергетики; використання газу та ін.); лабораторія – 1; відділ – 1	Донецький (м.Львів) Харківський Південний (Одеса, Крим) Дніпропетровський

1977 р. – АН УРСР нараховує 121 дійсного члена і 175 членів-кореспондентів. Три секції АН складаються із 11 відділів, 82 наукових установ, у т.ч. 58 науково-дослідних інститутів. В системі АН працює 12500 співробітників.

1979 р. – Центральна наукова бібліотека АН УССР нараховує понад 10 млн друкованих одиниць.

За роки існування НАН України в її системі виникли наукові школи світового рівня: альгебраїчна (Граве Д.О.), фізики (Синельников К.Д.), нелінійної механіки (Крилов М.М., Боголюбов М.М.), теорії пружності (Динник О.М.), аерогідродинаміки (Проскура Г.Ф.), фізико-хімічна (Писаржевський Л.В.), теоретичної кібернетики (Глушков В.М.), мікробіології (Заболотний Д.К.), патофізіології (Богомолець О.О.), біохімії (Палладін О.В.), медицини (Стражеско М.Д., Філатов В.П.), ботаніки (Холодний М.Г.). АН УРСР вийшла на перше місце в СРСР у галузях порошкової металургії (Францевич І.М.), електрозварювання (Патон Є.О., Патон Б.Є.); в установах АН УРСР вперше в СРСР було одержано «важку воду», ізотопи водню і кисню, створено електронну обчислювальну машину і т.п.

***Галузеві державні академії України:***

- Академія медичних наук (АМН);
- Академія мистецтв;
- Академія педагогічних наук (АПН);
- Академія правових наук;
- Українська академія аграрних наук (УААН).

***Галузеві недержавні академії, у т.ч. міжнародні:***

- Транспортна академія України (ТАУ);
- Академія будівництва України (АБУ);
- Інженерна академія України (ІАУ);
- Українська екологічна академія наук (УЕАН);
- Міжнародна інженерна академія (МІА);
- Міжнародна академія наук екології та безпеки життєдіяльності (МАНЕБ).

***Державні академії наук Російської Федерації***, академіками, член-кореспондентами та іноземними членами яких є багато українських науковців:

- Российская академия наук (РАН, до 1991 – Академия наук СССР);
- Российская академия медицинских наук (РАМН);

- Российская академия образования (до 1991 – Академия педагогических наук СССР);
- Российская академия сельскохозяйственных наук, (до 1991 – Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук и лесоводства ВАСХНИЛ);
- Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН);
- Российская академия художеств.

### ***Наукові та навчальні заклади Харкова***

Харків є одним з найбільших центрів світового рівня наук про будівництво та будівельні матеріали. У Харкові знаходяться два будівельних ВНЗ – Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури (ХДТУБА) і Харківська національна академія міського господарства (ХНАМГ), два транспортних – Українська державна академія залізничного транспорту (УкрДАЗТ) і Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ) з будівельним і дорожньо-будівельним факультетами, відповідно, факультети технології неорганічних речовин і технології органічних речовин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», науково-дослідні інститути: УкрНДЦемент, ПромбудНДПроект (промислового будівництва), ДНДІ УкрВОДГЕО (водопостачання, водовідведення та екології), НДІОМШБ (організації і механізації шахтного будівництва), УкрНДІВ (вогнетривів) та ін.

### **3.4. Українська державна академія залізничного транспорту**

Українська державна академія залізничного транспорту УкрДАЗТ (рис. 3.12, до 1993 р. Харківський інститут інженерів залізничного транспорту ХІІТ) заснована у 1930 р. і в теперішній час є політехнічним вищим навчальним закладом державної форми власності IV рівня акредитації, що здійснює підготовку бакалаврів, спеціалістів, магістрів для залізничного транспорту, підготовку науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації – кандидатів і докторів наук, а також виконує науково-дослідні роботи. За станом на 01.01.2008 кількість спеціальностей складає

19, контингент студентів – 12463, обсяг наукових досліджень – понад 3 млн грн на рік, у т.ч. за кошти державного бюджету – понад 0,4 млн грн.



Рис. 3.12. Українська державна академія залізничного транспорту: герб і головна будівля

В академії працює 1214 співробітників, з яких 551 – науково-педагогічних, у т.ч. 44 доктори наук, професори (8 %), 279 – кандидатів наук, доцентів (51 %).

Керівництво академією здійснює ректорат на чолі з ректором:

- ректор академії – д-р техн. наук, професор Данько Микола Іванович, фахівець із транспортних систем;

- перший проректор академії – канд. техн. наук, професор Астахов Віктор Миколайович, фахівець із технології промислового та цивільного будівництва;

- проректор академії з наукової роботи – д-р техн. наук, професор Ломотько Денис Вікторович, фахівець із транспортних систем.

Для забезпечення навчального процесу і науково-дослідної роботи в академії є відділи та інші підрозділи: навчальний відділ,



науково-дослідна частина, інформаційно-обчислювальний центр, бібліотека, адміністративно-господарська частина і т.д.:

- начальник науково-дослідної частини – канд. техн. наук, доцент, с.н.с. Бутенко Володимир Михайлович, фахівець із транспортних систем і метрології та метрологічного забезпечення.

Академія складається із семи факультетів (автоматики, телемеханіки та зв'язку АТЗ; механічного; будівельного; управління процесами перевезень УПП; економіки транспорту; гуманітарного; Краснолиманського) і двох інститутів (Донецького інституту залізничного транспорту ДонІЗТ та Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації ІППК):

- декан будівельного факультету – канд. техн. наук, доцент Скорик Олексій Олексійович, фахівець із залізничної колії.

Основними структурними одиницями академії є 33 кафедри, з яких 18 є випускаючими (здійснюють керівництво дипломуванням і магістратурою), наприклад:

- кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд (БМКС); завідувач кафедри – д-р техн. наук, професор Пługін Андрій Аркадійович, фахівець із будівельних матеріалів та виробів;

- кафедра колії та колійного господарства (ККГ); завідувач кафедри – канд. техн. наук, професор Шраменко Володимир Павлович, фахівець із залізничної колії.

Для проведення науково-дослідних робіт при кафедрах академії функціонує 17 галузевих науково-дослідних лабораторій (ГНДЛ) і (або) наукові групи. При кафедрі БМКС:

- ГНДЛ підрейкових основ та спецзалізобетону; науковий керівник – д-р техн. наук, професор Пługін А.А., завідувач ГНДЛ – канд. техн. наук, доцент Калінін Олег Анатолійович, фахівець із будівельних матеріалів та виробів;

- ГНДЛ корозії та захисту від корозії конструкцій та споруд залізниць; науковий керівник – д-р хім.наук, професор Пługін Аркадій Миколайович, фахівець із колоїдної хімії і будівельних матеріалів та виробів; завідувач ГНДЛ – канд.техн.наук, доцент Мірошніченко Сергій Валерійович, фахівець із будівельних матеріалів та виробів.

### 3.5. Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ

Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд (БМКС) здійснює підготовку бакалаврів, спеціалістів, магістрів за спеціальностями:

- 060101 Промислове та цивільне будівництво, спеціалізація 092101.1 Реконструкція та утримання будівель залізничного транспорту (ПЦБ);

- 070105 Залізничні споруди та колійне господарство, спеціалізація Технічна експлуатація споруд залізничного транспорту (ЗС),

а також виконує науково-дослідні роботи і підготовку кандидатів і докторів наук за спеціальністю 05.23.05 Будівельні матеріали та виробу.

Склад кафедри за станом на 01.09.2010:

- усього штатних співробітників, докторантів, аспірантів –	32
- професорсько-викладацького складу –	19
- докторів наук, професорів –	3
- кандидатів наук, доцентів –	9
- старших викладачів –	1
- асистентів –	6
- навчально-допоміжного складу –	7
- докторантів –	1
- аспірантів –	2
- наукових співробітників –	3

При виконанні науково-дослідних робіт викладачі кафедри працюють науковими співробітниками галузевих науково-дослідних лабораторій за сумісництвом або на умовах контракту.

Навчальні дисципліни, які викладає кафедра:

- для спеціальностей ПЦБ і ЗС: Відновлення експлуатаційних властивостей, захист конструкцій та споруд; Захист від корозії будівельних конструкцій і споруд (для магістрантів); Метрологія і стандартизація; Основи наукових досліджень; Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів і конструкцій;

- для спеціальності ПЦБ: Архітектура будівель і споруд; Будівельне матеріалознавство; Будівельні конструкції; Будівлі на залізничному транспорті; Виробнича база будівництва; Вступ до будівельної справи; Дерев'яні конструкції; Експлуатаційна надійність будівельних конструкцій; Експлуатаційна надійність та підсилення конструкцій та будівель (спецкурс для магістрантів); Загальний курс залізниць; Залізобетонні та кам'яні конструкції; Інженерна геологія і основи механіки ґрунтів; Інтелектуальна власність; Металеві конструкції; Методи випробувань конструкцій; Моделювання роботи будівельних конструкцій та будівель (для магістрантів); Нагляд за технічним станом будівель (для магістрантів); Основи і фундаменти; Основи надійності та довговічності будівельних конструкцій; Основи проектування будівельних конструкцій; Планування міст і транспорт; Проектування і зведення будівель у складних умовах (для магістрантів); Реконструкція будівель;

- для спеціальності ЗС: Будівельні конструкції та будівлі на залізничному транспорті; Будівельні матеріали; Випробування інженерних споруд; Інженерна геологія; Механіка ґрунтів, основи та фундаменти; Основи автоматизації виробничих процесів; Основи надійності та довговічності інженерних споруд; Улаштування, експлуатація і реконструкція інженерних споруд.

Галузеві науково-дослідні лабораторії кафедри виконують науково-дослідні роботи за кошти державного бюджету: «Розвиток і розробка нових теоретичних основ нетрадиційних матеріалів і виробів для залізничного транспорту на основі техногенних відходів і полімерів України» (1994÷96); «Розвиток теоретичних основ довговічності штучних споруд на залізничному транспорті» (1997÷99); «Теоретичні та експериментальні дослідження із створенням нових матеріалів і засобів захисту від корозії металевих мостів та інших конструкцій» (2000÷03); «Розробка теоретичних і експериментальних основ колоїдно-хімічних та електрохімічних засобів закріплення і зміцнення незв'язних ґрунтів, ґрунтів-пливунів і споруд в них» (2004÷06); «Розробка теоретичних та експериментальних основ захисту від електрокорозії споруд залізничного транспорту» (2008÷09), а також науково-дослідні

роботи за господарчими договорами, замовниками яких є Укрзалізниця (основний), підприємства України, Білорусі, Латвії, Литви, Молдови. Загальний обсяг виконаних госпдоговірних робіт у 2008÷09 навч.році досяг 1061,94 тис.грн, що склало 30,6 % від загального обсягу науково-дослідних робіт УкрДАЗТ (3,468 тис.грн).

Основні досягнення науковців, аспірантів, здобувачів кафедри з часу її створення пов'язані переважно з розвитком наукової школи О.П.Мchedлова-Петросяна і полягали у використанні уявлень і методів фізичної хімії до теорії твердіння, корозії і довговічності силікатних матеріалів, зокрема, цементу і бетону, а також в удосконаленні технології виробництва збірних залізобетонних конструкцій та виробів, зокрема, залізобетонних шпал (табл.3.7).

Таблиця 3.7

Розвиток фізико-хімічного матеріалознавства науковою школою  
О.П. Мchedлова-Петросяна

Фізична хімія силікатних матеріалів (О.П. Мchedлов-Петросян)	
<p>Фізична хімія проблемних напрямків будівельного матеріалознавства:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- корозія, адаптація, довговічність цементного бетону (В.Л.Чернявський);</li> <li>- явища у зонах контакту цементного каменю і заповнювачів (О.Г.Ольгінський);</li> <li>- самовільні деформації цементного каменю, безусадочні і розширні цементи (Л.Г.Філатов);</li> <li>- пресування цементних бетонів (О.Г. Вандоловський);</li> <li>- набризк цементних бетонів (М.Г. Дюженко);</li> <li>- просочення бетонів полімерами (Д.О. Угінчус);</li> <li>- виробництво теплоізоляційних матеріалів із кераміки та мінеральних розплавів (В.С. Софронов)</li> </ul>	<p>Самостійні розділи фізичної хімії силікатних та інших будівельних матеріалів:</p> <p>Хімічна термодинаміка одержання і корозії силікатних матеріалів (В.І. Бабушкін);</p> <p>Термокінетика тверднення мінеральних в'язучих (О.В. Ушеров-Маршак);</p> <p>Електрохімія корозії залізобетону (О.О. Старосельський)</p> <p>Колоїдна хімія в'язучих і бетонів; фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів і конструкцій з них (А.М. Пługін)</p>

Основні досягнення науковців кафедри останніх десятиліть, пов'язані переважно з розвитком наукової школи А.М. Плуґіна:

- фундаментальні і прикладні: розвиток теорії твердіння мінеральних в'язучих з урахуванням електроповерхневих властивостей і явищ (електрогетерогенна теорія твердіння); механізм безнапірної водонепроникності бетону; механізм наднормативної довготривалої і повторюваної швидконатікаючої повзучості бетону; розвиток теорії складу бетону; розвиток теорії корозії і електрокорозії бетону і залізобетону з урахуванням електроповерхневих властивостей і явищ;

- розробки: спосіб визначення складу бетону підвищеної водонепроникності і тріщиностійкості; суперпластифікована цементно-водна суспензія СПЦВС для цементації конструкцій та гірських порід; полімеркомпозиційні захисні склади; конструктивні і технологічні рішення ремонту, підсилення і захисту конструкцій та споруд.

Результати фундаментальних і прикладних досліджень, розробок публікуються в наукових монографіях, статтях у журналах, збірниках наукових праць. З 1960-х рр. один раз на декілька років кафедра БМКС видає тематичний випуск збірника наукових праць УкрДАЗТ (з 2000 – «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті», рис. 3.13, *а*).

Розробки захищаються авторськими свідоцтвами (до 1991) і патентами (п. 4.4), на них розробляються нормативні документи. За останні роки розроблено понад 30 технічних умов України (ТУ У), технічні вказівки, інструкції, правила (рис. 3.13, *б*): ЦБМЕС 0004 Інструкція щодо використання хімічних добавок до бетонів та розчинів загальнобудівельного та транспортного призначення (Головне управління будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд Укрзалізниці, 2006); ЦП 0136 Інструкція щодо виконання робіт з нагнітання розчинів за обробку тунелів (Головне управління колійного господарства Укрзалізниці, 2006); ЦП 0137 Інструкція з укладання та експлуатації безбаластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах (Головне управління колійного господарства Укрзалізниці, 2006); ЦП 0142 Правила фарбування залізничних мостів, що експлуатуються (Головне



управління колійного господарства Укрзалізниці, 2006); ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості лит безбалстного мостового полотна (Головне управління колійного господарства Укрзалізниці, 2010).

a)



b)



Рис. 3.13. Збірники наукових праць (a) і нормативні документи Укрзалізниці (б), підготовлені кафедрою БМКС

Для ремонту, підсилення, захисту пошкоджених конструкцій та споруд розроблено конструктивні і технологічні рішення, які ґрунтуються на застосуванні розроблених складів бетону, СПЦВС, полімеркомпозиційних захисних складів:

- масивних мостових опор: підсилення металоін'єкційними обоймами, сорочками, попередньо напруженими залізобетонними міні-поясами, армокам'яними швами, захисні покриття (рис. 3.14, a);

a)



Кам'яні опори мосту на 286 км ділянці  
Основа – Букине Південної залізниці  
(2000÷06)

б)



Залізобетонна прогонова споруда  
мосту на 68 км ділянці Ворожба –  
Люботин Південної залізниці (2003÷04)

в)



Залізобетонний рамний коліспровід на  
802 км ділянці Гребінка – Черкаси  
Південної залізниці (2006)

г)



Залізобетонний рамний коліспровід  
№26 АТ «ММК «Азовсталь» (2007,  
підрядник ТОВ «Трансстрой»)

д)



Залізобетонні стояки переходу між  
корпусом №1 і корпусом №2 УкрДАЗТ (2006)

е)



Залізобетонна колона будівлі,  
м. Харків (2006)

Рис. 3.14. Конструкції, будівлі та споруди, при ремонті яких  
впроваджені розробки кафедри БМКС

- залізобетонних прогонових споруд: підсилення додатковою попередньо напруженою арматурою, металоін'єкційною півобоймою, захисні покриття (рис.3.14, б);

- залізобетонних рамних колієпроводів: підсилення додатковими залізобетонними конструкціями, ремонт ригелів і вут металоін'єкційними сорочками, підсилення стояків металоін'єкційними обоймами, захисні покриття (рис.3.14, б, в);

- стояків і колон будівель: підсилення металоін'єкційною обоймою, захисні покриття (рис. 3.14, д, е);

- кам'яних і бетонних водопропускних труб: підсилення залізобетонними та металоін'єкційними сорочками, розпірною плитою, захисні покриття рис. 3.15, а÷в);

- кам'яних арочних колієпроводів: підсилення металоін'єкційною сорочкою із гофрованої металевої арки і накладною залізобетонною плитою (рис. 3.15, з);

- підземних і заглиблених споруд: гідроізоляція металоін'єкційними мембранами (сорочками), захисні покриття (рис. 3.15, д);

- нестійких основ: цементациєю нагнітанням СПЦВС, силикатизациєю модифікованим силікатним розчином (рис. 3.15, е).

Всі вказані розробки впроваджені на об'єктах Південної і Львівської залізниць, промислових підприємств, цивільних будівлях (рис. 3.14÷3.15). При цьому проектно-вишукувальні, а у більшості випадків – і ремонтні роботи виконувались як дослідні особисто науковцями і студентами кафедри за господарчими договорами.

Кафедра створена під назвою «Будівельні роботи та конструкції» у 1945 р. і за час свого існування декілька разів реорганізовувалась – поділялась і знов з'єднувалась (табл. 3.8).



а)



Бетонна водопропускна труба на 365 км ділянки Основа – Букіне Південної залізниці (2007)

б)



Кам'яна водопропускна труба на 110 км ділянки Харків-Куп'янськ Півднної залізниці (2007)

в)



Кам'яна водопропускна труба на 19 км ділянки Харків – Люботин Південної залізниці (2007)

г)



Кам'яний колієпровід «Новиков міст» у м. Одесі (2008÷09, підрядник «Монтаж-29»)

д)



Дослідна ділянка обробки тунелю на 168 км ділянки Щербин-Волосянка Львівської залізниці (2006)

Основа монументальної споруди у м. Харкові (2007)

е)

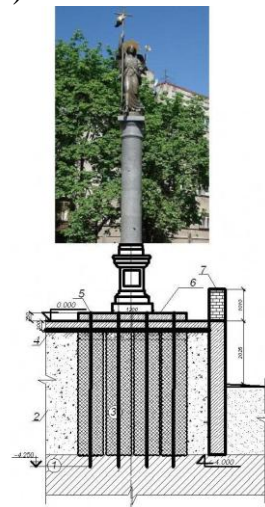


Рис. 3.15. Конструкції, будівлі та споруди, при ремонті яких впроваджені розробки кафедри БМКС

## Основні дати історії кафедри БМКС

<b>Кафедра «Будівельні роботи та конструкції» (1945÷55)</b> Зав. кафедри – к.т.н., доц. Юдін Георгій Іванович (з 1948 по 1955)		
<b>Кафедра «Будівельні матеріали» (1955÷92)</b>  Завідувачі кафедри:  д.т.н., проф. Мчедлов-Петросян Отар Петрович (з 1955 по 1976)  к.т.н., проф. Бірюков Анатолій Іванович (з 1976 по 1992)	<b>Кафедра «Мости, конструкції та будівлі» (1955-59)</b> Зав. кафедри – к.т.н., доц. Юдін Г.І. (з 1955 по 1959)	
	<b>Кафедра «Мости та конструкції» (1959÷83)</b> Завідувачі кафедри: к.т.н., доц. Юдін Г.І. (з 1959 по 1973)  к.т.н., доц. Фесік Степан Прокопович (у 1973÷74)  к.т.н., доц. Дорошенко Олег Павлович (у 1974÷75 і 1977÷80)  в.о. зав. кафедри старш. викладач Томілін Федір Григорович (у 1975÷77)  к.т.н., доц. Єрмак Є.М. (з 1980 по 1983)	<b>Кафедра «Будівлі» (1959÷83)</b>  Завідувачі кафедри: к.т.н., доц. Лукашик Йосип Вікентійович (з 1959 по 1970)  к.арх., доц. Зіньковський Альберт Андрійович (з 1970 по 1983)
	<b>Кафедра «Мости, конструкції та будівлі» (1983÷92)</b> Зав.кафедри – к.т.н., доц. (у подальшому д.т.н., проф.) Єрмак Євген Михайлович (з 1983 по 1992)	
	<b>Кафедра «Будівельні матеріали, конструкції та споруди» (з 1992)</b> Завідувачі кафедри: д.х.н., проф. Пługін Аркадій Миколайович (з 1992 по 2006) д.т.н., проф. Пługін Андрій Аркадійович (з 2006)	



Деякі події історії кафедри:

- у 1950÷60-х рр. на кафедрі «Будівлі» працюють відомі архітектори, автори проекту Південного вокзалу на станції Харків-Пас. к.т.н., доц. Лимарь Є.А., і к.т.н., доц. Луцький М.С.;

- 1960÷70-ті рр. – видаються тематичні збірники «Труды ХИИТа» «Исследование строительных материалов с применением современных методов» (1962, вип. 54), «Железобетонные шпалы» (1966, вип. 86, рис. 3.13, а), «Управляемое структурообразование в производстве строительных материалов» (К.: Будівельник, 1968), «Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал» (1971, вип. 122), «Вопросы долговечности железобетонных шпал» (1971, вип. 135), «Снижение материалоемкости и повышение долговечности строительных изделий» (К.: Будівельник, 1974);

- 1965 р. – за ініціативою проф. Мчедлова-Петросяна О.П. створена галузева науково-дослідна лабораторія Міністерства шляхів сполучення СРСР «Залізобетонні шпалы» (з 1994 «Підрейкові основи та спецзалізобетон»);

- 1982÷1990 рр. – під керівництвом завідувачів кафедр «Будівельні матеріали» проф. Бірюкова А.І. і «Мости та конструкції» доц. Єрмака Є.М. проведено комплексну реконструкцію навчально-лабораторної бази кафедр з прибудовою нових навчально-лабораторних корпусів і їх оснащенням сучасним дослідницьким і випробувальним обладнанням;

- 1980-ті рр.– кафедра «Будівельні матеріали» тісно співпрацює зі спорідненою кафедрою Московського інституту інженерів залізничного транспорту МІІТ, наукові праці науковців кафедри регулярно друкуються у Міжвузівських збірниках наукових праць МІІТу «Повышение долговечности бетонов транспортных сооружений» (1980, вип.662; 1982, вип. 714; 1986, вип. 784);

- 1986÷92 рр. – кафедрою «Будівельні матеріали» видається періодичний випуск Міжвузівського збірника наукових праць ХІІТу «Интенсификация производства сборного железобетона» (1986; 1990, вип. 13; 1992, вип. 18, рис. 3.13, а);

- 1994 р. – за ініціативою проф. Старосельського О.О. створена галузева науково-дослідна лабораторія Міністерства транспорту України «Корозія і захист від корозії конструкцій і споруд залізниць»;

- 1995, 97 рр. – проведено 1 і 2 Міжнародні науково-технічні конференції «Розвиток технічної хімії в Україні»;

- 1996 р. – видається тематичний Міжвузівський збірник наукових праць ХарДАЗТ «Создание новых композиционных материалов и повышение эксплуатационной надежности и сроков службы конструкций и сооружений на железнодорожном транспорте» (вип. 26 у двох томах);

- 1998 р. – відкрито Спеціалізовану вчену раду Д 64.820.02 з присудження наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук за спеціальностями 05.23.05 Будівельні матеріали та вироби і 05.23.01 Будівельні конструкції, будівлі та споруди, ініціатор створення і голова Ради – проф. Плугін А.М.;

- з 2000 р. видаються тематичні Збірники наукових праць УкрДАЗТ «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (2000, вип. 37; 2004, вип. 63; 2006, вип. 77; 2007, вип. 87 – присвячений 90-річчю О.П. Мchedlova-Petroсяна; 2009, вип.109; 2010, вип.115, рис.3.13, а);

- 2006, 08 рр. – проведено 1 і 2 Міжнародні конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті».

### *Видатні вчені і педагоги кафедри БМКС*

**Юдін** Георгій Іванович (1905÷1978, рис. 3.16) – завідувач кафедри будівельних робіт і конструкцій у 1948÷1955 рр., завідувач кафедри мостів, конструкцій та будівель у 1955÷1959 рр., завідувач кафедри мостів і конструкцій у 1959÷1974 рр., проректор з наукової роботи ХПТУ у 1951÷64 рр., кандидат технічних наук, доцент, Почесний залізничник.

Основні дати життя та діяльності: 1920÷23 рр. – колійний робітник на залізниці; 1926÷30 рр. – студент Ленінградського інституту інженерів залізничного транспорту (ЛІЖТУ); 1930÷32 рр. – робота в управлінні Башкірзалізничбуд, м. Уфа;

1932÷35 рр. – аспірант ЛІЖТу; 1935 р. – захистив дисертацію і одержав науковий ступінь кандидата технічних наук; 1936÷42 рр. – доцент, заступник декана будівельного факультету Дніпропетровського інституту інженерів залізничного транспорту; 1942 р. – мобілізований у Червону Армію, направлений на навчання у Військову транспортну академію; 1942÷46 рр. – викладач кафедри будівництва та відновлення мостів Військової транспортної академії; 1946÷48 рр. – доцент кафедри будівельної механіки Харківського інституту інженерів залізничного транспорту; 1948÷55 рр. – завідувач кафедри будівельних робіт і конструкцій ХІІТу; 1948÷49 рр. – декан будівельного факультету; 1951÷64 рр. – заступник начальника (проректор) з наукової роботи ХІІТу; 1955÷59 рр. – завідувач кафедри мостів, конструкцій та споруд ХІІТу; 1959÷74 рр. – завідувач кафедри мостів і конструкцій ХІІТу.

Основні напрямки наукової діяльності Г.І.Юдіна: капітальне відновлення опор мостів; аналіз техніко-економічних показників баластних та безбаластних прогонових споруд залізобетонних мостів; індустріалізація будівництва залізобетонних мостів. Г.І.Юдін – автор понад 60 наукових праць, 8 навчальних посібників. Нагороджений орденом «Знак пошани», медалями «За взяття Кенігсберга», «За участие в Великой Отечественной войне», «За Победу над Германией», знаком «Почесний залізничник».



Юдін Г.І.



Виноградов О.І.



Мчедлов-Петросян  
О.П.

Рис. 3.16. Видатні вчені і педагоги академії і кафедри

**Виноградов** Олексій Іванович (1912÷1974, рис. 3.16) – завідувач кафедри будівельної механіки у 1951÷73 рр., доктор технічних наук, професор.

О.І. Виноградов хоча й не працював на кафедрі БМКС, має пряме відношення до одного із важливих напрямків її наукових досліджень – оптимального проектування будівельних, зокрема мостових, конструкцій. Із завідувачів кафедри «Мости та конструкції» різних років його учнями є доц.О.П. Дорошенко і проф. Є.М.Єрмак.

О.І.Виноградов народився у м. Симбірську в сім'ї лікаря; 1930÷35 рр. – студент Московського інституту інженерів шляхів сполучення; 1935÷41 рр. – працює в Центральному науково-дослідному інституті шляхів сполучення Народного комісаріату шляхів сполучення СРСР; 1941÷45 рр. – працює в апараті Головного управління військово-відбудовних робіт; 1943 р. – захистив дисертацію і одержав науковий ступінь кандидата технічних наук; 1950 р. – захистив дисертацію і одержав науковий ступінь доктора технічних наук; 1951÷73 рр. – професор, завідувач кафедри будівельної механіки ХІІТу; 1973÷74 рр. – науковий консультант Центрального науково-дослідного інституту будівельних конструкцій ім. Кучеренка, м. Москва.

О.І. Виноградов – автор 2 монографій і понад 60 наукових статей, підготував понад 20 кандидатів наук. Основний напрямок наукових досліджень – проблеми оптимального проектування.

**Мчедлов-Петросян** Отар Петрович (3.10.1917÷3.10.1997, рис. 3.16) – завідувач кафедри будівельних матеріалів у 1955÷76 рр., доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Академії наук Грузії, лауреат Державної премії України, заслужений діяч науки України, заслужений винахідник України, Почесний залізничник.

О.П. Мчедлов-Петросян – видатний вчений і педагог зі світовим ім'ям, засновник і перший завідувач кафедри будівельних матеріалів, а також крупної наукової школи в галузі теорії і технології цементу і бетону. Він сформував і разом зі своїми численними учнями протягом всієї своєї діяльності

розвивав виключно важливий і дотепер науковий напрямок – прикладання фізичної хімії до завдань матеріалознавства.

Народився 3.10.1917 у м. Тбілісі, Грузія; 1926÷28 рр. – мешкав у Німеччині, досконало вивчив німецьку мову; 1935÷40 рр. – студент хіміко-технологічного факультету Грузинського політехнічного інституту, спеціальність – «Технологія силікатів»; 1941÷47 рр. – лаборант, аспірант, з 1946 р. – асистент кафедри технології силікатів і заступник декана хіміко-технологічного факультету Грузинського політехнічного інституту; 1946 р. – захистив дисертацію на тему «Дослідження реакції сульфат барію + глинозем і одержання вогнетривкого цементу» в Грузинському політехнічному інституті, одержав науковий ступінь кандидата технічних наук за спеціальністю «Технологія силікатів»; 1947÷52 рр. – старший науковий співробітник лабораторії вогнетривів інституту металу та гірської справи Академії наук Грузинської РСР; 1952÷76 рр. – старший викладач, доцент, професор кафедри «Будівельні роботи та конструкції», з 1954 р. – завідувач кафедри «Будівельні матеріали» Харківського інституту інженерів залізничного транспорту (ХІІТ, рис. 3.17, 3.18); 1953 р. – захистив дисертацію на тему «Фізико-хімічні властивості серпентиніту та одержання в'язучих та вогнетривів на його основі» в Інституті фізичної хімії Академії наук СРСР, одержав науковий ступінь доктора технічних наук за спеціальністю «Технологія силікатів»; 1957÷63 рр. – член-кореспондент Академії будівництва та архітектури Української РСР (до її ліквідації); 1957 р. – організував лабораторію гідротехнічного бетону в науково-дослідному і проектному інституті УкрВОДГЕО; 1960 р. – організував лабораторію фізикохімії та корозії бетону в науково-дослідному та проектному інституті УкрВОДГЕО; 1962 р. – видавництвом «Госстройиздат» видано монографію «Термодинаміка силікатів» (у співавторстві з В.І. Бабушкіним і Г.М.Матвєєвим, перевидано у 1965, 1972, 1986 рр.); 1964 р. – організував і очолив лабораторію фізико-хімічних досліджень у Державному всесоюзному інституті з проектних і науково-дослідних робіт «Південдіпроцемент» Міністерства промисловості будівельних матеріалів СРСР; 1965 р. –



організував галузеву науково-дослідну лабораторію залізобетонних шпал Міністерства шляхів сполучення СРСР в ХІПТі; 1965 р. – удостоєний почесного звання «Заслужений винахідник УРСР»; 1968 р. – учасник V Міжнародного конгресу з хімії цементу (м. Токіо);



Рис. 3.17. О.П.Мchedlov-Петросян з учнями в ХІПТі у 1960-ті рр. Справа наліво стоять: О.В. Ушеров-Маршак, Д.О. Угінчус, П.О. Мельниченко, В.С. Софронов



Рис.3.18. О.П.Мchedlov-Петросян (праворуч) з академіком П.О. Ребіндером (1959)

1971 р. – видавництвом «Стройиздат» видано монографію «Хімія неорганічних будівельних матеріалів» (перевидано у 1988 р.); 1974 р. – Генеральний секретар VI Міжнародного конгресу з хімії цементу (м. Москва); 1974 р. – обраний членом-кореспондентом Академії наук Грузинської РСР; 1976÷97 рр. – завідувач кафедри, з 1991 р. – професор кафедри «Фізико-хімічна механіка і технологія бетону» Харківського інженерно-будівельного інституту (ХІБІ, в теперішній час ХДТУБА); 1976 р. – організував та очолив навчально-науково-виробничий фізико-хімічний центр ХІБІ – Південдіпроцемент – Харківський

домобудівний комбінат №1; 1977 р. – організував та очолив галузеву науково-дослідну лабораторію розробки та дослідження ефективних будівельних матеріалів Міністерства промисловості будівельних матеріалів УРСР у ХІБІ; 1978 р. – удостоєний почесного звання «Заслужений діяч науки УРСР»; 1980 р. – Віцепрезидент наукового комітету VII Міжнародного конгресу з хімії цементу (м. Париж); 1985 р. – удостоєний премії Академії наук СРСР ім. академіка М.С.Курнакова за серію робіт «Термокінетичний аналіз неорганічних будівельних матеріалів»; 1986 р. – член оргкомітету VIII Міжнародного конгресу з хімії цементу (м. Ріо-де-Жанейро); 1993 р. – удостоєний Державної премії України за цикл робіт «Термодинамічні та термокінетичні основи будівельного матеріалознавства»; 1997 р. – видано збірник поезій О.П.Мчедлова-Петросяна «На ситах пам'яті».

Основні напрямки наукової діяльності О.П.Мчедлова-Петросяна: теорія і методи будівельного матеріалознавства; термодинаміка та кінетика реакцій в системах технічних силікатів; хімія та фізична хімія неорганічних будівельних матеріалів; фізико-хімічна механіка в'язучих речовин, матеріалів і виробів на їх основі; кероване структуроутворення в технології будівельних матеріалів та виробів; корозія бетону та протикорозійний захист будівельних конструкцій.

Творча спадщина О.П. Мчедлова-Петросяна – понад 500 наукових праць, у тому числі 12 монографій (рис. 3.19), 76 авторських свідоцтв і патентів. Монографія «Термодинаміка силікатів» (співавтори – В.І. Бабушкін, Г.М. Матвеев) витримала 9 видань: 4 – російською (у 1962, 1965, 1972, 1986 рр.), 3 – німецькою (у 1965, 1966, 1985 рр.), 1 – англійською (у 1985 р.), 1 – китайською мовами.

О.П. Мчедлов-Петросян створив велику широковідому наукову школу. Він підготував 94 кандидати наук: Гогичева Х.І. (захистила дисертацію у 1953 р.), Бунаков О.Г. (1958), Бабушкін В.І. (1960), Воробйов Ю.Л., Говоров А.А. (1961), Латишев Ф.А. (1962), Філатов Л.Г., Дюженко М.Г. (1963), Софронов В.С., Мельниченко П.О., Салоп Г.А. (1964), Ушеров-Маршак О.В., Угінчус Д.О., Шифрін В.Б. (1965), Папкова Л.П., Мокрицька Л.П., Старосельський О.О., Сиренко П.А., Бершацький Ф.Г., Шевченко Л.П., Чернявський В.Л. (1966),



Рис. 3.19. Наукові праці та збірка поезій  
О.П. Мчедлова-Петросяна

Питерський А.М., Степаненко М.Г., Сидорович Я.Й., Ольховий Л.Г. (1967), Токарев М.С., Коган М.А., Улітіна Г.О., Ладиженський В.М., Вандоловський О.Г., Шеїн В.І., Зазімко В.Г., Жильцов В.П. (1968), Ситник Л.В., Холодний О.Г., Ольгінський О.Г. (1969), Бабиченко В.Я., Плугін А.М., Наконечний А.С. (1970), Подоба А.В., Меліхов В.І., Рифман Л.Б., Калениченко Л.М., Басдикян І.Х., Аргунова Л.І., Кириченко Д.В., Дмитрієв І.Б., Воляк П.М. (1971), Кузнецов С.Н. (1972), Наникошвілі В.Г., Лібенко Ю.П., Бородинов В.К., Волков Є.І. (1973), Щоткіна Т.І., Подвигін О.І. (1974), Шматкова Р.І., Заворін Л.В., Кутах О.П., Сівцов О.П. (1975), Красулова Н.М., Петров О.А., Савенков В.В. (1976), Дубницький В.Ю., Валявський В.І. (1977), Муха А.Г. (1978), Сельник А.М., Спірін Ю.О., Селіванов І.І. (1980), Авалова Е.В., Гриньова І.В., Іманова О.М., Гусейнова І.А. (1981), Болдова Л.Г., Месрапян Н.В.,

Сапожнікова Н.І. (1982), Братчиков В.Г. (1983), Теленик С.С. (1984), Алексеєнко Л.Н., Боровська І.В., Ніколаєв А.П. (1985), Гаєвий Ю.А., Ціак М.Я. (1986), Серіков Я.А., Коробов А.І., Мелкадзе О.Ф., Виродов В.І. (1987), Теймурова С.Х. (1989), Єнч Ю.Г. (1990), Свідерек К., Соселія Д.Т. (1992), Бетрахмадов Р.В. (1993), Івасішина О.М. (1994), Дейсадзе К.Д. (1995).

Із учнів О.П. Мчедлова-Петросяна 16 згодом стали докторами наук (рис. 3.20): Бабушкін В.І. (1972), Воронов В.Г. (1973), Фаталієв С.А., Дюженко М.Г., Угінчус Д.О. (1980), Зазімко В.Г. (1984), Старосельський О.О. (1984), Ушеров-Маршак О.В. (1985), Чернявський В.Л. (1988), Плугін А.М. (1989), Філатов Л.Г. (1989), Вандоловський О.Г. (1992), Софронов В.С. (1993), Ольгінський О.Г. (1994), Кутах О.П. (2008), Ціак М.Я. (2010). У 2005 р. захистив докторську дисертацію Плугін А.А. – представник вже 2-го покоління учнів школи О.П.Мчедлова-Петросяна.

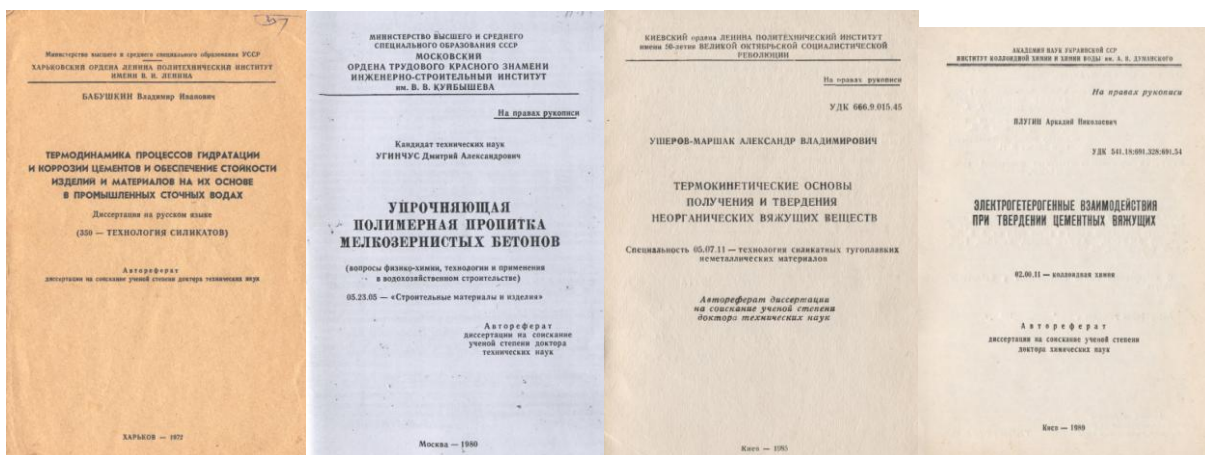


Рис. 3.20. Автореферати докторських дисертацій учнів О.П. Мчедлова-Петросяна

Педагогічна діяльність О.П. Мчедлова-Петросяна була пов'язана в основному з ХІІТом та ХІБІ–ХДТУБА, сотні випускників яких пам'ятають його блискучі лекції, та була високо оцінена також і за кордоном. Він виступав з лекціями німецькою мовою перед студентами та аспірантами Дрезденського технічного університету, Веймарського та Котбуського будівельних інститутів, Ієнського університету (Німеччина), а також Краківської гірничо-металургійної академії



(Польща), ряду університетів Угорщини, Франції, Бразилії. У 1996 р. О.П. Мchedлову-Петросяну було присвоєно звання професора фонду Сороса.

Крім наукової і педагогічної діяльності, Отар Петрович захоплювався поезією, сам писав вірші (рис. 3.19), у 1959 р. був представлений Анні Ахматовій, читав їй свої вірші. Як і академік Ребіндер П.О., захоплювався також філателією.

В теперішній час учні Отара Петровича та учні його учнів продовжують його справу. Багато з них є засновниками вже власних наукових шкіл.

**Бірюков** Анатолій Іванович (29.04.1929÷13.10.2008, рис. 3.21) завідувач кафедри будівельних матеріалів ХІІТу у 1976÷1993 рр., кандидат технічних наук, професор, академік Академії будівництва України, лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки, лауреат премії Ради Міністрів СРСР, Почесний транспортний будівельник СРСР, кавалер ордена Леніна, двох орденів Трудового Червоного Прапора, учасник Великої Вітчизняної війни.

А.І. Бірюков став педагогом і вченим, вже набувши величезного і найціннішого виробничого і життєвого досвіду. Він прийшов на кафедру з виробництва, де досяг видатних успіхів, будучи одним із керівників цивільного будівництва м. Харкова.



Бірюков А.І.



Старосельський О.О.



Єрмак Є.М.

Рис.3.21. Видатні вчені і педагоги академії і кафедри



Основні дати життя та діяльності А.І.Бірюкова: 1951 р. – закінчив будівельний факультет Харківського інженерно-будівельного інституту за спеціальністю «Промислове та цивільне будівництво»; 1951÷56 рр. – служба в Радянській Армії: інженер батальйону, начальник проектно-технічного відділу 23-го окремого аеродромно-будівельного полку Центрального управління капітального будівництва Міністерства оборони СРСР; 1956÷60 рр. – начальник виробничо-технічного відділу, головний інженер тресту «Житлобуд-1», начальник Управління робіт №441 (УНР-441), м. Харків; 1960÷63 рр. – начальник УНР-438, м. Харків; 1963÷73 рр. – головний інженер, з 1968 р. – начальник ордена «Знак Пошани» Харківського домобудівного комбінату №1 (ДБК-1); 1972 р. – захистив дисертацію на тему «Дослідження деяких параметрів процесу твердіння і технології виготовлення керамзитобетонних виробів з попередньою короткочасною віброелектротермічною обробкою бетонної суміші», одержав науковий ступінь кандидата технічних наук за спеціальністю «Будівельні матеріали та вироби»; 1973÷76 рр. – начальник тресту «Харківжитлобуд»; 1976÷92 рр. – завідувач кафедри будівельних матеріалів – професор, науковий керівник галузевої науково-дослідної лабораторії залізобетонних шпал та лабораторії фізико-хімічних досліджень Харківського інституту інженерів залізничного транспорту; 1992÷2006 рр. – професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту.

Під керівництвом і за особистої участі А.І. Бірюкова у 1960÷70-ті рр. було завершено відновлення і здано в експлуатацію будівлі Харківського державного університету (нині Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна), побудовано і здано в експлуатацію житла – понад 7,6 млн м<sup>2</sup> (150 тис. квартир), шкіл і дитячих садків – більше, ніж на 42 тис. місць, лікарень – на 1,5 тис. місць, поліклінік – на 5800 відвідувань у зміну, багато інших об'єктів соціального і культурного призначення.

В ХІІТі під керівництвом і за особистої участі А.І. Бірюкова на початку 1980-хх рр. було проведено реконструкцію лабораторної бази кафедри будівельних матеріалів, збудовано

лабораторний корпус загальною площею понад 500 м<sup>2</sup>, оснащено його унікальним обладнанням – дослідною технологічною лінією з виробництва залізобетонних шпал, стендами для статичних і динамічних випробувань залізобетонних шпал, великогабаритною кліматичною камерою і т.п. Завдяки цьому галузева науково-дослідна лабораторія залізобетонних шпал стала кращою лабораторією такого профілю у СРСР.

Основним напрямком наукової діяльності А.І. Бірюкова є підвищення ефективності технології виробництва збірного залізобетону на базі розроблення нових уявлень про механізм твердіння цементу. Він опублікував понад 80 наукових праць, у тому числі дві монографії, одержав 35 авторських свідоцтв на винаходи. Основними працями А.І. Бірюкова є: «Интенсификация процессов твердения цементных вяжущих и бетонов» (у співавторстві з А.М. Пługінім, Харків: ХИИТ, 1987); «Статистическая оценка уровня технологических процессов изготовления и качества сборных железобетонных конструкций» (у співавторстві з А.М. Пługінім, Харків: ХИИТ, 1987); «Твердение силикатных минералов цемента» (Харків: Транспорт України, 1999); «Строительные материалы и изделия» (учеб. пособие. – Харків: УкрГАЗТ, 2006).

**Старосельський** Олександр Олександрович (1937÷94, рис. 3.21) – завідувач кафедри колії та колійного господарства ХІІТу у 1986÷91 рр., доктор технічних наук, професор.

О.О. Старосельський – випускник ХІІТу (спеціальність «Будівництво залізниць»), учень О.П. Мчедлова-Петросяна, кандидат і доктор технічних наук за спеціальністю «Будівельні матеріали та вироби». Навчався в аспірантурі і працював на кафедрі будівельних матеріалів, у т.ч. завідувачем ГНДЛ залізобетонних шпал, доцентом. У 1985 р. у НІИЖБ (Науково-дослідному інституті бетону і залізобетону Держбуду СРСР, м. Москва) захистив докторську дисертацію «Коррозия и долговечность железобетона в условиях электрических воздействий». У 1994 р. був ініціатором створення галузевої науково-дослідної лабораторії Міністерства транспорту України «Коррозия і захист від корозії конструкцій і споруд залізниць». Автор багатьох наукових праць, у т.ч. монографій

«Электрокоррозия железобетона» (К.: Будівельник, 1978), «Повышение долговечности железобетонных конструкций электрифицированного транспорта» (Харьков: ХИИГХ, 1989), навчального посібника «Коррозия и защита железобетонных конструкций в сооружениях электрифицированных железных дорог» (Харков: ХИИТ, 1988).

**Єрмак** Євген Михайлович (17.08.1938÷24.11.2008, рис. 3.21) – завідувач кафедри мостів та конструкцій ХІІТу у 1980÷83 рр., кафедри мостів, конструкцій та будівель у 1983÷92 рр., доктор технічних наук, професор, академік Академії будівництва України, член Української асоціації металевих конструкцій.

Основні дати життя та діяльності Є.М. Єрмака: 1960 р. – закінчив будівельний факультет Харківського інституту інженерів залізничного транспорту (ХІІТу) за спеціальністю «Промислове та цивільне будівництво»; 1960÷63 рр. – інженер, старший інженер, керівник групи будівельного відділу Державного проектного інституту Казгіпроцветмет; брав участь у проектуванні та прийманні в експлуатацію виробничих корпусів Усть-Каменогорського титано-магнієвого комбінату, Березівської збагачувальної фабрики; був нагороджений Почесною грамотою Центрального комітету Всесоюзної лєнінської комуністичної спілки молоді; 1963÷80 рр. – аспірант, з 1966 р. – асистент, з 1970 р. – доцент кафедри будівельної механіки ХІІТу; 1968 р. – захистив дисертацію, одержав науковий ступінь кандидата технічних наук за спеціальністю «Будівельна механіка»; 1980÷83 рр. – завідувач кафедри мостів та конструкцій ХІІТу; 1983÷92 – завідувач кафедри мостів, конструкцій та будівель ХІІТу; організував і провів реконструкцію лабораторної бази кафедри, що включала побудову двоповерхового навчально-лабораторного корпусу, його оснащення сучасним випробувальним обладнанням; 1992÷2003 рр. – доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту (УкрДАЗТ), завідувач секції мостів, конструкцій та будівель; 2003 р. – захистив дисертацію і одержав науковий ступінь доктора технічних наук зі спеціальності «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»; 2003÷08 рр. – професор кафедри будівельних

матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ, завідувач секції мостів, конструкцій та будівель; 2005 р. – обраний дійсним членом Академії будівництва України.

Науково-педагогічна, методична, виховна діяльність Є.М. Єрмака дуже багатогранна – член Науково-методичної ради транспортних вищих навчальних закладів країн СНД із спеціальності «Промислове та цивільне будівництво», експерт Державного архітектурно-будівельного контролю України, член редколегії журналів «Металеві конструкції», «Промислове будівництво та інженерні споруди», науковий консультант Державних проектних інститутів «Діпрозаводтранс» та «Укрзалізничпроект», член президії – керівник Харківського регіонального відділення Української асоціації металевих конструкцій.

Основні напрямки наукової діяльності Є.М. Єрмака: удосконалення будівельних металевих конструкцій промислових будівель і споруд; розроблення методів і технологічних рішень з підсилення і підвищення надійності пошкоджених та перевантажених конструкцій на основі досліджень їх дійсної роботи під навантаженням та ревізії розрахункових передумов; дослідження причин аварійних пошкоджень конструкцій будівель і мостів; методи їх натурних випробувань; розроблення заходів із забезпечення безпеки споруд з урахуванням факторів зносу.

Є.М. Єрмак – автор 142 публікацій, у т. ч. 1 навчального посібника, 9 авторських свідоцтв на винаходи, монографії: «Действительная работа и расчетные модели стальных каркасов промышленных зданий» (Макеевка: ДонГАСА, 2002).

**Софронов** Вадим Сергійович (рис. 3.22) – доктор технічних наук, професор.

Народився 19.09.1928 у м. Харкові. 1947÷52 рр. – студент будівельного факультету Харківського інституту інженерів залізничного транспорту (ХІІТу); 1952 р. – одержав кваліфікацію інженера – будівельника залізничних споруд; 1952÷53 рр. – виконроб будівельної ділянки будівельного управління «Черногорскстроя» Міністерства внутрішніх справ СРСР (з 1953 р. Міністерства нафтової промисловості СРСР), Красноярський

край, Хакаська авт.обл., м. Черногірськ; 1953 р. – інженер технічного відділу тресту «Центроспецстрой», м. Москва; 1954÷55 рр. – виконроб будівельного управління №5 тресту «Союзнефтебурвод», м. Харків; з 1955 р. – асистент, з 1966 р. – доцент кафедри будівельних матеріалів ХІІТу; 1965 р. – захистив дисертацію на тему «Дослідження фізико-хімічних і технологічних основ мінеральної вати» (науковий керівник – проф. Мchedlov-Петросян О.П.), одержав науковий ступінь кандидата технічних наук зі спеціальності «Будівельні матеріали, деталі та вироби»; 1992 р. – захистив дисертацію на тему «Оптимізація виробництва керамзиту при випалі в обертових печах», одержав науковий ступінь доктора технічних наук зі спеціальності «Будівельні матеріали та вироби»; з 1993 р. – професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту; з 1997 р. член Спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 з присудження наукових ступенів доктора наук і кандидата наук зі спеціальностей «Будівельні матеріали та вироби» і «Будівельні конструкції, будівлі та споруди».



Рис. 3.22. Видатний вчений і педагог академії і кафедри Софронов В.С.

В.С. Софронов є учнем О.П. Мchedlova-Петросяна. Основні напрямки його наукової діяльності: розвиток теоретичних і технологічних основ виробництва при високих температурах; розроблення технологічних процесів, пристроїв для виробництва ефективних пористих та волокнистих неорганічних матеріалів.



Під керівництвом В.С. Софронова захищено дві кандидатські дисертації, він є автором понад 110 праць, у т. ч. понад 40 статей у наукових журналах, понад 20 статей у збірниках наукових праць та методичних вказівок, одержав 53 авторських свідоцтва та патенти на винаходи.

*Плугін* Аркадій Миколайович (рис. 3.23) – завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд у 1993÷2006 рр., доктор хімічних наук, професор, академік Транспортної академії України і Нью-Йоркської Академії наук, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Почесний залізничник, Заслужений транспортник Польської республіки.



Рис. 3.23. Плугін А.М. Президент України В.А. Ющенко вручає А.М. Плугіну диплом і нагрудний знак Лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки (28.01.2009)

Народився 01.04.1941 у м. Мари Туркменістану у сім'ї військовослужбовця; 1958÷63 рр. – студент будівельного факультету Харківського інституту інженерів залізничного транспорту (ХІІТу); 1963 р. – одержав кваліфікацію інженера шляхів сполучення – будівельника за спеціальністю «Будівництво залізниць, колія та колійне господарство»; 1963÷64 рр. – будівельний майстер будівельно-монтажного поїзда тресту «Куйбишевтрансбуд», ст. Ключики Приволзької залізниці;

1964÷70 рр. – майстер, начальник цеху, начальник заводської лабораторії, головний інженер заводу залізобетонних конструкцій і будівельних деталей Будівельного тресту (ЗЗБК Дорбудтресту) Південної залізниці, м. Харків; здобувач наукового ступеня кандидата наук при кафедрі будівельних матеріалів ХПТУ, науковий керівник – проф. Мchedлов-Петросян О.П.; 1970 р. – захистив дисертацію на тему «Діелектричні властивості цементного тіста, що твердіє, і питання автоматичної стабілізації водоутримання бетонних сумішей», одержав науковий ступінь кандидата технічних наук зі спеціальності «Будівельні матеріали, деталі та вироби»; 1970÷76 рр. – головний інженер Українського державного проектно-вишукувального інституту місцевої промисловості «Укрдіпромціпром»;

1976÷85 рр. – старший науковий співробітник, з 1978 р. – завідувач галузевої науково-дослідної лабораторії залізобетонних шпал Міністерства шляхів сполучення СРСР у ХПТі; 1985÷92 рр. – доцент, з 1989 р. – професор кафедри будівельних матеріалів ХПТУ; 1989 р. – захистив дисертацію на тему «Електрогетерогенні взаємодії при твердінні цементних в'язучих» і одержав науковий ступінь доктора хімічних наук зі спеціальності «Колоїдна хімія»; 1992÷2006 рр. – завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ, науковий керівник галузевих науково-дослідних лабораторій Міністерства транспорту України в УкрДАЗТ «Підрейкові основи і спецзалізобетон» і «Корозія і захист від корозії конструкцій і споруд залізниць», член секції колійного господарства науково-технічної ради Державної адміністрації залізничного транспорту України; з 1996 р. – експерт Організації співробітництва залізниць з тематики «Земляне полотно та штучні споруди»; 1997 р. – організував і став головою Спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 з присудження наукових ступенів доктора наук і кандидата наук зі спеціальностей «Будівельні матеріали та вироби» і «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»; 1997 р. – обраний дійсним членом Нью-Йоркської академії наук; 1998 р. – обраний дійсним членом Транспортної академії України; 1999 р. – удостоєний почесного

звання «Заслужений транспортник Польської республіки»; 2000 р. – удостоєний почесного звання «Почесний залізничник»; з 2006 р. – професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДАЗТ, науковий керівник галузевих науково-дослідних лабораторій Міністерства транспорту України в УкрДАЗТ «Підрейкові основи і спецзалізобетон» і «Корозія і захист від корозії конструкцій і споруд залізниць»; 2008 р. – удостоєний Державної премії України в галузі науки і техніки за цикл праць «Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво» (рис. 3.23).

А.М. Пługін – учень О.П. Мchedлова-Петросяна, продовжуючи його дослідження, створив власну наукову школу в галузі розвитку теорії твердіння, міцності та довговічності будівельних матеріалів і конструкцій і розроблення на цій основі нових матеріалів, конструктивних рішень і технологій. Під його науковим керівництвом виконали та захистили дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук Архіпов В.В. (1985), Калінін О.А. (1996), Павлова (Трикоз) Л.В. (1997), Возненко С.І., Мірошніченко С.В. (1999), Шумік Д.В. (2001), Пługін Д.А. (2003), Камчатна С.М. (2005), Никитинський А.В., Лютий В.А. (2007), Герасименко О.С., Подтележнікова І.В. (2009), Борзяк О.С. (2010).

А.М. Пługін є автором понад 270 публікацій (рис. 3.24), у т. ч.: монографій – дві, навчальних посібників – шість, одержав авторських свідоцтв та патентів на винаходи – 23.

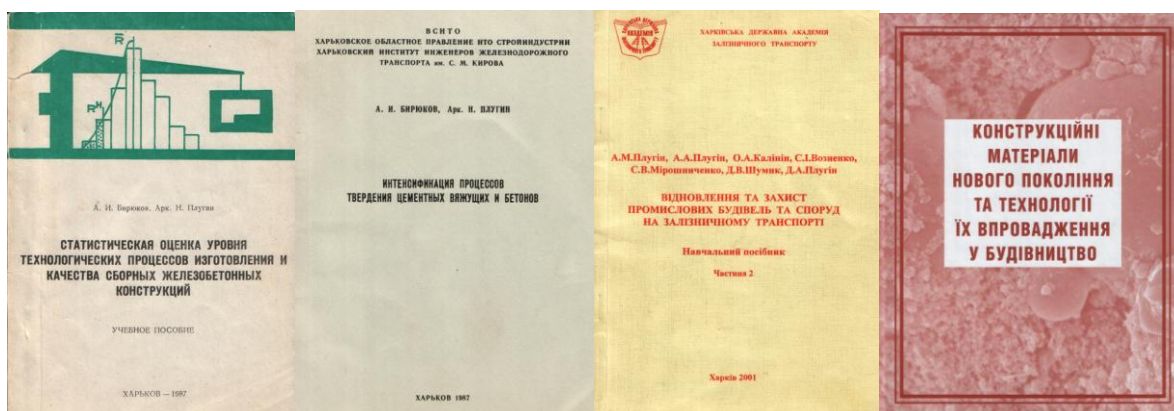


Рис. 3.24. Наукові та навчально-методичні праці А.М. Пługіна

## *Контрольні запитання*

1. Що таке академія наук?
2. Що таке університет?
3. Що таке науково-дослідний інститут ?
4. Які ви знаєте найстаріші і найвідоміші університети світу?
5. Які ви знаєте наукові посади, посади викладачів та відповідні їм кваліфікаційні вимоги (наукові ступені)?
6. Що собою являє Вища атестаційна комісія України та які функції на неї покладені?
7. Якими якостями повинен володіти науковець для успішної наукової діяльності? Яка якість є найголовнішою?
8. Коли засновано Національну академію наук України?
9. Хто був першим Президентом Академії наук України та хто є Президентом у теперішній час?
10. Які ви знаєте галузеві державні і недержавні академії України?
11. Коли було засновано Українську державну академію залізничного транспорту (ХІТ)?
12. Яких ви знаєте видатних вчених та педагогів академії та кафедри будівельних матеріалів конструкцій та споруд?

## 4. НАУКОВО-ДОСЛІДНІ РОБОТИ

### 4.1. Види науково-дослідних робіт

Види науково-дослідних робіт (НДР) за призначенням:

- *фундаментальні* дослідження;
- *прикладні дослідження*;
- *розробки*.

Види науково-дослідних робіт за джерелами фінансування:

- *держбюджетні*;
- *госпдоговірні*;
- такі, що виконуються при навчанні в *аспірантурі* або *докторантурі*;
- такі, що виконуються за *грантами*;
- *ініціативні*.

*Фундаментальні* НДР спрямовані на виявлення нових закономірностей об'єктивної дійсності, створення нових теорій, розроблення загальних принципів і підходів.

*Прикладні* НДР спрямовані на створення теоретичних та експериментальних основ і методів розроблення нових матеріалів, конструкцій, технологій. Вони ґрунтуються на досягненнях фундаментальних наук, отже, на результатах виконаних раніше фундаментальних досліджень. Наприклад, кафедра БМКС УкрДАЗТ виконує прикладні дослідження зі створення теоретичних основ розроблення нових матеріалів, конструктивних і технологічних рішень із захисту та відновлення експлуатаційних властивостей конструкцій, будівель, споруд залізничного транспорту (п. 3.5).

Результати фундаментальних і прикладних досліджень наводяться у звітах з НДР, публікуються в наукових виданнях (п. 4.5, рис. 3.13, а).

*Розробки* – створення на основі результатів прикладних досліджень певних матеріалів, технологій і т.п. Наприклад, кафедра БМКС розробляє і впроваджує матеріали, конструктивні й технологічні рішення із захисту і відновлення експлуатаційних властивостей конструкцій, будівель, споруд залізничного транспорту (рис. 3.14, 3.15). Вони наводяться в технічних умовах



України (ТУ У) на матеріали, інструкціях і рекомендаціях з технологій (рис. 3.13, б). Результати також публікуються (п. 4.5), на бажання замовника також складаються докладні звіти. При доведенні оригінальності та новизни розробки патентуються (п. 4.4). Останніми десятиріччями кафедра БМКС та її ГНДЛ розробляли ТУ на захисні і ремонтні склади, інструкції та правила з технології утримання штучних споруд (п. 3.5, рис. 3.13, б), рекомендації з підбору складів бетону і розчину, з удосконалення технології виготовлення залізобетонних шпал, з ремонту штучних споруд, в т.ч. конкретних об'єктів (рис. 3.14, 3.15).

*Держбюджетні* НДР – такі, що виконуються за кошти державного бюджету згідно з планами НДР НАН України, галузевих академій наук, Міністерства освіти і науки України, інших міністерств з метою забезпечення загального науково-технічного прогресу на світовому рівні.

*Госпдоговірні* НДР – такі, що виконуються за *господарчими договорами*, укладеними між замовником – зацікавленою в одержанні та застосуванні результатів НДР установою або підприємством будь-якої форми власності та *виконавцем* – науковою установою.

При навчанні в *аспірантурі* або *докторантурі* аспірант або докторант виконує кваліфікаційну НДР – проводить дисертаційне дослідження, готує і захищає дисертацію (п. 4.3). Незалежно від того, бюджетною або платною (контрактною) є аспірантура, матеріально-технічне забезпечення дослідження покладається на наукову установу, в якій вона функціонує. Тому керівники наукових установ і підрозділів, наукові керівники залучають аспірантів і докторантів до виконання держбюджетних і госпдоговірних НДР, узгоджуючи тематикту дисертаційного дослідження з планами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) і виконуваними держбюджетними і госпдоговірними НДР.

*Грант* – цільова грошова дотація, яка надається державними або недержавними установами приватній особі або установі для фінансування оговореної діяльності, зокрема, наукових досліджень.

*Ініціативна НДР* – така, що виконується дослідником, науковим колективом за власні кошти (безкоштовно) без фінансування ззовні (на умовах самофінансування). Можливості таких робіт в галузі будівництва і транспорту в теперішній час є дуже обмеженими у зв'язку з потребою у коштовних ресурсах – комп'ютерній техніці, приладах, науковому обладнанні, матеріалах. Тому ініціативні дослідження звичайно виконуються на початковій стадії НДР з метою обґрунтування і отримання подальших держбюджетного або госпдоговірною фінансування, грантів.

*Фундаментальні дослідження*, як правило, є держбюджетними, що фінансуються через Академію наук, галузеві академії наук, Міністерство освіти і науки України, інші міністерства, або можуть виконуватись при навчанні в аспірантурі, докторантурі, за грантами.

*Прикладні дослідження* можуть бути як держбюджетними, так і госпдоговірними, замовляються і фінансуються міністерствами, підприємствами будь-якої форми власності в залежності від проблем, які стають перед галуззю, підприємством. Держбюджетні прикладні НДР УкрДАЗТ фінансуються Міністерством транспорту та зв'язку України згідно з планом НДДКР.

Прикладні дослідження і розробки замовляються УкрДАЗТ, у т. ч. кафедрі БМКС, і фінансуються головними управліннями Укрзалізниці (Головним управлінням колійного господарства ЦП, Головним управлінням будівельно-монтажних робіт і цивільних споруд ЦБМЕС, Головним управлінням розвитку та інвестицій ЦТех, Головним управлінням капітальних вкладень ЦКВ) згідно з планом НДДКР Укрзалізниці, залізницями, підприємствами (заводами залізобетонних шпал, будівельними організаціями і т.п.).

За допомогою *грантів* здійснюється підтримка досліджень або проектів, які не є прибутковими і не одержують адекватного фінансування з боку держави, приватного капіталу, але відіграють важливу роль у розвитку суспільства, міста, навчального закладу. Гранти відіграють певну роль в підтримці науки, навчанні фахівців, створенні мережі некомерційних

організацій. Наприклад, існуючі некомерційні організації часто спираються на гранти як на основне або навіть єдине джерело свого доходу, необхідного для оплати приміщення і техніки, роботи співробітників.

Гранти надаються на недовгий термін (місяці), як правило, аспірантам, докторантам, кандидатам і докторам наук, що вже працюють над дослідженням або проектом і здатні довести необхідність наукової роботи.

Гранти звичайно передбачають фінансування: роботи за кордоном або в іншому регіоні; роботи з колегами з інших регіонів; витрат на відрядження; оплати запрошених фахівців, перекладачів; доступу до ресурсів університетів і бібліотек; оренди приміщення і устаткування; придбання матеріалів; проведення наукових заходів, рекламної кампанії; харчування учасників заходів і т. п.

Для отримання гранту заявник розробляє докладний план з вказівкою витрат і термінів, а також описує свій внесок – ту витрат, які він візьме на себе або зможе безкоштовно. Заявки проходять розгляд в організації, що виділяє грант, і, часто, конкурс між заявками різних учасників. У конкурсі враховується вагомість обґрунтування на отримання фінансування, адекватність необхідних витрат, ступінь підготовки учасника, тривалість результату та ін. Грантоотримувач звітує про витрати, надаючи чеки, звіти і об'єктивні результати (наукові роботи, публікації, результати дослідження, статистичні дані).

Приклади установ, що надають гранти, у т. ч. в галузі природничих і технічних наук (у дужках вказані адреси веб-сайтів фондів, на яких міститься інформація про порядок одержання грантів) наведені нижче.

*Державний фонд фундаментальних досліджень* (ДФФД; [www.dffd.gov.ua](http://www.dffd.gov.ua)) – державна наукова установа України, яка підтримує на конкурсній основі фундаментальні наукові дослідження у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук, що проводяться науковими установами, вищими навчальними закладами, вченими.

*Російський фонд фундаментальних досліджень* ([www.rfbr.ru](http://www.rfbr.ru)) – державна установа Росії, що здійснює конкурсний

відбір найкращих наукових проектів, представлених фонду вченими в ініціативному порядку, і наступне організаційно-фінансове забезпечення підтриманих проектів у галузях знань: математика, механіка та інформатика; фізика та астрономія; хімія та науки про матеріали; біологія та медична наука; науки про землю; науки про людину і суспільство; інформаційні технології та обчислювальні системи; фундаментальні основи інженерних наук. Фонд співпрацює з ДФФД, проводячи спільні конкурси для спільних досліджень колективів українських і російських вчених.

*Deutscher Akademischer Austausch Dienst* – DAAD (Німецька служба академічних обмінів; [www.daad.org.ua](http://www.daad.org.ua)) – посередницька організація зовнішньої культурної, освітньої та наукової політики Німеччини, а також розвитку співпраці в галузі вищої школи. DAAD надає стипендії, підтримує навчання, дослідження, проведення наукових заходів (конференцій, конгресів, симпозіумів), життя у Німеччині, вивчення німецької мови.

*British Council* (Британська рада; [www.britishcouncil.org](http://www.britishcouncil.org)) підтримує програми в галузях освіти, мистецтва, науки, здійснює допомогу у вивченні англійської мови, складанні іспитів у Великій Британії, відвідуванні Великої Британії, надає стипендії для навчання у британських ВНЗ.

*NATO Science Programme* ([www.nato.int/science](http://www.nato.int/science)) підтримує міжнародне співробітництво між вченими країн НАТО та країн-партнерів з метою наукового прогресу, сприяння стабільності та миру. Підпрограми NATO Science Programme: Science Fellowships – навчання молодих вчених; Cooperative Science and Technology – наукове кооперування вчених країн НАТО та країн-партнерів; Research Infrastructure Support – підтримка наукової інфраструктури країн-партнерів (створення комп'ютерних мереж, удосконалення технології й організації науки); Science for Peace – дослідження в галузі впливу індустріалізації та екологічних проблем в країнах-партнерах. Прийняті програми звичайно виконуються 3÷5 років.

*Eurasia Foundation* (Фонд Євразія; [www.eurasia.kiev.ua](http://www.eurasia.kiev.ua)) – неприбуткова благодійна організація, підтримка якої здійснюється Агентством США з міжнародного розвитку та іншими донорами: урядами, фондами, корпораціями та

приватними установами. Починаючи з 1992 р., фонд інвестував понад \$380 млн у проекти та програми технічної допомоги в Азербайджані, Білорусі, Вірменії, Грузії, Казахстані, Киргизстані, Молдові, Росії, Таджикистані, Туркменістані, Узбекистані, Україні.

*Fulbright Foundation* (програма ім. Фулбрайта; [www.fulbright.org.ua](http://www.fulbright.org.ua)) – програма наукових обмінів США, яка діє з 1946 р. у 155 країнах світу. За час існування програми понад 176 000 іноземців читали лекційні курси або займались дослідницькою діяльністю в США, а 270 000 американців – у 140 країнах світу. На перебування американців за кордоном кошти виділяє уряд США, іноземців у США – уряди їх країн. Проведення досліджень в університетах США фінансується на період від 4 до 9 місяців. У конкурсі можуть брати участь кандидати та доктори наук, дослідники без наукового ступеня з досвідом роботи, діячі культури, фахівці з бібліотекарства, журналісти, юристи. Галузі спеціалізації: гуманітарні та суспільні науки; правознавство; економіка та бізнес; педагогіка та управління в галузі освіти; інформаційні науки та бібліотекарство; засоби масової комунікації та журналістика; мистецтво, архітектура та управління в галузі мистецтва; гендерні студії; музеєзнавство; українознавчі студії; охорона довкілля; американські студії.

Приклади установ, що надають гранти виключно в галузі суспільних наук і відповідної діяльності з метою впливу на суспільно-політичну ситуацію в певних країнах:

*Ford Found* (Фонд Форда; [www.fordfound.org](http://www.fordfound.org)) – незалежна некомерційна неурядова організація, яка створена у 1936 р. на спадок Генрі Форда і дотепер інвестувала понад \$15,6 млрд в усьому світі. У 2008 р. бюджет фонду оцінювався у \$11 млрд, він розглянув 40000 пропозицій і виділив 2000 грантів. Фонд надає гранти на створення і діяльність організацій і мереж з метою «розвитку демократичних цінностей, подолання бідності й несправедливості, просунення міжнародного співробітництва». Останнім часом в межах програми IUCN фонд надає малі гранти (до \$2000) на участь у зустрічах, конференціях, присвячених



«дослідженням складних зв'язків між людиною і природою, що базуються на концепції стійкості»;

*Інститут відкритого суспільства* (ІВС; Фонд Дж. Сороса; [www.soros.org](http://www.soros.org); [www.osi.hu](http://www.osi.hu)) – мережа понад 30 національних організацій (Албанії, Азербайджану, Болгарії, Боснії і Герцеговини, Вірменії, Гаїті, Грузії, Гватемали, Естонії, Казахстану, Киргизстану, Латвії, Литви, Македонії, Молдови, Монголії, Південної Африки, Польщі, Румунії, Словаччини, Словенії, Таджикистану, Угорщини, Узбекистану, України, Хорватії, Чехії та ін.), які засновані починаючи з 1979 р. і фінансуються переважно Джорджем Соросом – американським підприємцем угорського походження, орієнтовані на розбудову «відкритого суспільства» і підтримують програми та ініціативи у сфері освіти, громадянського суспільства, незалежних засобів масової інформації, розвитку мережі Інтернет та електронної пошти, видавництва, прав людини, мистецтва і культури, реформування соціальної, правової і економічної систем;

*Міжнародний фонд «Відродження»* (МФВ; [www.irf.kiev.ua](http://www.irf.kiev.ua)) – організація мережі ІВС в Україні, заснована у квітні 1990 р. і за цей час надала неурядовим організаціям України, а також науково-освітнім, просвітницьким закладам, видавництвам грантів на суму понад \$100 млн. У 2009 р. МФВ проводить конкурси за напрямками: посилення впливу громадянського суспільства; роми України; верховенство права; засоби масової інформації; освітня програма; громадське здоров'я; європейська програма; Схід – Захід: партнерство без кордонів; соціальний капітал і академічні публікації.

## **4.2. Порядок проведення і зміст науково-дослідних робіт**

Науково-дослідні роботи проводяться у такій послідовності.

1. *Формулювання теми і мети дослідження, обґрунтування актуальності теми.* При заключенні господарчого договору на виконання НДР тема, мета, актуальність дослідження викладаються у технічному завданні.

2. *Огляд і аналіз літературних даних*, зокрема існуючих уявлень і результатів попередніх досліджень з досліджуваної теми, розроблення гіпотез.

3. *Поставлення задач досліджень, вибір і розроблення методів досліджень*. Методи досліджень повинні бути достовірними. Для забезпечення достовірності передбачають застосування:

- сучасних повірених у встановленому порядку приладів та обладнання;

- статистичних методів забезпечення точності вимірювань з їх потрібним повторюванням;

- незалежних методів досліджень – таких, що дозволяють визначати однакові величини різними за фізичним змістом способами (наприклад, мінеральний склад продуктів твердіння цементу за допомогою послідовно рентгенофазового аналізу, інфрачервоної спектроскопії, термічного аналізу (п. 6.2.4) і т. п.

4. *Теоретичні та експериментальні дослідження і аналіз їх результатів*. Результати повинні бути обґрунтованими і достовірними і доводити або заперечувати гіпотези. Обґрунтованість результатів теоретичних досліджень звичайно обумовлюється застосуванням в них вихідних положень і закономірностей фундаментальних наук і доведених теорій. Достовірність результатів досліджень обумовлюється застосуванням достовірних методів досліджень, а також збіжністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень. При виконанні науково-дослідної роботи, зокрема кваліфікаційної (п. 4.3), патентуванні винаходу (п. 4.4) результати повинні бути новими – характеризуватись, відповідно, науковою і технічною новизною, тобто відрізнятись від результатів попередніх досліджень і прототипів, розвиваючи і удосконалюючи їх.

5. *Впровадження результатів досліджень, оцінка їх економічної або іншої ефективності*. При виконанні науково-дослідної роботи, зокрема кваліфікаційної, повинна бути доведена практична значність результатів дослідження, тобто її корисність для держави, суспільства, певного замовника.

6. *Апробація результатів досліджень*: підготовка написання статей та їх публікація у наукових виданнях (п. 4.5), доповіді і обговорення на наукових заходах – конференціях, конгресах, симпозіумах.

7. *Оформлення результатів НДР*: складання звіту з НДР, розроблення технічної документації (нормативних документів, рекомендацій), оформлення і захист дисертації (п. 4.3), подавання заявки на винахід (п. 4.4), підготування і публікація наукових праць (п. 4.5), доповідь на наукових заходах.

Зміст НДР при її оформленні у звіті, дисертації, науковій публікації, звичайно відповідає послідовності її виконання.

Порядок виконання прикладних науково-дослідних робіт, спрямованих на розроблення нової та модернізацію існуючої продукції (матеріалів, виробів, конструкцій, будівель, споруд, технологій) регламентується ГОСТ 15.101 [29]:

Розроблення технічного завдання науково-дослідної роботи (ТЗ НДР). ТЗ НДР в загальному випадку повинно складатися з таких розділів:

1. Підстава для проведення робіт: указують повне найменування документа (документів), на підставі якого проводиться робота, терміни початку і закінчення роботи;

2. Мета і початкові дані для проведення робіт: указують мету проведення НДР, вирішувані проблеми; чи проводиться дана робота вперше або є продовженням виконаних робіт, перелік науково-дослідних робіт, відкриттів, винаходів або інших робіт, на базі яких виконується дана робота;

3. Етапи НДР: указують необхідні етапи виконання НДР, терміни виконання їх виконавцями і чим закінчується етап;

4. Основні вимоги до виконання НДР: встановлюють основні технічні вимоги, які повинні виконуватись при проведенні НДР. У загальному випадку вказують вимоги до номенклатури параметрів, чисельних значень яких необхідно набути, точність їх визначення, точність відтворення зовнішніх умов, способи моделювання об'єктів дослідження (математичне моделювання, фізичні моделі, макети, експериментальні зразки та їх кількість, склад документації, що розробляється для виготовлення), особливі вимоги з охорони праці при проведенні

робіт та інші вимоги, що забезпечують успішне виконання завдань НДР;

5. Спосіб реалізації результатів НДР: указують намічені шляхи використання результатів НДР, зокрема для розроблення продукції, створення методик розрахунків, випробувань, а також використання результатів НДР в зовнішньоекономічних зв'язках;

6. Перелік технічної документації, що пред'являється після закінчення робіт: указують документи, що подаються для розгляду і приймання НДР, а також організації (підприємства), яким належить звітна документація;

7. Порядок розгляду і приймання НДР: указують необхідність проведення рецензування, ухвалення НДР комісією, складання проміжних звітів;

8. Техніко-економічне обґрунтування: приводять очікувані переваги нової продукції перед існуючими вітчизняними і зарубіжними аналогами, орієнтовну економічну ефективність від впровадження цієї продукції;

9. Додатки: у загальному випадку подають таблиці, схеми, переліки довідково-інформаційних, патентних матеріалів (звіти про патентні дослідження, формули відкриттів, описи початкових винаходів) та інших матеріалів, необхідних для виконання НДР.

*Вибір напрямку дослідження:*

1. Збір і вивчення науково-технічної літератури, нормативно-технічної документації, експлуатаційної інформації про аналоги та інші матеріали, що відносяться до розроблюваної теми;

2. Проведення патентних досліджень;

3. Складання аналітичного огляду;

4. Формулювання можливих напрямів вирішення завдань, поставлених в ТЗ НДР, і їх порівняльна оцінка;

5. Вибір і обґрунтування прийнятого напрямку досліджень і способів вирішення поставлених завдань;

6. Зіставлення очікуваних показників нової продукції після впровадження результатів НДР з існуючими показниками виробів-аналогів або з діючою нормативно-технічною документацією;

7. Оцінка орієнтовної економічної ефективності від впровадження нової продукції з очікуваними показниками за наслідками НДР на основі наукового прогнозування на час розроблення, освоєння і терміну морального старіння продукції, що випускається;

8. Розроблення загальної методики проведення досліджень (програми робіт, плану-графіка);

9. Складання проміжного звіту та його розгляд (при необхідності).

*Теоретичні та експериментальні дослідження:*

1. Розроблення робочих гіпотез, побудова моделей об'єкта досліджень, обґрунтування допущень;

2. Виявлення необхідності проведення експериментів для підтвердження окремих положень теоретичних досліджень або для набуття конкретних значень параметрів (коефіцієнтів), необхідних для проведення розрахунків;

3. Розроблення методики експериментальних досліджень, підготовка моделей (макетів, експериментальних зразків), а також випробувального устаткування.

4. Проведення експериментів, обробка отриманих даних;

5. Зіставлення результатів експерименту з теоретичними дослідженнями;

6. Коректування теоретичних моделей об'єкта;

7. Проведення додаткових експериментів (при необхідності);

8. Проведення техніко-економічних досліджень ефективності впровадження об'єкта дослідження в народне господарство;

9. Складання проміжного звіту і його розгляд (при необхідності).

*Узагальнення і оцінка результатів досліджень:*

1. Узагальнення результатів попередніх етапів робіт. Оцінка повноти вирішення завдань;

2. Проведення при необхідності додаткових досліджень, зокрема патентних;

3. Розроблення рекомендацій щодо використання результатів проведених НДР;
4. Формулювання технічних вимог для технічного завдання на розроблення продукції;
5. Складання і оформлення звіту;
6. Розгляд результатів проведених НДР і приймання роботи в цілому.

### **4.3. Кваліфікаційні науково-дослідні роботи**

Кваліфікаційними роботами є:

- на присудження кваліфікації бакалавра, спеціаліста – дипломний проект (робота);
- на присудження кваліфікації магістра – дипломний проект з дослідницькою частиною (для особи, що вже є бакалавром), дипломна робота дослідницького характеру (для особи, що вже є спеціалістом);
- на здобуття наукового ступеня – дисертація (кандидатська, докторська).

*Дисертація* на здобуття наукового ступеня є кваліфікаційною науковою працею, виконаною особисто здобувачем у вигляді спеціально підготовленого рукопису або опублікованої монографії [6]. Підготовлена до захисту дисертація повинна містити висунуті здобувачем науково обґрунтовані теоретичні або експериментальні результати, наукові положення, а також характеризуватися єдністю змісту і свідчити про особистий внесок здобувача в науку.

Дисертація, що має прикладне значення, додатково до основного тексту повинна містити відомості та документи, що підтверджують практичне використання отриманих здобувачем результатів – впровадження у виробництво, достатню дослідно-виробничу перевірку, отримання нових кількісних і якісних показників, суттєві переваги запропонованих технологій, зразків продукції, матеріалів тощо, а дисертація, що має теоретичне значення, – рекомендації щодо використання наукових висновків.



Теми дисертацій пов'язуються, як правило, з напрямками основних науково-дослідних робіт вищих навчальних закладів або наукових установ і затверджуються вченими (науково-технічними) радами для кожного здобувача окремо з одночасним призначенням наукового керівника в разі підготовки кандидатської дисертації.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук є кваліфікаційною науковою працею, обсяг основного тексту якої становить 4,5÷7 авторських аркушів, оформлених відповідно до державного стандарту. Вона подається до захисту лише за однією спеціальністю.

Кандидатська дисертація повинна містити нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які розв'язують конкретне наукове завдання, що має істотне значення для певної галузі науки. Структура дисертації відповідає структурі НДР за розд.4.2.

Основні наукові результати дисертації повинні відображати особистий внесок здобувача в їх досягнення та обов'язково бути опубліковані ним у формі наукових монографій чи статей у наукових (зокрема електронних) фахових виданнях України або інших держав. Перелік наукових фахових видань України затверджує Вища атестаційна комісія ВАК (пп.3.2, 4.5).

До опублікованих праць, які додатково відображають наукові результати дисертації, належать дипломи на відкриття; патенти і авторські свідоцтва на винаходи, державні стандарти, промислові зразки, алгоритми та програми, що пройшли експертизу на новизну; рукописи праць, депонованих в установах державної системи науково-технічної інформації та анованих у наукових журналах; брошури, препринти; технологічні частини проектів на будівництво, розширення, реконструкцію та технічне переоснащення підприємств; інформаційні карти на нові матеріали, що внесені до державного банку даних; друковані тези, доповіді та інші матеріали наукових конференцій, конгресів, симпозіумів, семінарів, шкіл тощо. Мінімальну кількість та обсяг публікацій, які розкривають основний зміст дисертацій, визначає ВАК.

Апробація матеріалів дисертації на наукових конференціях, конгресах, симпозіумах, семінарах, школах тощо обов'язкова.

Кандидатська дисертація супроводжується окремим *авторефератом* обсягом 0,7÷0,9 авторського аркуша, який подається державною мовою. Вимоги до оформлення автореферату встановлює ВАК. Автореферат дисертації видається друкарським способом з обов'язковим зазначенням вихідних відомостей видання у кількості, визначеній спеціалізованою вченою радою.

Якщо у дисертації використано ідеї або розробки, що належать співавторам, разом з якими опубліковані наукові праці, здобувач повинен відзначити цей факт у дисертації та в авторефераті з обов'язковим зазначенням конкретного особистого внеску в такі праці або розробки. У разі виявлення текстових запозичень, використання ідей, наукових результатів і матеріалів інших авторів без посилання на джерело дисертація знімається з розгляду незалежно від стадії проходження без права її повторного захисту. Виявлення в дисертації, авторові якої вже видано диплом доктора чи кандидата наук, текстових запозичень без посилання на джерело є підставою для порушення клопотання про позбавлення його наукового ступеня.

Тема і зміст роботи повинні відповідати паспорту спеціальності. Так, для спеціальності 05.23.05 (п.1) зміст паспорту спеціальності такий:

#### І. Формула спеціальності

Галузь науки і техніки, яка вивчає процеси твердіння, структуроутворення, формування властивостей руйнування й довговічності будівельних матеріалів неорганічної та органічної природи. Вона (ця галузь) комплексно охоплює встановлення і вивчення зв'язків між складом, процесами, структурою і властивостями будівельних матеріалів, виявлення закономірностей їх зміни під впливом фізичних, хімічних, фізико-хімічних, електрохімічних, біологічних, радіаційних та інших факторів. Мета – розроблення ефективних шляхів і засобів поліпшення технологічних і експлуатаційних якостей традиційних, створення нових, зокрема екологічно чистих видів

будівельних матеріалів із прогнозованими властивостями, розроблення ефективних ресурсозберігаючих технологій, що дають можливість комплексно використовувати природну та техногенну сировину, серед якої попутні продукти інших виробництв. Галузь займається також розробленням технологічних засобів та матеріалів для захисту, ремонту, відновлення, підвищення експлуатаційної надійності, довговічності будівельних конструкцій, будівель і споруд.

## II. Напрямки досліджень

Удосконалення, підвищення ефективності технології виробництва наявних будівельних матеріалів і виробів з метою зниження матеріало-, енерго-, трудомісткості, підвищення екологічної чистоти.

Розроблення технологій виробництва нових видів ефективних будівельних матеріалів із заданими структурою і якостями, зокрема корозійно- і радіаційностійких, а також, замість дефіцитних матеріалів, використання принципово нових видів технологій (безопалювальна, біотехнологія тощо) при виробництві матеріалів, виробів і конструкцій, зокрема з попутних продуктів інших виробництв.

Теоретичні та експериментальні дослідження фізико-хімічних процесів, механізмів, явищ, речовинних і енергетичних перетворень при структуроутворенні, формуванні властивостей матеріалів, їх змінюванні, механічному, корозійному та пожежному руйнуванні. Вивчення довговічності матеріалів і конструкцій в умовах механічних навантажень, природних та технологічних чинників. Розроблення засобів управління цими процесами, структурою і тривалістю.

Розроблення, вдосконалення засобів і матеріалів для захисту, ремонту, відновлення, підвищення експлуатаційної надійності і довговічності будівельних конструкцій, будівель та споруд.

Дослідження стану матеріалів у конструкціях і руйнівних процесів (корозійних, деформаційних, фільтраційних тощо), пошуки засобів захисту від них з урахуванням різних експлуатаційних чинників.

Розроблення методів та засобів контролю властивостей, зокрема тих, що визначають теплозахист, звукопоглинання, експлуатаційну надійність і довговічність будівельних матеріалів, конструкцій та споруд із них. Проведення енергетичного, кінетичного і теплотехнічного аналізу процесів одержання, твердіння, корозії матеріалів і виробів, використання методів технологічної механіки для дослідження процесів структуроутворення в'язучих матеріалів, бетонів тощо.

Дослідження і розроблення методів проектування, процесів виробництва будівельних матеріалів та конструкцій.

Створення експертних систем для вибору технологічних рішень виробництва будівельних матеріалів.

Створення виробничих комплексів з виготовлення будівельних матеріалів.

ІІІ. Галузь науки, з якої присуджуються наукові ступені:  
Технічні науки.

#### **4.4. Винахідницька діяльність і патентування винаходів**

Результатом наукових досліджень є відкриття, винаходи, корисні моделі.

*Відкриття* – встановлення невідомих раніше об'єктивних закономірностей, властивостей, явищ матеріального світу. Всі загальні закони фізики, хімії і т.п. – Архімеда, Ньютона, Ома, зберігання енергії, періодичний – свого часу були відкриттями. Відомим у матеріалознавстві ХХ ст. відкриттям є ефект Ребіндера адсорбційного зниження міцності. На відкриття надається диплом.

*Винахід* – нове, з істотними відзнаками технічне рішення задачі, що дає позитивний ефект, у будь-якій галузі. На винахід надається *патент* (у СРСР *авторське свідоцтво*, рис. 4.1).



Рис. 4.1. Авторські свідоцтва і патенти

*Корисна модель* – нове рішення зовнішнього вигляду виробу.

Відкриття і винахід є предметами інтелектуальної власності, яка може застосовуватись для одержання винагороди або прибутку через передавання на тих або інших умовах патенту.

Для видачі патенту на винахід за встановленою формою складається заявка (рис. 4.2) і надається в державне підприємство «Український інститут промислової власності» Державного департаменту інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України, сплачується невелике мито. До заявки додаються опис і формула винаходу, креслення, квитанції про сплату мита. Держдепартамент проводить кваліфікаційну експертизу і у разі позитивного рішення щодо новизни заявленого винаходу надає





яка відрізняється тим, що, як добавки, містить ... (ознаки, що відрізняються від прототипу)»;

«Спосіб приготування бетонної суміші, що полягає у дозуванні і змішуванні крупного і дрібного заповнювача, в'язучої речовини, води і добавки, який відрізняється тим, що спочатку ..., потім ..., а як добавку беруть ...»

#### 4.5. Публікація результатів досліджень

Результати досліджень, які мають важливе теоретичне і практичне значення, публікують у наукових і навчальних виданнях. Науковими друкованими працями є монографії, брошури, статті. Навчальними виданнями є підручники і навчальні посібники.

*Монографія* – науковий твір, в якому викладений підсумок всебічного дослідження певної теми або проблеми, виконаного одним або декількома авторами.

*Стаття* – невелика наукова праця (до 10÷12 сторінок), в якій викладені результати, одержані за конкретним питанням, що має певне наукове і практичне значення. Статті публікують у наукових і науково-технічних журналах і збірниках наукових праць. Статті, що містять результати дисертаційних досліджень, в теперішній час публікують у журналах і збірниках, рекомендованих ВАК України (п. 3.2). Для наукової спеціальності «Будівельні матеріали та виробни», наприклад, такими є [6]:

*наукові і науково-технічні журнали:*

- «Будівельні матеріали та виробни»;
- «Будівництво України»;
- «Вісник Національного транспортного університету та Транспортної академії України»;
- «Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Будівництво»;
- «Залізничний транспорт України»;
- «Металеві конструкції» (Донбаська державна академія будівництва і архітектури);

- «Промислове будівництво та інженерні споруди»  
(Укрмонтажспецбуд, УкрНДіпроектстальконструкція  
ім.В.М.Шимановського);

*збірники наукових праць:*

- «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»  
(Український транспортний університет);

- «Будівельні конструкції» (Державний НДІ будівельних  
конструкцій, м. Київ);

- «Вісник Дніпропетровського національного університету  
залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна»;

- «Вісник Донбаської державної академії будівництва і  
архітектури»;

- «Вісник Національного університету водного господарства  
та природокористування»;

- «Вісник Одеської державної академії будівництва та  
архітектури»;

- «Вісник Придніпровської державної академії будівництва  
та архітектури»;

- «Вісник Харківського національного автомобільно-  
дорожнього університету»;

- «Дороги і мости» («ДерждорНДІ ім. М.П.Шульгіна»);

- «Збірник наукових праць Луганського державного  
аграрного університету. Серія: Технічні науки»;

- «Збірник наукових праць Полтавського державного  
технічного університету ім. Юрія Кондратюка. Серія: Галузеве  
машинобудування, будівництво»;

- «Збірник наукових праць Української державної академії  
залізничного транспорту»;

- «Коммунальное хозяйство городов» (Харківська  
національна академія міського господарства);

- «Науковий вісник будівництва» (Харківський державний  
технічний університет будівництва та архітектури).

Авторитетними закордонними журналами є:

- «Строительные материалы» (Росія);

- «Цемент» (Росія);

- «Бетон и железобетон» (Росія);

- «Cement and Concrete Research» (міжнародний,  
англійською);

- «Zement Kalk Gips / Cement Lime Gypsum» (Німеччина, нім. та англ.).

*Підручник* – навчальне видання, яке містить систематизоване викладення певної навчальної дисципліни відповідно до навчальної програми і затверджене у встановленому порядку.

*Навчальний посібник* – навчальне видання, що частково замінює або доповнює підручник і затверджене у встановленому порядку.

В теперішній час в Україні підручники і навчальні посібники затверджуються Міністерством освіти і науки, яке за клопотанням навчального закладу надає «гриф» – лист за певними номером і датою з вказівкою «Рекомендовано Міністерством освіти і науки як підручник (навчальний посібник) для студентів вищих навчальних закладів».

Наукові статті оформлюються згідно з певними вимогами. Наприклад, вимоги до оформлення рукопису статті в збірник наукових праць УкрДАЗТ такі.

Рукописи надаються до редакційно-видавничого відділу УкрДАЗТ у двох примірниках, один з яких підписаний авторами, та на електронному носії. Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несуть автори.

Назва рукопису повинна коротко та точно передавати зміст роботи. Над назвою подаються ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені, місце роботи – організація, підприємство. Кількість авторів з однієї організації не повинна перевищувати трьох. Над прізвищем автора рукопису наводиться деталізований індекс УДК. Віддрукований рукопис має бути ретельно вчитаний та підписаний усіма авторами.

Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці вимірювання слід застосовувати згідно з системою SI або інші, допущені до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

Відповідно до вимог ВАК статі повинні містити такі необхідні елементи:

- постановку проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;
- формулювання мети, завдань досліджень;
- основні матеріали дослідження з повним аналізом отриманих наукових результатів;
- висновки і практичні рекомендації з даного дослідження, перспективи подальших досліджень.

Текстові матеріали готуються та друкуються на аркушах білого паперу формату А4 (210×297) з використанням текстового редактора Microsoft Word для Windows, для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали і графіки можуть готуватись за допомогою електронних таблиць (Microsoft Excel), рисунки надаватись в форматах JPEG. При цьому має застосовуватись шрифт Times New Roman.

Параметри сторінки: поля – 25 мм (нижнє – 20 мм), відступ від нижнього колонтитула – 22 мм; верхній і нижній колонтитули, номери сторінок не вводити. Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 10 мм, інтервал між рядками – одинарний.

Матеріали набирають такими шрифтами: **УДК** – 14 пунктів, напівжирний (по лівому краю); **Автори** – 14 пунктів, напівжирний, курсив (по правому краю); **НАЗВА СТАТТІ** – прописні літери, 14 пунктів, напівжирний (по центру); основний текст – 14 пунктів, звичайний (по ширині).

Інтервали між елементами матеріалу такі: **УДК** – автори – 1; автори – назва доповіді – 1; назва доповіді – основний текст – 1; основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 1; назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми, схеми – їхні назви) – 1; нижній край таблиці

(назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 1; основний текст – список літератури – 1.

Усі рисунки, таблиці, діаграми повинні мати назви та номери (у випадку, коли в одному матеріалі міститься два і більше названих елементів): Рис. 1. Розрахункова схема...; Таблиця 1. Усереднені... Назви та номери таблиць розміщується над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється.

Графічні файли з формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями повинні бути розташовані в тексті. Кількість ілюстрацій, як правило, не повинна перевищувати 5÷6. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок. Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські та російські літери – тільки прямим шрифтом.

Список використаної літератури складається за ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. Зокрема, вказуються: порядковий номер джерела у списку, прізвища та ініціали всіх авторів, повна назва роботи, на яку посилаються, в якому журналі чи збірнику (повна назва) вона надрукована, рік видання, номер журналу або випуск збірника, сторінки (від – до), на яких її там вміщено. У посиланнях на авторські свідоцтва та патенти обов'язково вказуються також індекс МКІ, рік і номер Бюлетеня, дата публікації (за титульною сторінкою цього номера Бюлетеня). Всі бібліографічні описи джерел подаються мовою оригіналу.

До рукопису додається анотація трьома мовами: російською, українською та англійською (шрифт №14 Times New Roman), в якій має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг 8÷10 рядків). Анотації надаються окремими файлами. Текстам анотацій повинні передувати повні бібліографічні описи статей відповідними мовами:

Приклад бібліографічної назви та анотації статті:

УДК 620.19

Плугін, А.А. Аналіз впливу потенціалів від струмів витоку на утворення тріщин в плитах безбаластного мостового полотна на електрифікованих ділянках залізниць [Текст]/ А.А. Плугін, О.А. Забіяка, Г.О. Линник // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип.115. – С. 75-82.

У результаті натурних досліджень визначені величини електричних потенціалів на конструкціях безбаластного мостового полотна, у т.ч. на поверхні бетону, які виникають при проходженні поїздів з електричною тягою постійного струму. З позицій колоїдної хімії висунуто гіпотезу про вплив цих потенціалів на утворення тріщин в плитах, проведено теоретичні дослідження, внаслідок яких встановлено, що на розкриття тріщин в найбільшому ступені впливає обводненість плит при атмосферних опадах.

### *Контрольні запитання*

1. Які за призначенням є науково-дослідні роботи?
2. Які за джерелами фінансування є науково-дослідні роботи?
3. Що таке фундаментальні НДР?
4. Що таке розробки?
5. Що таке грант?
6. Які установи в Україні та світі надають гранти у галузі технічних наук (у тому числі для студентів)?
7. Яка послідовність виконання НДР (структура)?
8. Які є кваліфікаційні науково-дослідні роботи в Україні та які можливо здобути відповідні їм наукові ступені?
9. Які наукові ступені є в Україні?
10. Які вчені звання є в Україні?
11. Що таке відкриття?
12. Що таке винахід?
13. Який документ надається автору відкриття та винаходу?
14. Які є наукові друковані праці?
15. Що таке підручник та навчальний посібник?



## 5. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 5.1. Методи теоретичних досліджень

*Теоретичні дослідження* складаються із розумової діяльності без дій з об'єктом. Методи теоретичних досліджень: логічні – гіпотетичний і аксіоматичний та історичний.

*Гіпотетичний метод* ґрунтується на розробленні нової гіпотези та її наступному доведенні або відхиленні та є основним у прикладних дослідженнях.

*Аксіоматичний метод* ґрунтується на очевидних положеннях, що приймаються без доказів, реалізується за допомогою дедукції, застосовується у теоретичних науках – математиці і т.п.

*Історичний метод* досліджує процеси в хронологічній послідовності з метою виявлення внутрішніх і зовнішніх зв'язків, закономірностей, суперечностей, застосовується у суспільних науках.

Способи теоретичних досліджень:

- *дедуктивний* – конкретні положення виводяться із загальних;

- *індуктивний* – за конкретними фактами і явищами встановлюють загальні принципи і закони;

- *аналіз* – явище розділяється на складові частини;

- *синтез* – явище досліджується взагалі на основі об'єднання складових;

при аналізі застосовують:

- *ранжування* – розподіл складових явища за їх ступенем впливу;

- *абстрагування* – відволікання від другорядних складових;

- *формалізація* – уявлення явища (об'єкта, предмета дослідження) у вигляді моделей – фізичних, математичних, натурних.

*Модель* – штучна система, що з певною точністю відображує об'єкт – оригінал. Моделі є *фізичні, математичні, натурні*.

Моделі розробляють для проведення експериментальних досліджень (розд.6). Один із методів експериментальних

досліджень – *розрахунковий експеримент* (п.6.1) є теоретичним, який реалізують за допомогою математичних моделей.

Теоретичні дослідження об'єктів будівництва, транспорту в основному проводять гіпотетичним методом, способом аналізу із застосуванням і ранжування, і абстрагування, і формалізації. Послідовність досліджень в цьому випадку така:

- аналіз фізичної сутності властивостей об'єкта, явищ, процесів, які з ним відбуваються;
- формулювання гіпотези дослідження, побудова *фізичної моделі* (розрахункової схеми);
- складення на основі фізичної моделі *математичної моделі* та її математичне дослідження – чисельний експеримент;
- аналіз результатів теоретичних досліджень, формулювання теоретичних положень і висновків.

У прикладних науках, зокрема при дослідженні об'єктів будівництва, транспорту, для доведення гіпотези не обмежуються теоретичними дослідженнями, а проводять ще й експериментальні дослідження (розд.6).

*«Мозковий штурм»* – метод теоретичних досліджень, призначений для розв'язання складних завдань, що не під силу одній людині. Цей метод полягає у створенні групи *«генераторів ідей»* – дослідників, в особистих рисах яких переважають творчі здібності (п. 3.2). Ця група *«генерує ідеї»* – висуває будь-які ідеї, гіпотези щодо розв'язання завдання, часто неправильні. На цьому етапі критика ідей не дозволяється. Потім запропоновані ідеї, гіпотези передаються іншій групі вчених – *«критиків»*, які в результаті аналізу спростовують неправильні ідеї, гіпотези, та відбирають такі, що корисні для розв'язання висунутих завдань.

## **5.2. Модель об'єкта або предмета дослідження**

### **5.2.1. Фізичні моделі**

*Фізична модель* – ідеалізоване відображення об'єкта і (або) предмета дослідження у вигляді елементів, властивості яких підкоряються певним конкретним закономірностям. Фізичні моделі застосовують для подальшого розроблення на їх основі

математичних моделей, що відбивають властивості об'єкта, процеси та явища, що з ним відбуваються.

Наприклад, запропонована П.О. Ребіндером і Є.Д. Щукіним фізична модель міцності дисперсної системи на розтяг  $R$  – кулеподібні частки дисперсної фази, розподілені в рідкому середовищі, між якими є контакти з силою  $P$ , яка опирається розриву (рис. 5.1).

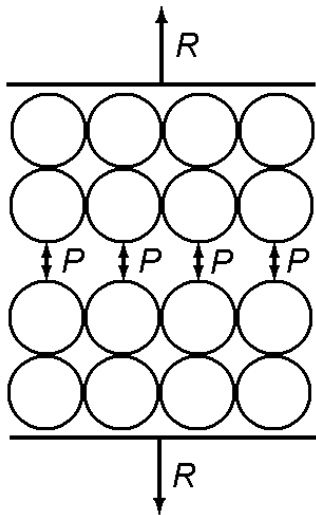


Рис. 5.1. Фізична модель міцності дисперсної системи на розтяг

Реологічні властивості матеріалів, що відбивають їх здатність деформуватись, – пружність, пластичність, в'язкість, моделюються за допомогою реологічних (фізичних) моделей ідеальних тіл Гука, Сен-Венана – Кулона, Ньютона, відповідно (рис. 5.2, *а*, *б*, *в*) [11; 12].

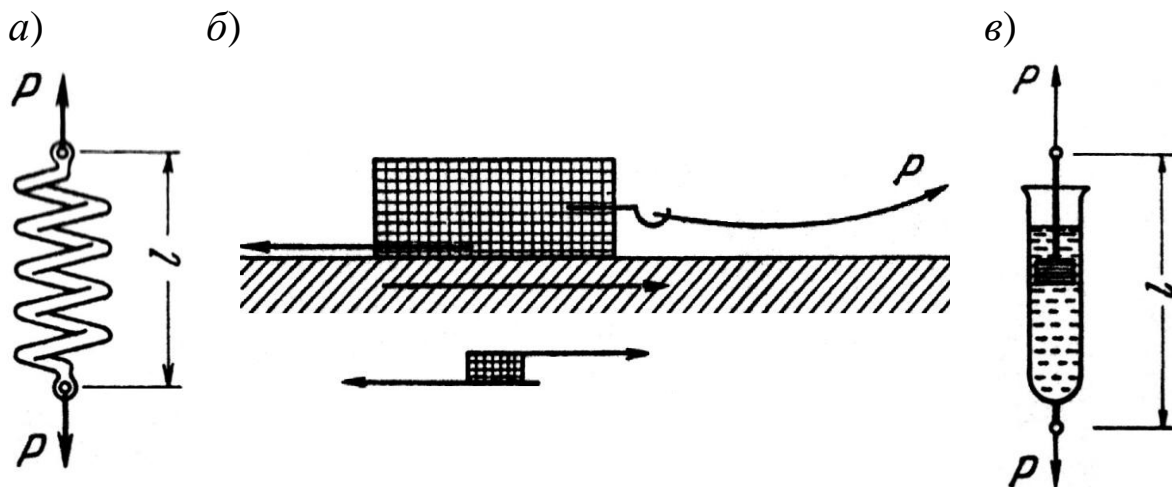


Рис. 5.2. Реологічні моделі ідеальних тіл:

*а* – пружного тіла Гука (пружина); *б* – пластичного тіла Сен-Венана – Кулона (елемент сухого тертя); *в* – ньютонівської рідини (амортизатор)

*Пружне тіло Гука* (рис. 5.2, а) деформується при прикладенні сили, деформація є пружною – зворотною (після припинення дії сили тіло повертається у вихідний стан), її величина прямо пропорційна величині прикладеної сили, а швидкість як розвитку, так і повернення, значна – дорівнює швидкості звуку (миттєва).

*Пластичне тіло Сен-Венана – Кулона* (рис. 5.2, б) деформується при прикладенні сили, деформація починається при досягненні силою певної величини і є пластичною – незворотною (після припинення дії сили тіло залишається деформованим).

*Ньютонівська рідина* (рис. 5.2, в) тече при прикладенні сили (відбувається взаємне переміщення, або зсув шарів рідини один відносно іншого, як переміщення поршня у рідині відносно циліндра в амортизаторі), течія починається при скільки завгодно малій величині сили, а швидкість течії (взаємного переміщення шарів) прямо пропорційна прикладеній силі.

Оскільки реальні матеріали сполучають в собі всі реологічні властивості, виражені в різному ступені, їх поведінку намагаються моделювати складними реологічними тілами: пружно-в'язким тілом Максвелла – послідовним з'єднанням тіл Гука і Сен-Венана – Кулона (рис. 5.3, а), в'язко-пружним тілом Кельвіна – паралельним з'єднанням тіл Гука і Сен-Венана – Кулона (рис. 5.3, б), пружно-в'язко-пластичним тілом Бінгама (рис. 5.3, в) і т. д.

*Пружно-в'язке тіло Максвелла* (рис. 5.3, а) деформується при прикладенні сили, деформація є зворотною (після припинення дії сили тіло повертається у вихідний стан) і складається із миттєвої пружної і повільної в'язкої складової.

*В'язко-пружне тіло Кельвіна* (рис. 5.3, б) деформується при прикладенні сили, деформація є зворотною, але швидкість її як розвитку, так і повернення, повільна і обумовлена в'язкістю ньютонівської рідини.

*Пружно-в'язко-пластичне тіло Бінгама* (рис. 5.3, в) деформується при прикладенні сили, деформація складається із миттєвої пружної і повільної в'язко-пластичної складової, пружна складова є зворотною, а в'язко-пластична – незворотною,

яка розпочинається при досягненні силою певної величини. Пружно-в'язко-пластичне тіло Бінгама у першому наближенні моделює реологічну поведінку, тобто характер деформування бетонної і розчинної суміші, тампонажного розчину і навіть затверділих бетону і розчину.

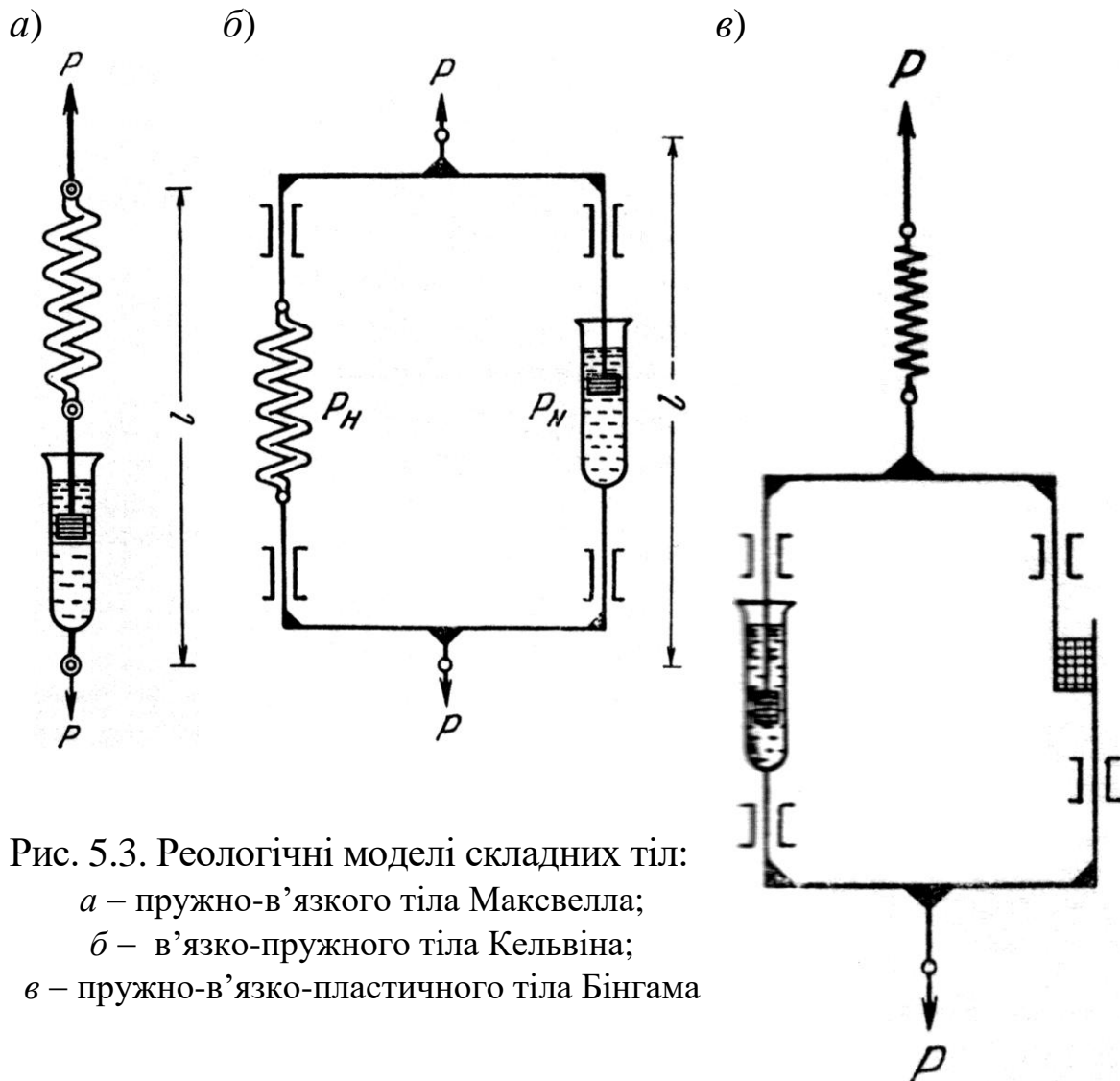


Рис. 5.3. Реологічні моделі складних тіл:  
 а – пружно-в'язкого тіла Максвелла;  
 б – в'язко-пружного тіла Кельвіна;  
 в – пружно-в'язко-пластичного тіла Бінгама

### 5.2.2. Математичні моделі

*Математична модель* – відображення властивостей об'єкта або явища, що з ним відбуваються, у вигляді математичних формул. Математичні моделі відбивають властивості об'єкта, процеси та явища, що з ним відбуваються, а також застосовуються для розрахункових експериментів.

Математичні моделі розробляють виходячи із фізичних моделей, застосовуючи рівняння фізичних законів.

Математичною моделлю міцності дисперсної системи на розтяг  $R$ , за Ребіндером і Щукіним, є відповідний фізичній моделі (рис.5.1) вираз

$$R = Pn, \text{ Па}, \quad (5.1)$$

де  $P$  – міцність одиничного контакту,  $H$ ;

$n$  – кількість контактів на одиницю площі,  $1/\text{м}^2$ .

Математичними моделями реологічних властивостей, відповідними фізичним моделям (рис.5.2, *а, б, в*), є вирази:

- пружної деформації (рис. 5.2, *а*)

$$\frac{P}{S} = E \cdot \frac{\Delta l}{l} \text{ або } \sigma = E\varepsilon, \quad (5.2)$$

де  $P$  – сила, що діє на тіло і обумовлює його деформацію,  $H$ ;

$S$  – площа перерізу тіла,  $\text{м}^2$ ;

$E$  – модуль пружності,  $\text{Па}$ ;

$\Delta l$  – абсолютна деформація тіла,  $\text{м}$ ;

$l$  – його первинна довжина,  $\text{м}$ ;

$\sigma$  – нормальна напруга, що обумовлює деформацію,  $\text{Па}$ ,  $\sigma = P/S$ ;

$\varepsilon = \Delta l/l$  – відносна деформація тіла;

- пластичної деформації, наприклад, зсуву (рис.5.2, *б*)

$$\frac{P}{S} = G \cdot \frac{z}{x} \text{ або } \tau = G\gamma, \quad (5.3)$$

де  $P$  – дотична сила, що обумовлює зсув,  $H$ ;

$S$  – площа перерізу тіла,  $\text{м}^2$ ;

$G$  – модуль деформації,  $\text{Па}$ ;

$z$  – абсолютна деформація зсуву,  $\text{м}$ ;

$x$  – відстань між шарами, що зсуваються один відносно одного при зсуві,  $\text{м}$ ;

$\tau$  – дотична напруга, що обумовлює зсув,  $\text{Па}$ ,  $\tau = P/S$ ;

$\gamma$  – відносна деформація зсуву,  $\gamma = z/x$ ;



- в'язкої течії (рис.5.2, в)

$$\frac{P}{S} = \eta \frac{dv}{dx} \text{ або } \tau = \eta \frac{dv}{dx}, \quad (5.4)$$

де  $P$  – прикладена сила, що обумовлює переміщення поршня в циліндрі (течію рідини), Н;

$S$  – бокова площа поршня (площа шару рідини, що зсувається відносно іншого шару), м<sup>2</sup>;

$\eta$  – в'язкість (коефіцієнт в'язкості), Па·с;

$dv$  – швидкість переміщення поршня (зсуву одного шару рідини відносно іншого), м/с;

$dx$  – відстань від бокової поверхні поршня до внутрішньої поверхні циліндра (між шарами рідини), м;

$dv/dx$  – градієнт швидкості зсуву, 1/с;

$\tau$  – дотична напруга, що обумовлює течію,  $\tau = P/S$ .

Математичною моделлю в'язко-пластичної складової деформування тіла Бінгама (рис. 5.3, в) є рівняння Шведова – Бінгама [9]

$$\tau = \tau_d + \eta^* \frac{dv}{dx}, \quad (5.5)$$

де  $\tau = P/S$  – дотична напруга, що обумовлює зсув, Па;

$\tau_d$  – граничний опір зсуву – дотична напруга, при якій розпочинається зсув, Па;

$\eta^*$  – пластична в'язкість, Па·с;

$dv/dx$  – градієнт швидкості зсуву, 1/с.

У разі неможливості розроблення математичних моделей на основі фізичних, наприклад, для дуже складних сполучень різних процесів і явищ, застосовують модель «чорний ящик».

Модель «чорний ящик» є кібернетичною моделлю – різновидом математичної, найбільш абстрагованою від реального об'єкта. «Чорний ящик» є системою, структура якої і процеси в

ній невідомі і недоступні для спостереження. Відомі лише «вхід»  $x$  і «вихід»  $y$  (рис.5.4). Задача зводиться до побудови за допомогою ПК математичних моделей типу  $y_i = f(x_1, x_2 \dots x_i \dots x_n)$ . Такі моделі розробляються на основі експериментальних даних про залежності  $y_i$  від  $x_i$  (п. 6.4).

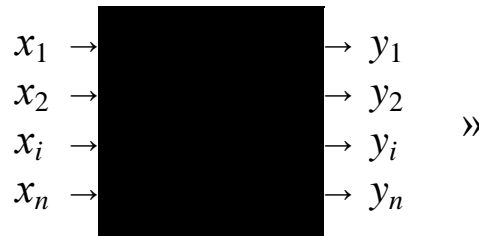


Рис.5.4. Схема моделі «чорний ящик»

### 5.2.3. *Натурні моделі*

*Натурна модель* – матеріальна імітація об’єкта, наприклад у вигляді масштабної моделі конструкції, зразка матеріалу, який піддають експериментальним дослідженням – дії навантажень, підвищених температур, агресивних середовищ і т.п. З натурними моделями проводять активні експерименти, дослідження (п. 6.1).

### 5.3. Розрахункові експерименти

Розрахункові (чисельні) експерименти – імітація властивостей або явищ, які відбуваються з об’єктом, за допомогою математичної моделі. В математичну модель підставляють вихідні дані, які характеризують склад матеріалу, характеристики конструкції, технологічні або експлуатаційні дії на матеріал або конструкцію і т.п., і, приймаючи ті або інші вихідні дані як змінні  $x_i$ , виконують розрахунок, результати якого  $y_i$  характеризують властивості об’єкта або явища, які з ним відбуваються.

Прикладом розрахункових експериментів є дослідження напружено-деформованого стану будівельних конструкцій з розрахунками за групами граничних станів (на міцність, жорсткість і тріщиностійкість). Метою цих експериментів є визначення залежностей і допустимих значень напружень і деформацій від навантажень, характеристик матеріалів і геометричних характеристик конструкцій, температури і т.п.

Вихідними даними для експерименту є характеристики матеріалів і геометричні характеристики конструкцій, навантаження. Фізичними моделями є розрахункові схеми у вигляді стержневих систем (стержнів, опор, балок), перерізів, скінченноелементні моделі. Математичними моделями є розрахункові формули, які наведені у будівельних нормах і правилах ДБН, СНИП. Експеримент полягає в підстановці у ці формули вихідних даних, одержанні залежностей і значень напружень і деформацій та їх зіставленні з нормативними значеннями. Натурною моделлю для експерименту в цьому випадку була б масштабна модель конструкції або сама конструкція, на яку встановлені датчики напружень (тензometri і т. п.), деформацій (прогиноміри і т. п.), і яку в умовах натурального експерименту навантажують вантажами відомої маси і т.п.

За допомогою розрахункового експерименту було проведено дослідження напружено-деформованого стану статично невизначеної конструкції залізничного залізобетонного рамного шляхопроводу з метою визначення напруг в ній з урахуванням пошкоджень для визначення необхідності і розроблення конструкції їх підсилення. На рис. 5.5 наведено результати розрахункового експерименту, зокрема скінченноелементну модель, деформовану схему з ізополями розтяжних напруг, деформовану схему з ізополями стискальних напруг. За результатами розрахункового експерименту, а також експериментів на натурній моделі (випробуванні шляхопроводу поїзним навантаженням) було розроблено конструкції підсилення і виконано ремонт шляхопроводу (рис. 3.14, в).

За допомогою розрахункового експерименту було проведено дослідження причин виникнення тріщин у залізобетонних плитах безбаластного мостового полотна (рис. 5.6, 5.7, а). На рис. 5.7 наведено результати розрахункового експерименту – скінченноелементну модель плити (рис. 5.7, б) та ізополі головних напружень від навантажень на плиту (рис. 5.7, в). Зіставлення ізополів напружень (рис. 5.7, в) зі схемою розташування тріщин (рис. 5.7, а) показало, що тріщини в бетоні утворюються в найбільш напружених місцях плити, в яких розтяжні напруження досягають 14 МПа. Результати досліджень

застосовано при розробленні інструктивного документа Укрзалізниці «Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна».

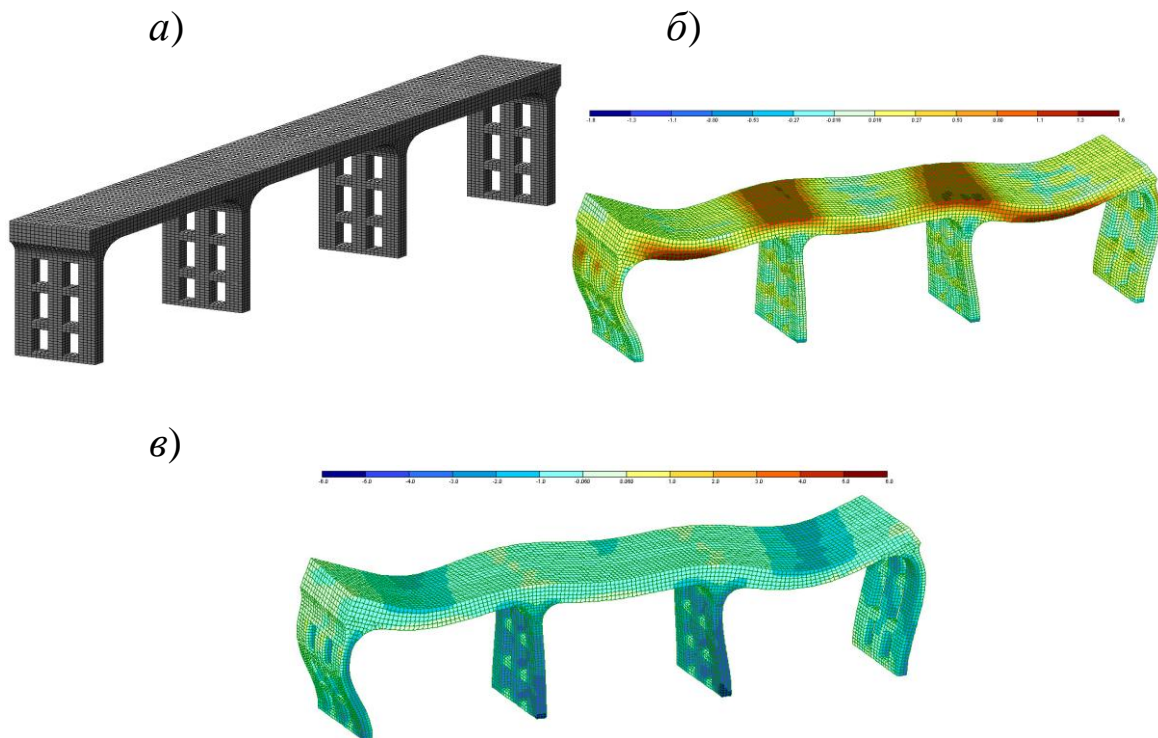


Рис. 5.5. Результати розрахункового експерименту з дослідження напружено-деформованого стану статично невизначеної конструкції залізничного залізобетонного рамного шляхопроводу:

*а* – скінченноелементна модель;

*б* – деформована схема з ізополями розтяжних напружень;

*в* – деформована схема з ізополями стискальних напружень



Рис. 5.6. Залізобетонне безбаластне мостове полотно – підрейкова основа металевих залізничних мостів

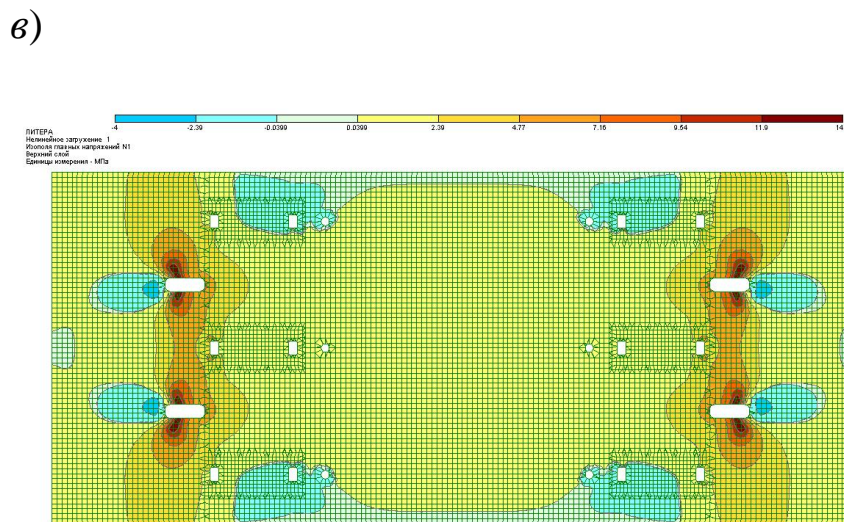
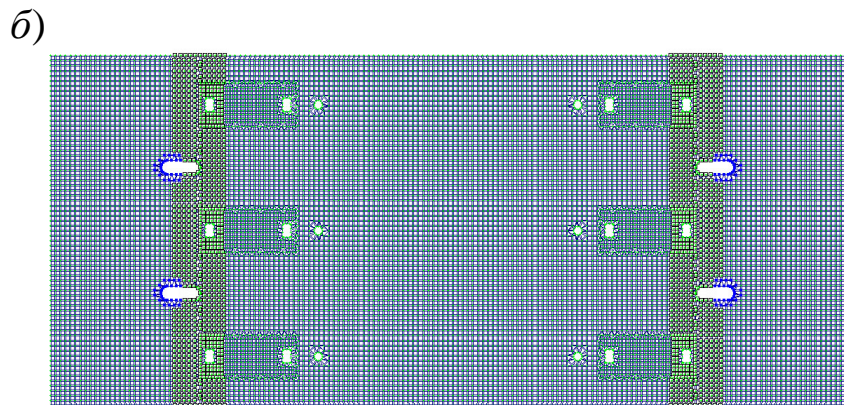
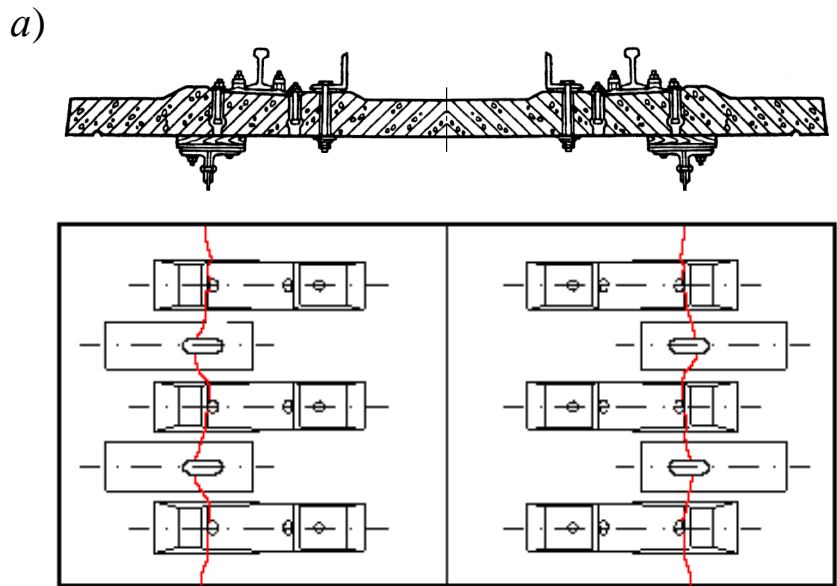


Рис. 5.7. Плити безбаластного мостового полотна:  
*a* – конструкція плити і схема розташування тріщин в ній;  
*б* – скінченноелементна модель плити; *в* – ізополя головних напружень в плиті під навантаженням

Ще одним прикладом розрахункового експерименту можуть бути дослідження взаємозв'язку між міцністю і морозостійкістю бетону. Виконаємо дослідження, метою якого є, наприклад, визначення значень міцності бетону, при яких буде забезпечена марка бетону з морозостійкості F150. Аналіз літературних даних показав, що як міцність, так і морозостійкість бетону залежать від водоцементного відношення  $V/C$ .

Приймаємо для досліджень математичні моделі, одержані у ХХ столітті на основі численних експериментальних даних і відомі під назвою «закон водоцементного відношення»

$$R_b = AR_u \cdot (C/B \pm 0,5), \text{ кгс/см}^2, \quad (5.6)$$

де  $R_b$  – міцність бетону на стиск, кгс/см<sup>2</sup>;

$A$  – коефіцієнт якості заповнювачів, наприклад, 0,6 для заповнювачів середньої якості;

$R_u$  – активність цементу, наприклад, 40 МПа;

$C/B$  – цементно-водне відношення, зворотне  $V/C$ ; «плюс» – при  $V/C < 0,4$ ; «мінус» – при  $V/C \geq 0,4$ .

Закон водоцементного відношення стосовно морозостійкості в літературі наводиться у вигляді таблиць з експериментальними даними. Їх апроксимація (пошук функції) методом найменших квадратів (п. 6.4) дає поліноміальну і експоненційну залежності, достовірність яких (квадрат коефіцієнта кореляції) складають 0,95 і 0,97 відповідно

$$F = 7712(B/C)^2 - 9957(B/C) + 3281, \quad (5.7)$$

або

$$F = 8294 \cdot \exp(-7 \cdot B/C), \quad (5.8)$$

де  $F$  – марка бетону з морозостійкості.

За вихідні дані приймемо діапазон значень  $V/C$  0,3÷0,7, притаманний сучасним бетонам. Чисельний експеримент



виконаємо шляхом підстановки значень  $B/C$  цього діапазону у (5.6) і (5.7) або (5.8) і побудови графічних залежностей (рис. 5.8).

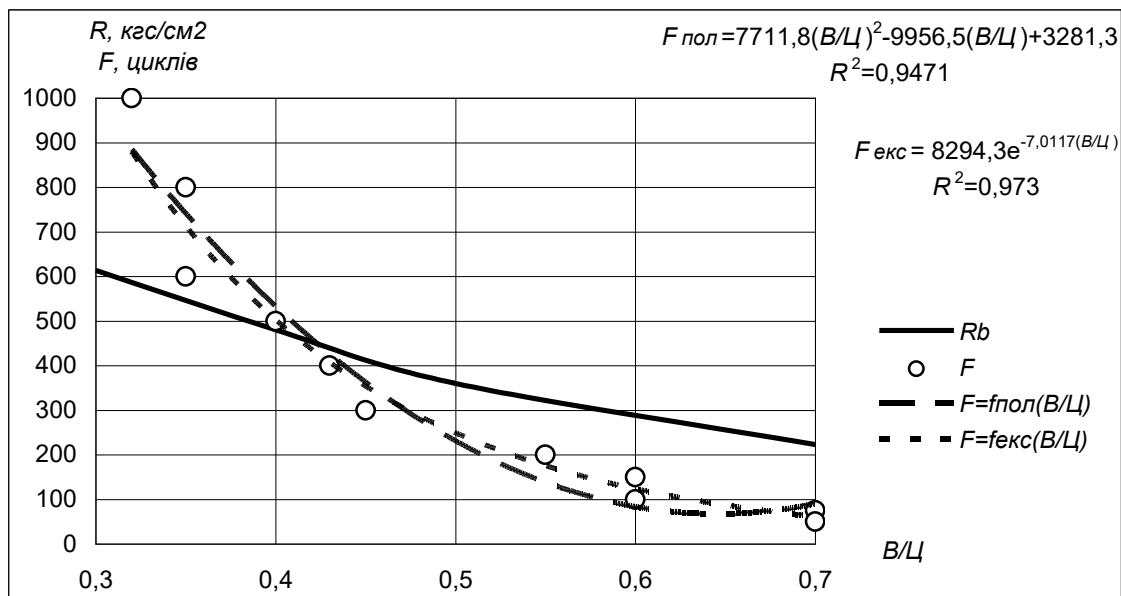


Рис.5.8. Залежності міцності і морозостійкості бетону від водоцементного відношення

Аналіз рис. 5.8 показує, що для забезпечення марки бетону з морозостійкості не менше F150  $B/C$  не повинно перевищувати 0,55, а міцність бетону на стиск повинна бути не меншою 330 кгс/см<sup>2</sup>.

#### 5.4. Термодинамічний метод досліджень твердіння і корозії цементних матеріалів

*Хімічна термодинаміка* вивчає енергетику хімічних реакцій, які підкоряються закону збереження енергії. За допомогою термодинамічного аналізу визначають вірогідність протікання тих чи інших хімічних реакцій в системах з декількох речовин, у т. ч. в залежності від їх концентрацій, температури. Термодинамічним методом досліджують реакції, які відбуваються при твердінні та корозії цементних матеріалів, корозії арматури залізобетону, сталевих конструкцій та елементів верхньої будови залізничної колії і т. д. [13].

### 5.4.1. Визначення можливості протікання хімічної реакції за значенням її вільної енергії Гіббса

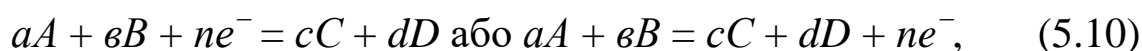
Кожній хімічній сполуці притаманна *вільна енергія Гіббса* її утворення із елементів  $\Delta G_x$ , ккал/моль, а кожній хімічній реакції – вільна енергія Гіббса реакції  $\Delta G$ , ккал/моль. За значенням  $\Delta G$  реакції судять про можливість її протікання. Аналіз проводять в такій послідовності.

Складають рівняння реакції, визначаючи стехіометричні коефіцієнти:

обмінної реакції:



окислювально-відновлювальної реакції:



де  $A, B, C, D, e^-$  – речовини (іони) та електрони, відповідно, що беруть участь у реакції;

$a, b, c, d, n$  – стехіометричні коефіцієнти і кількість електронів, відповідно, що беруть участь в окислювально-відновлювальній реакції.

Визначають вільну енергію Гіббса реакції (для окислювально-відновлювальної реакції вільна енергія електронів дорівнює нулю):

$$\Delta G = \Delta G_C + \Delta G_D - \Delta G_A - \Delta G_B, \quad (5.11)$$

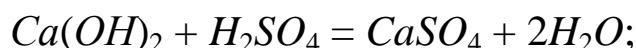
де  $\Delta G_A, \Delta G_B, \Delta G_C, \Delta G_D$  – вільна енергія утворення речовин (іонів) із елементів за даними [13; 14] і т. п.

Роблять висновок за значенням  $\Delta G$  реакції: при значному за абсолютною величиною (одиниці, десятки або більше ккал/моль) негативному значенні  $\Delta G$  реакція можлива, при значному за абсолютною величиною позитивному значенні  $\Delta G$  – неможлива, причому чим більші абсолютні значення  $|\Delta G|$ , тим імовірнішою

чи неімовірною, відповідно, є реакція. Для реакцій з однаковими початковими сполуками і різними кінцевими вірогідніша реакція з найбільш негативним значенням  $\Delta G$ , що доводиться на однакову стехіометричну кількість початкових сполук.

Наприклад, потрібно визначити, чи відбувається розклад (корозія) вапна при дії на нього сірчаної кислоти.

Можливими при цьому можуть бути реакції:  
з утвореннями ангідриту (сульфату кальцію)



з утворенням гіпсу (двогідрату сульфату кальцію):



Вільна енергія Гіббса сполук цих реакцій, за [13], дорівнює, ккал/моль:

- $Ca(OH)_2$	-214,8
- $H_2SO_4$	-165,0
- $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	-429,2
- $CaSO_4$	-313,93
- $H_2O$	-56,7

Енергія Гіббса реакції з утворенням ангідриту:

$$\Delta G = -313,93 + 2 \cdot (-56,7) - (-214,8 - 165,0) = -47,53.$$

Енергія Гіббса реакції з утворенням гіпсу:

$$\Delta G = -429,2 - (-214,8 - 165,0) = -49,4.$$

Висновок: обидві реакції є можливими.

А тепер визначимо, чи імовірна зворотна реакція, наприклад довільний розклад гіпсу з утворенням вапна і сірчаної кислоти:



Енергія Гібса реакції:

$$\Delta G = -214,8 + (-165,0) - (-429,2) = 49,4.$$

Висновок: реакція малоімовірна.

### **Задача**

Визначити, чи відбувається розклад (корозія) вапна при дії на нього соляної кислоти.

Вільна енергія Гіббса можливих сполук цих реакцій така:

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$	-214,8
- $\text{HCl}$	-22,8
- $\text{CaCl}_2$	-173,9
- $\text{H}_2\text{O}$	-56,7

#### **5.4.2. Визначення можливості протікання обмінної реакції за результатами аналізу хімічної рівноваги**

Для гетерогенних обмінних реакцій (5.9), що відбуваються за участю розчинів або газів, аналізують хімічні рівноваги між ними. Для цього застосовують залежність між константою рівноваги реакції  $K$  та її вільною енергією Гіббса:

$$\Delta G = -RT \cdot \ln K, \quad (5.12)$$

де  $R$  – універсальна газова стала, 0,001987, ккал/моль·°К;

$T$  – абсолютна температура,  $T$  °К =  $t$  °С + 273,16.

Перетворимо рівняння (5.12) з метою виключення натурального логарифма:

$$\Delta G = -RT \cdot \frac{\lg K}{\lg e};$$
$$\lg K = -\lg e \cdot \frac{\Delta G}{RT} = -2,303 \cdot \frac{\Delta G}{RT}. \quad (5.13)$$

Константу рівноваги реакції знаходять за виразом, одержаним перетворенням (5.12):

$$K = \exp \frac{\Delta G}{RT}, \quad (5.14)$$

або за виразом, одержаним перетворенням (5.13):

$$K = 10^{-\frac{219,34 \cdot \Delta G}{T}}, \quad (5.15)$$

у т. ч. для стандартної термодинамічної температури 298,16°К (25°С):

$$K = 10^{-0,73565 \Delta G}. \quad (5.16)$$

Рівняння рівноваги знаходять із виразу для константи рівноваги, підставивши у нього (5.13):

$$K = \frac{[C]^c + [D]^d}{[A]^a + [B]^b}, \quad (5.17)$$

де  $[A]$ ,  $[B]$ ,  $[C]$ ,  $[D]$  – термодинамічна активність речовин (іонів), що дорівнює: для твердих речовин та рідин – 1; для розчинених речовин та іонів – концентрації  $C$  у моль/л (г-іон/л); для газів – парціальному тиску  $P$  в атм; для іона водню  $a \cdot \lg[H] = -a \cdot pH$ ;

$$10^{-\frac{219,34 \Delta G}{T}} = \frac{[C]^c + [D]^d}{[A]^a + [B]^b},$$

$$\lg \left( 10^{-\frac{219,34 \Delta G}{T}} \right) = \lg \left( \frac{[C]^c + [D]^d}{[A]^a + [B]^b} \right),$$

$$-219,34 \Delta G / T = c \cdot \lg[C] + d \cdot \lg[D] - a \cdot \lg[A] - b \cdot \lg[B];$$

$$c \cdot \lg[C] + d \cdot \lg[D] - a \cdot \lg[A] - b \cdot \lg[B] + 219,34 \Delta G / T = 0, \quad (5.18)$$

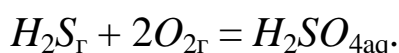
або для стандартної термодинамічної температури 298,16°К (25°С):

$$c \cdot \lg[C] + d \cdot \lg[D] - a \cdot \lg[A] - b \cdot \lg[B] + 0,73565 \Delta G = 0. \quad (5.19)$$

Рівняння рівноваги певної реакції одержують шляхом підстановки у (5.18) або (5.19) значень стехіометричних коефіцієнтів реакції, величини  $\Delta G$ , одержаної за (5.11), температури  $T$ .

За рівнянням рівноваги будують діаграми залежності термодинамічних концентрацій розчинених речовин і газів між собою. Лінія діаграми відповідає рівновазі між цими речовинами, при якій реакція не відбувається, і розділяє площину координат на поля стійкості, які відповідають прямій або зворотній реакції.

Наприклад, досліджено реакцію окислення газоподібного сірководню до розчиненої сірчаної кислоти, що здійснюється аеробними тіоновими бактеріями в конденсатній волозі на надводних поверхнях каналізаційних колекторів і призводить до їх інтенсивної мікробіологічної корозії (рис. 5.9):



Вільна енергія Гіббса цієї реакції  $\Delta G = -169,96$  ккал/моль; константа рівноваги  $K = 1,2 \times 10^{124}$ , рівняння рівноваги:

$$\lg[H_2SO_4] - \lg P_{H_2S} - \lg P_{O_2} - 124,1 = 0.$$

Діаграми цього рівняння з відповідними полями рівноваг наведені на рис. 5.10. Аналіз цих діаграм показав, що рівновага між сірководнем та сірчаною кислотою навіть при незначному парціальному тиску кисню досягається при настільки високих концентраціях сірчаної кислоти в конденсатній волозі, що в умовах каналізаційного колектора реакція окислення сірководню є термодинамічно незворотною.



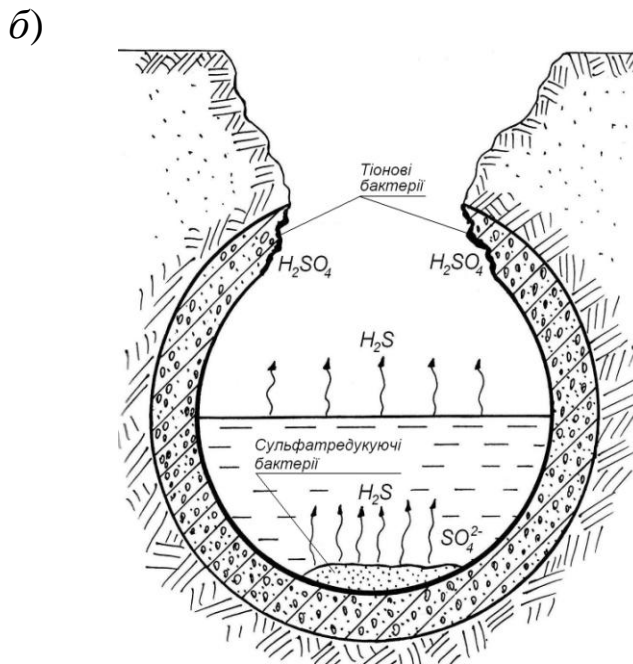


Рис. 5.9. Мікробіологічна корозія залізобетонного каналізаційного колектора: а – вигляд корозійного пошкодження надводних поверхонь з камери оглядового колодязя; б – схема корозії

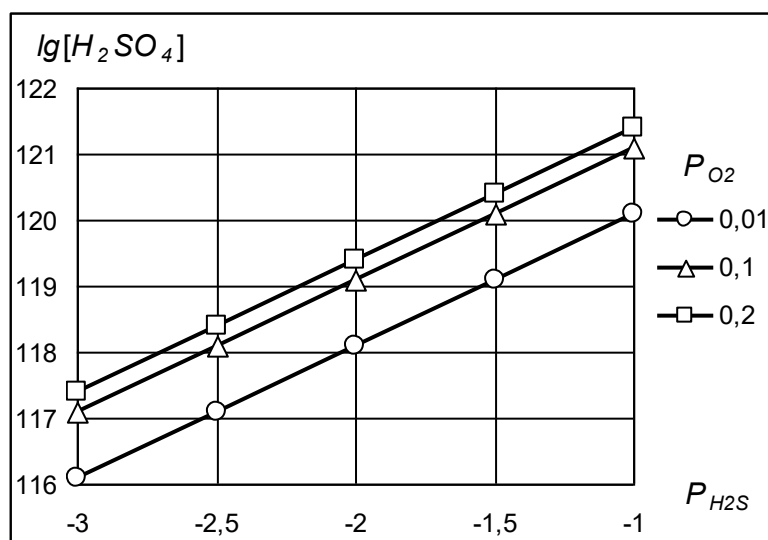


Рис.5.10. Діаграма рівноваги між газоподібним сірководнем  $H_2S_{г}$  і рідкою сірчаною кислотою  $H_2SO_{4aq}$  при різних значеннях парціального тиску кисню  $P_{O_2}$

### 5.4.3. Визначення можливості протікання окислювально-відновлювальної реакції за результатами аналізу хімічної рівноваги

Для гетерогенних окислювально-відновлювальних реакцій (5.10), що відбуваються за участю розчинів або газів, аналізують хімічні рівноваги між ними. Для цього застосовують залежність між константою рівноваги реакції  $K$  і окислювально-відновлювальними потенціалами:

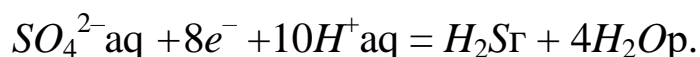
$$Eh = E^0 + \frac{RT}{nF} \lg K, \quad (5.20)$$

де  $Eh$ ,  $E^0$  – окислювально-відновлювальні потенціали: в даних і стандартних умовах, відповідно, В;  
 $F$  – число Фарадея,  $F = 23,06$  ккал/в-г-екв;

$$\frac{0,059}{n} (c \cdot \lg[C] + d \cdot \lg[D] - a \cdot \lg[A] - b \cdot \lg[B]) + \frac{\Delta G}{23,06 \cdot n} - Eh = 0. \quad (5.21)$$

Рівняння рівноваги певної реакції одержують шляхом підстановки у (5.21) кількості електронів  $n$ , що беруть участь у ній, значень стехіометричних коефіцієнтів, величини  $\Delta G$ , одержаної за (5.11), окислювально-відновлювального потенціалу середовища  $Eh$ .

Наприклад, досліджено реакцію сульфатредукції – відновлення сульфатів до сірководню, що здійснюється анаеробними сульфатредукуючими бактеріями в донних відкладеннях каналізаційних колекторів і призводить до інтенсивної мікробіологічної корозії їх надводної частини (рис. 5.9):



Вільна енергія Гіббса цієї реакції  $\Delta G = -57,06$  ккал/моль; константа рівноваги  $K = 6,8 \times 10^{41}$ , рівняння рівноваги

$$\lg P_{H_2S} - \lg [SO_4^{2-}] + 10\text{pH} - 135,1Eh - 41,8 = 0.$$

Діаграми цього рівняння з відповідними полями рівноваг наведені на рис. 5.11. Аналіз цих діаграм показав, що в умовах систем каналізації реакція сульфатредукції в стічній воді і донних відкладеннях буде протікати на ділянках з високою концентрацією сульфатів  $SO_4^{2-}$ , низьким парціальним тиском сірководню  $H_2S$  і тим активніше, чим нижче значення  $pH$  і вище значення окислювального потенціалу  $Eh$ .

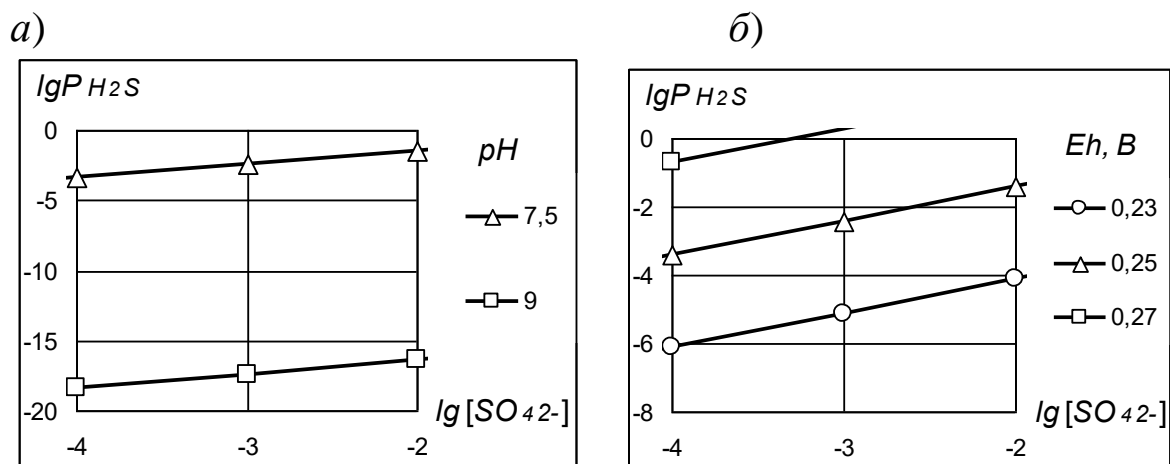


Рис. 5.11. Діаграми рівноваги між іонами  $SO_4^{2-}$ , що містяться у стічній воді, і газоподібним сірководнем  $H_2S$ :  
 а – при різних  $pH$  і  $Eh = 0,25$  В; б – при різних  $Eh$  і  $pH = 7,5$

## 5.5. Анкетування

Різновидом виробничого експерименту (п. 6.1), що здійснюється теоретичними методами, є збір і аналіз даних у виробничих установах. Ці дані містяться у виробничій документації підприємств: журналах лабораторних випробувань, журналах нагляду (книгах) штучних споруд, будівель і т. п.

Виробничий експеримент може бути проведений також шляхом анкетування – опитування фахівців. При цьому складається методика опитування і його результатів, розробляються форми анкет, анкети розповсюджуються по підприємствах і фахівцях, а після їх заповнення і одержання обробляються і аналізуються.

Наприклад, у складі комплексного дослідження причин виникнення тріщин у плитах безбаластного мостового полотна (рис. 5.6) ГНДЛ підрейкових основ і спецзалізобетону (п. 3.5) шляхом анкетування було проведено ранжування факторів (причин), що спричиняють виникнення тріщин. Було здійснено опитування шести науковців і дев'яти фахівців-експлуатаційників. Опитуваним фахівцям було запропоновано оцінити вплив кожного фактора у відсотках. Результати дослідження наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Ранжування різних факторів (причин) утворення тріщин в залізобетонних плитах безбаластного мостового полотна

1	Фактор виникнення тріщин в плитах безбаластного мостового полотна	Вплив фактора, %, на думку:		
		Науковців	фахівців-експлуатаційників	в середньому
2	3	4	5	
1	Непаралельність площадок для обпирання плит на подовжні балки мосту – «пропелерність»	12,3	19,6	15,9
2	Неякісне улаштування прокладного шару при монтажі	10,5	17,6	14,0
3	Недостатня ширина прокладного шару – 100 мм	16,0	9,7	12,8
4	Підвищена повзучість (повторювана швидконатікаюча) бетону внаслідок недосконалості його складу	18,3	3,1	10,7
5	Недотягування або перетягування високоміцних шпильок при монтажі та експлуатації плит	5,8	15,6	10,7
6	Недостатня міцність та однорідність бетону внаслідок недостатньої якості матеріалів (високий вміст пилюватих часток у деяких партіях щебеню, високий вміст кременистого гравію у піску, недостатня активність цементу деяких партій)	13,7	4,0	8,8

Продовження табл.. 5.1

1	2	3	4	5
7	Конструктивні особливості плит	0,8	10,6	5,7
8	Струми витоку на електрифікованих ділянках залізниць	9,2	0,0	4,6
9	Низька якість високоміцних шпильок	2,8	6,2	4,5
10	Неоднорідність бетону внаслідок недостатньої тривалості перемішування бетонної суміші	2,8	5,1	4,0
11	Недостатня міцність бетону плит внаслідок недостатньої об'єктивності даних неруйнівних методів контролю міцності	2,0	3,3	2,7
12	Інші	0,0	4,0	2,0
13	Неоднорідність бетону внаслідок неоднорідності розподілу температури в пропарювальній камері	2,8	0,8	1,8
14	Неякісне покриття плит захисними складами, відсутність герметизації швів	2,8	0,6	1,7
	Всього	100	100	100

### *Контрольні запитання*

1. На чому ґрунтується гіпотетичний метод дослідження?
2. На чому ґрунтується аксіоматичний метод дослідження?
3. На чому ґрунтується історичний метод дослідження?
4. Які є способи теоретичних досліджень?
5. Якими способами та методами проводять теоретичні дослідження об'єктів будівництва та фундаменту?
6. Що таке фізична модель? Навести приклади.
7. Що таке математична модель?
8. Що таке натурна модель?
9. Що таке розрахункові експерименти? Навести приклад.
10. У чому сутність термодинамічного методу досліджень твердіння і корозії цементних матеріалів?
11. Як за допомогою термодинамічного методу можна визначити можливість протікання хімічної реакції?
12. Як за допомогою термодинамічного методу можна визначити можливість протікання обмінної реакції?
13. Для чого і яким чином проводиться анкетування?

## 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 6.1. Загальні поняття і визначення

*Експеримент* – спостереження за об'єктом, предметом досліджень або їх моделлю. Основна мета експерименту – підтвердження або спростування висунутої гіпотези, у т. ч. з одержанням кількісних залежностей між різними характеристиками об'єкта і предмета досліджень. Експерименти можуть бути *пасивними* – природними і *активними* – штучними.

*Пасивний (природний) експеримент* – пасивне спостереження за об'єктом в умовах природних дій на нього. Цільові дії на об'єкт не створюються. Природний експеримент притаманний в основному суспільним наукам, геології, астрономії і т. п. В будівництві може застосовуватись, наприклад, для дослідження корозії матеріалів і конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах.

*Активний (штучний) експеримент* – активні цільові дії на об'єкт або його натурну модель і визначення результатів цих дій шляхом проведення *дослідів*.

*Розрахунковий експеримент* є активним, проте відноситься до теоретичних методів досліджень і полягає в активній дії на математичну модель об'єкта або предмета дослідження (п. 5.1, 5.3).

*Дослід* – здійснення дії *фактора* на об'єкт, предмет або їх модель і визначення *результату* цієї дії. Визначення величини результату і самого фактора здійснюється шляхом *вимірювань*, як правило, декількох.

*Фактор* – *вхід* експерименту, незалежна змінна  $x$  – характеристика дії на об'єкт, предмет або їх модель, яка може набувати певних, заздалегідь заданих значень.

*Результат* дії фактора – *вихід* експерименту  $y$ , який повинен оцінюватись чисельними величинами.

Основною гіпотезою науки про будівельні матеріали – будівельного матеріалознавства є залежність властивостей будівельних матеріалів (результатів) від складу, структури, технологічних і експлуатаційних дій (факторів).



Основною гіпотезою науки про будівельні конструкції є залежність показників несучої здатності конструкції, її деформацій від механічних властивостей матеріалу конструкції, її геометричних характеристик, навантаження.

Експерименти в цих будівельних науках спрямовані на встановлення і практичне застосування цих залежностей.

Приклади факторів і результатів експерименту наведені у табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Приклади факторів і результатів експерименту

Об'єкт і предмет дослідження	Фактори $x$ (входи)	Результати дії факторів $y$ (виходи)
1	2	3
Цемент, властивості цементного каменю	Вміст мінеральної добавки (шлаку, пуцолани і т. п.)	Активність цементу (міцність)
	Тонкість помелу	Рання міцність (у віці 2 доб)
Бетон, досягнення заданих властивостей при виготовленні	Водоцементне відношення $V/C$	Легкоукладальність бетонної суміші (рухливість, см; жорсткість, с)
	Вміст добавки $D/C$ , %	Міцність бетону, МПа:
	Тривалість твердіння, год, доб	- після тепловологісної обробки;
	Температура твердіння (тепловологісної обробки), °C	- у проектному віці (28 доб) Морозостійкість бетону (циклів) Водонепроникність бетону (ат)
Бетон, зміна властивостей при експлуатації	Розрахункова зимова температура повітря (визначає інтенсивність морозного руйнування)	Тривалість зберігання маси і міцності, р.
	Кількість циклів поперемінного заморожування – відтавання	Втрата маси, % Зниження міцності, %
	Вміст (концентрація) агресивних речовин у середовищі (грунтовій воді, повітрі)	Швидкість корозії, мм/р. Зменшення міцності у зоні корозії за рік (%/р.)
	Тривалість дії агресивного середовища, р.	Глибина корозії, мм Зниження міцності у зоні корозії, %

Продовження табл. 6.1

1	2	3
Сталева арматура, зміна властивостей при експлуатації	Вміст (концентрація) агресивних речовин у середовищі (грунтовій воді, повітрі)	Швидкість корозії, мм/р.
	Густина струму витoku з арматури, $\text{mA}/\text{mm}^2$	
	Тривалість дії агресивного середовища, струму витoku, р.	Зменшення площі перерізу арматури, $\text{mm}^2$
Залізобетонна конструкція, несуча здатність	Довжина прогону $l$ , м	Гранична сила, кН
	Висота перерізу, $h$ , мм	Граничний момент, кН·м
	Площа перерізу робочої арматури, $a$ , $\text{mm}^2$	Деформація конструкції $f$ , мм
	Навантаження, кН, кН/м, $\text{kN}/\text{m}^2$	Тріщиностійкість (навантаження, при якому утворились тріщини)
Залізнична колія: міцність, стійкість	Тип рейки (маса 1 пог.м, кг)	Подовжня сила в рейці, кН Напруження: в рейці; під підкладкою; під подошвою шпали; в основній площадці, МПа
	Епюра шпал, шт./км	
	Тип скріплення (зусилля притиску рейки до шпали, кН)	
	Навантаження від рухомого складу, кН/вісь	
	Температура, °С	

При експерименті досліди ставлять *серіями*, послідовно змінюючи значення величини фактора – *рівні* експерименту.

*Рівні* експерименту – різні значення фактора в послідовній серії дослідів.

Наприклад, при дослідженні впливу вмісту добавки Д/Ц (фактора) на ранню міцність бетону  $R$  (результат), послідовно задають значення Д/Ц 0;1;2;3;4;5 % (рівні).

Активні експерименти можуть бути *однофакторними* і *багатофакторними*.

*Однофакторний експеримент* полягає у визначенні дії одного фактора при стабільних значеннях інших факторів. Наприклад, для бетону досліджується вплив вмісту добавки (досліджуваного фактора) на його ранню міцність (результат) при

постійних значеннях  $V/C$ , температури і тривалості твердіння (стабільні фактори).

Якщо метою дослідження є визначення одночасної дії декількох факторів, а також їх взаємозв'язку, застосовують двофакторний або багатофакторний експеримент. *Двофакторний і багатофакторний експеримент* полягає у визначенні дії, відповідно, двох або більше факторів у їх взаємозв'язку.

Певний набір значень рівнів усіх факторів відповідає одному із можливих станів об'єкта дослідження і є умовою проведення одного із можливих дослідів.

*Пошуковий експеримент* – попередній, за допомогою якого уточнюються границі впливу фактора на результат.

*Лабораторне експериментальне дослідження* – експеримент в лабораторних умовах з натурними моделями.

*Виробничий експеримент* – експеримент у виробничих умовах над реальним об'єктом.

## 6.2. Методи експериментальних досліджень

*Метод експериментального дослідження* – послідовність його виконання і комплекс засобів для створення фактора і оцінки результату його дії.

Методи експериментальних досліджень можуть бути кількісними, якісними і напівкількісними.

*Кількісні методи* дозволяють одержувати числові значення результату експерименту, наприклад, значення міцності бетону  $R$  в залежності від факторів: вмісту добавки, температури і тривалості твердіння і т.п. (табл.6.1).

*Якісні методи* дозволяють одержувати як результат лише наявність або відсутність певного факту без його кількісних показників. Наприклад, фізико-хімічними методами (п. 6.2.4.1÷6.2.4.4) одержують дані про утворення або неутворення певної хімічної сполуки в залежності від кількісного співвідношення її складових. За результатами таких експериментів будують діаграми стану фізико-хімічних систем (п. 6.2.4.5), наприклад, систем  $CaO-SiO_2$  (рис.6.46),  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$  (рис. 6.47).

*Напівкількісні методи* дозволяють одержувати лише відносні, порівняльні показники результату експерименту вигляду, наприклад: «в системі  $A-B-C$  при концентрації складових  $A - a \%$ ,  $B - b \%$ ,  $C - c \%$  сполуки  $AB$  утворилось більше, ніж сполуки  $BC$ ».

Основні методи експериментальних досліджень, які застосовують в будівельному матеріалознавстві:

- методи фізико-механічних випробувань;
- фізичні методи;
- методи корозійних випробувань;
- фізико-хімічні методи;
- хімічний аналіз і т.п.

Фізико-механічні випробування, фізичні методи є кількісними.

Фізико-хімічні методи в основному є якісними або напівкількісними. Їх застосовують для дослідження структури, мінерального та хімічного складу продуктів твердіння в'язучих матеріалів, корозії будівельних матеріалів і т.п. Серед цих методів найбільш розповсюдженими є:

- мікроскопічний аналіз – світова і електронна мікроскопія;
- рентгенофазовий аналіз (РФА);
- інфрачервона спектроскопія (ІЧС);
- термічний аналіз: диференціальний термічний аналіз (ДТА), термогравіметрія, калориметрія;
- реологічні дослідження (є виключно кількісними).

### ***6.2.1. Фізико-механічні випробування***

*Фізико-механічні випробування* дозволяють визначати показники міцності та деформативності матеріалів: границю міцності на стиск і розтяг, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, міру повзучості і т. п. Фізико-механічні випробування проводять за стандартними методиками:

- ГОСТ 310.4 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии;
- ГОСТ 5802 Растворы строительные. Методы испытаний;
- ГОСТ 10180 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам;
- ГОСТ 24452 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона;

- ГОСТ 24544 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести і т.д.

**6.2.1.1. Визначення міцності бетону випробуванням зразків.** Методи визначення міцності (границі міцності) бетонів на стиск, осьовий розтяг, розтяг при розколюванні та розтяг при згині шляхом руйнівних короточасних статичних випробувань спеціально виготовлених зразків бетону встановлені ГОСТ 10180. Визначення міцності бетону полягає у вимірюванні мінімальних зусиль, що руйнують спеціально виготовлені зразки бетону при їх статичному навантаженні з постійною швидкістю зростання навантаження і подальшому обчисленні напруги при цих зусиллях в припущенні пружної роботи матеріалу.

Форма і розміри зразків у залежності від методу визначення міцності бетону повинні відповідати вказаним в табл. 6.2. Допускається застосовувати: для визначення міцності бетону на стиск – половинки зразків-призм, отриманих після випробування на розтяг при згині; куби, виготовлені в нерознімних формах з технологічним ухилом; зразки, відібрані із конструкцій згідно з ГОСТ 28570.

Таблиця 6.2

Зразки бетону для визначення міцності

Метод	Форма зразка	Розміри зразка, мм
Визначення міцності на стиск і на розтяг при розколюванні	Куб	Довжина ребра 100; 150; 200; 300; 70*
	Циліндр	Діаметр $d$ 100; 150; 200; 300; 70*; висота $h = 2d$
Визначення міцності на осьовий розтяг	Призма квадратного перерізу	100×100×400; 150×150×600; 200×200×800; 70×70×280*
	Циліндр	Діаметр $d$ 100; 150; 200; 300; 70*; висота $h = 2d$
	Вісімка* (рис. 6.1)	Поперечний переріз 100×100; 150×150; 200×200
Визначення міцності на розтяг при згині та при розколюванні	Призма квадратного перерізу	100×100×400; 150×150×600; 200×200×800

\*Допускається застосовувати.

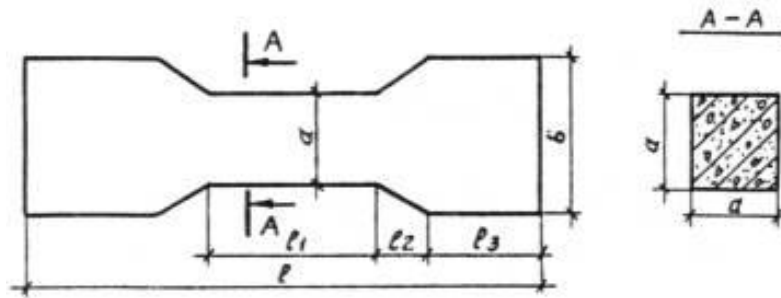


Рис. 6.1. Зразок-вісімка для визначення міцності бетону на осьовий розтяг

За базовий зразок при всіх видах випробувань слід приймати зразок з розміром робочого перерізу 150×150 мм. Розміри зразків у залежності від найбільшої номінальної крупності заповнювача в пробі бетонної суміші повинні відповідати вказаним в табл. 6.3.

Зразки виготовляють і випробовують серіями. Кількість зразків у серії приймають за табл. 6.4 в залежності від середнього внутрішньосерійного коефіцієнта варіації міцності бетону, розрахованого за дод. 2 ГОСТ 10180.

Таблиця 6.3

Розміри зразків бетону, мм

Найбільший номінальний розмір зерна заповнювача $d_{max}$	Найменший розмір зразка (ребра куба, сторони поперечного перерізу призми або вісімки, діаметра та висоти циліндра)
20 і менше	100
40	150
70	200
100	300

*Примітка.* При виготовленні зразків з бетонної суміші повинні бути видалені окремі зерна крупного заповнювача, розмір яких перевищує більш ніж в 1,5 рази найбільший номінальний розмір заповнювача, вказаний в табл.6.3, а також всі зерна заповнювача розміром понад 100 мм. При виготовленні зразків з мінімальним розміром 70 мм максимальна крупність заповнювача не повинна перевищувати 20 мм.



Таблиця 6.4

## Кількість зразків бетону в серії

Внутрішньосерійний коефіцієнт варіації, *	5 і менше	понад 5 до 8 включно	понад 8
Потрібна кількість зразків бетону в серії шт., не менше	2	3* або 4	6

\* При застосуванні форм типу 2ФК (двомісній – на два зразки) приймають чотири зразки в серії, а для форм типу 1ФК (одномісній) і 3ФК (тримісній) – три зразки.

**Виготовлення зразків бетону для визначення міцності**

Зразки бетону для лабораторних досліджень з метою вивчення впливу на властивості бетону різних технологічних факторів, його складу і т.п. слід виготовляти із спеціально приготованих лабораторних замісів бетонної суміші. Об'єм лабораторного замісу бетонної суміші повинен перевищувати потрібний для виготовлення всіх серій зразків одного складу не менше, ніж у 1,2 рази.

При виготовленні однієї або декількох серій зразків, призначених для визначення різних характеристик бетону одного складу, всі зразки слід виготовляти з одного лабораторного замісу бетонної суміші і ущільнювати їх в однакових умовах. Відхилення між собою значень середньої густини бетону окремих серій і середньої густини окремих зразків у кожній серії до моменту їх випробування не повинні перевищувати 50 кг/м<sup>3</sup>. При недотриманні цієї вимоги результати випробувань не враховують.

Лабораторний заміс бетонної суміші готують в бетонозмішувачі. Перед формуванням зразків бетонна суміш повинна бути додатково перемішана вручну. Бетонні суміші, що містять повітроутягуювальні і газотвірні добавки, а також попередньо розігріті суміші перед формуванням зразків додатково перемішувати не слід.

Зразки слід виготовляти в повірених формах, відповідних вимогам

ГОСТ 22685. Перед використанням форм їх внутрішні поверхні повинні бути покриті тонким шаром мастила, що не залишає плям на поверхні зразків і не впливає на властивості поверхневого шару бетону.

Укладання і ущільнення бетонної суміші слід проводити не пізніше, ніж через 20 хв після її приготування. Зразки формують таким чином: форми заповнюють бетонною сумішшю шарами заввишки не більше 100 мм. Кожен шар укладають штикуванням сталевим стержнем діаметром 16 мм із закругленим кінцем. Число натисків стержня розраховують з умови, щоб один натиск доводився на  $10 \text{ см}^2$  верхньої відкритої поверхні зразка, штикування виконують рівномірно по спіралі від країв форми до її середини.

При рухливості бетонної суміші менше 10 см або жорсткості 11 с і більше форму з укладеною бетонною сумішшю жорстко закріплюють на лабораторній віброплощині і додатково ущільнюють, вібуючи до повного ущільнення, що характеризується припиненням осідання бетонної суміші, вирівнюванням її поверхні, появою на ній тонкого шару цементного тіста і припиненням виділення бульбашок повітря.

При виготовленні зразків з бетонної суміші жорсткістю 11 с і більше на формі закріплюють насадку. Форму з насадкою жорстко закріплюють на лабораторній віброплощині, встановлюють на поверхню суміші привантаження, що забезпечує тиск  $4 \pm 0,5$  кПа, і вібують до припинення осідання привантаження плюс додатково  $5 \div 10$  с.

Після закінчення укладання і ущільнення бетонної суміші у формі верхню поверхню зразка загладжують кельмою або пластиною.

Зразки в циліндрових формах після загладження верхньої поверхні закривають кришками, кладуть на бічну сторону і зберігають в такому положенні до розпалублення.

Безпосередньо після виготовлення зразків на них повинне бути нанесене маркування. Маркування не повинне ушкоджувати зразок або впливати на результати випробування.

## Твердіння зразків бетону

Зразки, призначені для твердіння в нормальних умовах, після виготовлення до розпалублення зберігають у формах, покритих вологою тканиною або іншим матеріалом, що виключає можливість випаровування з них вологи, в приміщенні з температурою повітря  $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ .

При визначенні міцності бетону на стиск зразки розпалублюють не раніше ніж через 24 год для бетонів класу В7,5 (М100) і вище, і не раніше ніж через 48 год – для бетонів класу В5 (М75) і нижче, а також для бетонів з добавками, що уповільнюють їх твердіння в ранньому віці.

Після розпалублення зразки повинні бути поміщені в камеру, що забезпечує навколо поверхні зразків нормальні умови, тобто температуру  $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$  і відносну вологість повітря  $(95\pm 5)\%$ . Зразки укладають на підкладки так, щоб відстань між ними, а також між зразками і стінками камери була не менше 5 мм. Площа контакту зразка з підкладками, на яких він встановлений, не повинна складати більше 30 % площі опорної грані зразка. Зразки в камері нормального твердіння не повинні безпосередньо зрошуватися водою. Допускається зберігання зразків під шаром вологих піску, тирси або інших систематично зволожуваних гігроскопічних матеріалів.

Зразки, призначені для твердіння в умовах теплової обробки, повинні бути поміщені у формах в тепловий агрегат (пропарювальну камеру, автоклав) і твердіти там за прийнятним режимом або разом з конструкціями. Після закінчення теплової обробки зразки розпалублюють і випробовують або зберігають в нормальних умовах.

Зразки, призначені для твердіння в умовах, аналогічних умовам твердіння бетону в монолітних конструкціях, можуть твердіти або у формах, або в розпалубленому вигляді.

При транспортуванні зразків бетону необхідно оберігати їх від пошкоджень, зміни вологості і заморожування. Міцність бетону зразків на початок їх транспортування повинна бути не менше 2 МПа.

## Лабораторні прилади та обладнання для визначення міцності бетону

Устаткування для виготовлення зразків, засоби вимірювання, форми, випробувальне обладнання, прилади, пристрої, пристосування повинні відповідати дод. 3 ГОСТ 10180 і проходити метрологічну атестацію і перевірку у встановлені терміни в установленому порядку.

Основними видами обладнання для фізико-механічних випробувань бетону є:

- форми з кришками і насадками за ГОСТ 22685 для виготовлення зразків бетону (виробник – Сімферопольський механічний завод «Сантехпром» і т. д.);

- лабораторна віброплощадка типу 435А, СМЖ-539 або СМЖ-739 з частотою вертикальних коливань з формою, заповненою бетонною сумішшю  $(2900 \pm 100) \text{ хв}^{-1}$ ; амплітудою вертикальних коливань  $(0,5 \pm 0,05) \text{ мм}$  (виробник – Челябінське ВО «Строммашина»);

- лабораторна пропарювальна камера типу ЭК-1 з погрішністю підтримання заданої температури не більше  $2^\circ\text{C}$  в діапазоні від  $20$  до  $100^\circ\text{C}$ ;

- камера нормального твердіння, яка забезпечує температуру  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ , вологість повітря  $(95 \pm 5) \%$  і обладнана стелажми для установа зразків, що забезпечують зазор не менше  $5 \text{ мм}$  між зразками і стінками камери або прокладками;

- преси для випробувань на стиск за ГОСТ 8905 (рис. 6.2, а; виробник – Армавірське ВО «Точмашприбор»); типи пресів: П-2,5; П-5; П-10; П-50; П-125; П-250; П-500 з верхньою границею навантаження від  $25$  до  $5000 \text{ кН}$ ; силовимірники пресів (рис. 6.2, б) оснащені двома шкалами, одна з яких розрахована на максимальне зусилля, друга – на зусилля  $50 \%$  від максимального;

- розривні та універсальні випробувальні машини за ГОСТ 7855 (виробник – Армавірське ВО «Точмашприбор»).

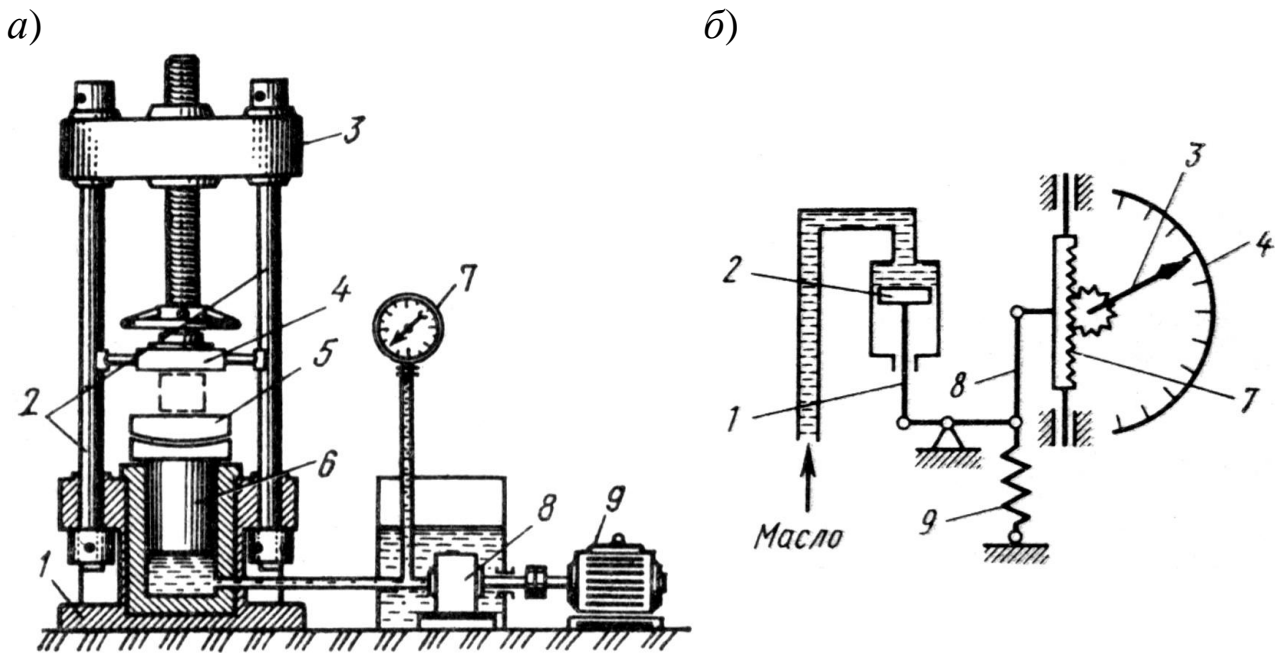


Рис. 6.2. Гідравлічний прес для випробування зразків на стиск:

- a* – схема : 1 – станина; 2 – стояки; 3 – траверса; 4, 5 – плити;  
 6 – поршень; 7 – силвимірювальний пристрій; 8 – насос;  
 9 – електродвигун; *б* – схема пружинного силвимірювального пристрою преса: 1 – шток; 2 – поршень; 3 – стрілка; 4 – шкала; 7 – рейка; 8 – тяга;  
 9 – пружина

### Підготування до випробувань зразків та умови їх проведення

У приміщенні для випробування зразків слід підтримувати температуру повітря в межах  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  і відносну вологість повітря не менше 55 %. У цих умовах зразки повинні бути витримані до випробування в розпалубленому вигляді впродовж не менше 24 год, якщо вони тверділи у воді, і впродовж не менше 4 год, якщо вони тверділи у повітряно-вологих умовах або в умовах теплової обробки.

Зразки, призначені для визначення передаточної або розпалублювальної міцності бетону на стиск в гарячому стані, слід випробовувати без попередньої витримки.

Перед випробуванням зразки піддають візуальному огляду, встановлюючи наявність дефектів у вигляді відколів ребер, раковин і чужорідних включень. Зразки, що мають тріщини, відколи ребер глибиною понад 10 мм, раковини діаметром понад

10 мм і глибиною понад 5 мм (окрім бетону крупнопористої структури), а також сліди розшарування і недоущільнення бетонної суміші, випробуванню не підлягають. Напливи бетону на ребрах опорних граней зразків повинні бути видалені напилком або абразивним каменем. Результати огляду записують в журнал випробувань.

На зразках вибирають і відзначають грані, до яких повинні бути прикладені зусилля при навантаженні. Опорні грані відформованих зразків-кубів, призначених для випробування на стиск, вибирають так, щоб стискна сила при випробуванні була направлена паралельно шарам укладання бетонної суміші у форми – «гранню, яка при формуванні була верхньою – до себе». Площина згину зразків-призм при випробуванні на розтяг при згині повинна бути паралельна шарам укладання.

Лінійні розміри зразків вимірюють з погрішністю не більше 1 %. Результати вимірювань лінійних розмірів зразків записують в журнал випробувань. При використанні для виготовлення зразків бетону повірених форм, лінійні розміри яких відповідають вимогам ГОСТ 22685, допускається не вимірювати лінійні розміри зразків, а приймати їх рівними вказаним у табл. 6.2.

Якщо опорні грані зразків-кубів або циліндрів непаралельні, то вони повинні бути вирівняні. Для вирівнювання опорних граней застосовують шліфування або нанесення шару швидкотвердіючого матеріалу товщиною не більше 3 мм і міцністю до моменту випробування не менше половини очікуваної міцності бетону зразка.

Перед випробуванням зразки зважують з метою визначення їх середньої густини за ГОСТ 12730.

### **Проведення випробувань бетону на міцність**

Всі зразки однієї серії повинні бути випробувані в розрахунковому віці впродовж не більше 1 год.

Шкалу силовимірника преса, випробувальної машини або установки вибирають з умови, що очікуване значення руйнівного навантаження повинно бути в інтервалі 20÷80% максимального навантаження, що допускається обраною шкалою.



Перед установленням зразка на прес видаляють частинки бетону, що залишилися від попереднього випробування на опорних плитах преса.

При випробуванні на стиск зразки-куби і циліндри встановлюють однією з обраних граней на нижню опорну плиту преса центрально щодо його подовжньої осі, використовуючи риски, нанесені на плиту преса. Між плитами преса і опорними поверхнями зразка допускається прокладати додаткові сталеві опорні плити. Зразки-половинки призм при випробуванні на стиск поміщають між двома додатковими сталевими плитами. Додаткові плити центрують щодо осі преса.

Після установлення зразка суміщають верхню плиту преса з верхньою опорною гранню зразка (додатковою сталевією плитою) так, щоб їх площини повністю прилягали одна до іншої, і починають навантаження.

Навантаження зразків проводять безперервно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункової напруги в зразку до його повного руйнування в межах  $(0,6 \pm 0,4)$  МПа/с при випробуваннях на стиск. При цьому тривалість навантаження одного зразка повинна бути не меншою 30 с.

Максимальне зусилля, досягнуте в процесі випробування, приймають за руйнівне навантаження і записують його в журнал випробувань.

Зруйнований зразок необхідно піддати візуальному огляду на предмет виявлення: характеру руйнування (рис. 6.3, 6.4); наявності великих (об'ємом понад  $1 \text{ см}^3$ ) раковин і каверн усередині зразка; наявності зерен заповнювача розміром понад  $1,5d_{max}$  (рис. 6.4, в); грудок глини, слідів розшарування. У разі руйнування зразка за однією з дефектних схем (рис. 6.3, б÷д) при визначенні середньої міцності серії цей результат не враховують. Результати випробувань зразків, що мають перераховані дефекти структури і характер руйнування, також не слід враховувати.

Випробування на розтяг при згині, на розтяг при розколюванні, на осьовий розтяг проводять згідно з відповідними методиками ГОСТ 10180.

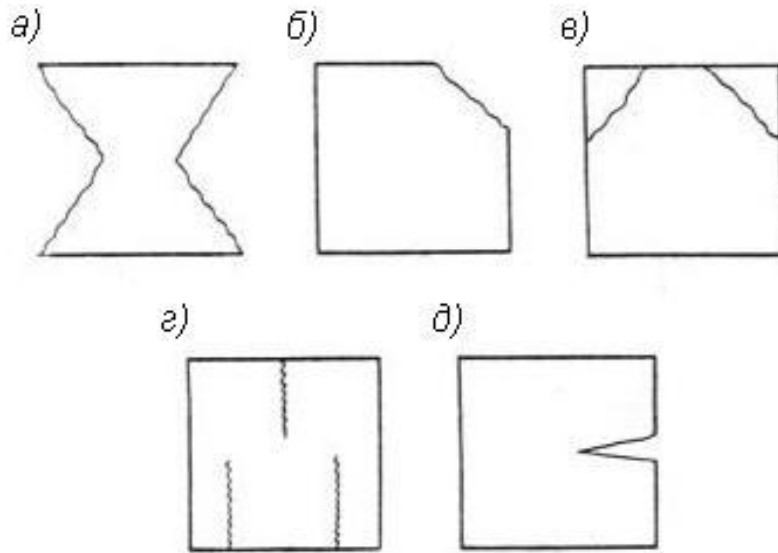


Рис.6.3. Схема характеру руйнуванні зразків при випробування на стиск:  
*a* – нормальне руйнування; *б÷д* – дефектні руйнування

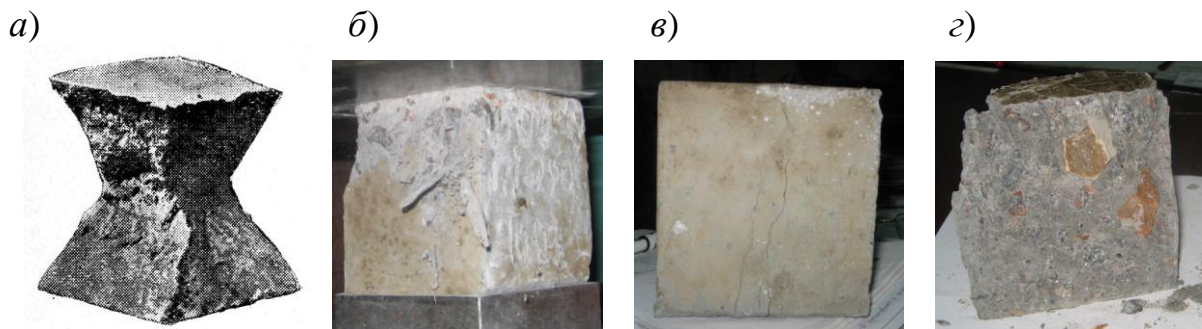


Рис.6.4. Характер руйнування зразків при випробуванні на стиск:  
*a* – нормальне руйнування (рис.6.3, *a*); *б* – дефектне руйнування (рис. 6.3, *б, в*); *в* – дефектне руйнування (рис. 6.3, *в*); *д* – наявність зерен крупного заповнювача розміром 30÷40 мм, що перевищує  $1,5d_{max} = 1,5 \times 20 = 30$  мм для щебеню фракції 5÷20 мм

### Обробка і оцінка результатів випробувань бетону на міцність

Міцність на стиск  $R$  всіх видів бетонів, окрім ніздрюватого, слід обчислювати з точністю до 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) за формулою

$$R = \alpha F/A, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)}, \quad (6.1)$$

де  $\alpha$  – масштабний коефіцієнт для приведення міцності бетону до міцності бетону в зразках базового розміру;

$F$  – руйнівне навантаження, Н (кгс);

$A$  – площа робочого перетину зразка, мм<sup>2</sup>, (см<sup>2</sup>).

Значення масштабного коефіцієнта  $\alpha$  слід визначати експериментально за методикою, наведеною в дод. 11 ГОСТ 10180. Допускається значення масштабного коефіцієнта приймати за табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Масштабні коефіцієнти для приведення міцності на стиск всіх видів бетонів, крім ніздрюватого, до міцності бетону в зразках базового розміру

Куб (ребро), мм	$\alpha$	Циліндр діаметром і висотою, мм	$\alpha$
70	0,85		
100	0,95	100×200	1,16
150	1,00	150×300	1,20
200	1,05	200×400	1,24
300	1,10		
300×600	1,28		

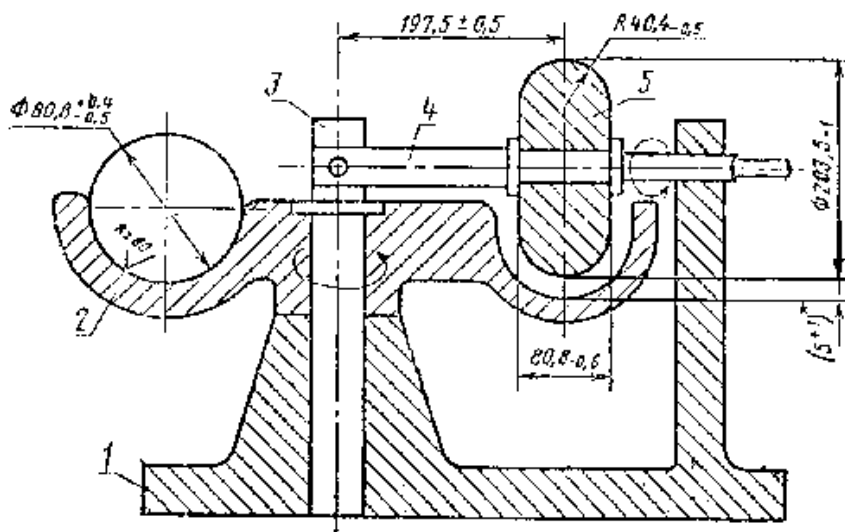
*Примітка.* Застосування експериментальних масштабних коефіцієнтів, що відрізняються від одиниці у бік збільшення або зменшення більш, ніж це вказано в табл.6.5, не допускається.

**6.2.1.2. Визначення міцності цементу.** Визначуваною міцністю цементу є міцність цементно-піщаного розчину з нього, виготовленого і випробуваного відповідно до ГОСТ 310.4. Методику ГОСТ 310.4 застосовують не тільки при стандартних випробуваннях цементу, а й для дослідження впливу таких факторів, як вміст хімічних і мінеральних добавок, температура і тривалість твердіння на міцність цементного каменю і розчину і т. п.

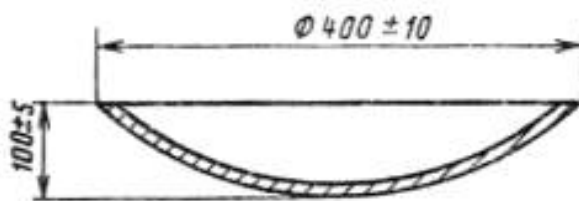
**Застосовувана апаратура:**

- мішалка для перемішування цементного розчину – лопатева або бігункова (рис. 6.5, а);

a)



б)



в)

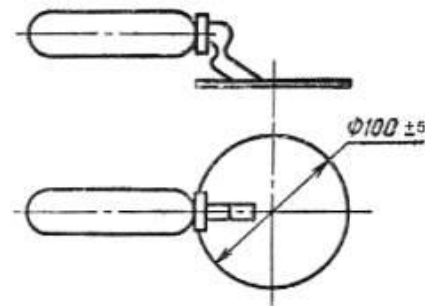


Рис.6.5. Обладнання та інструмент для перемішування цементного розчину:

а – бігункова мішалка: 1 – основа; 2 – чаша; 3 – вісь чаші; 4 – вісь бігунка; 5 – бігунок. Швидкість обертання чаші –  $8 \pm 0,5$  об./хв валика мішалки –  $72 \pm 5$  об./хв; кількість обертів при перемішуванні проби – 20, після чого мішалка автоматично вимикається; б – чаша; в – лопатка

- чаша для замішування і лопатка для перемішування цементного розчину (рис. 6.5, б, в);
- струшувальний столик, форма-конус і штиковка (рис. 6.6, 6.7);
- форми для виготовлення зразків-балочок (рис. 6.8);
- насадка до форм (рис. 6.9);
- вібраційна площадка для ущільнення цементного розчину у формах – повинна мати вертикальні коливання з амплітудою  $(0,35 \pm 0,03)$  мм, частотою  $3000_{-200}$  у хвилину і бути укомплектована реле часу;

- прилад для випробування на згин зразків-балочок – будь-якої конструкції, з середньою швидкістю зростання випробувального навантаження  $(0,05 \pm 0,01)$  кН/с або  $(0,12 \pm 0,02)$  МПа/с у перерахунку на одиницю площі приведенного перерізу балочки (рис. 6.10);

- прес для визначення границі міцності на стиск – будь-якої конструкції з граничним навантаженням до 500 кН, що задовольняє вимоги ГОСТ 28840, забезпечує вантаження зразка в режимі чистого стиску, має одну рухому шарову опору для компенсації просторової непаралельності опорних граней зразка і оснащений пристосуванням для центрованого устанавлення натискних пластинок, що передають навантаження на зразок;

- пластинки для передавання навантаження (рис. 6.11);

- пропарювальна камера.

Апаратура повинна бути повірена у встановленому порядку.

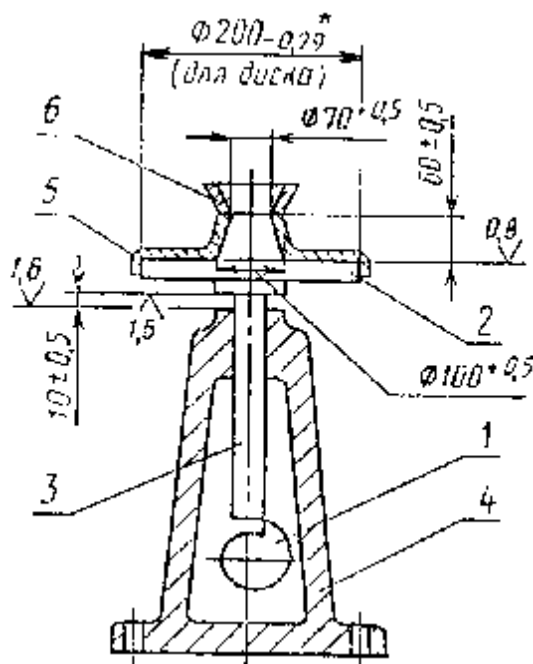


Рис. 6.6. Струшувальний столик і форма-конус:

1 – кулачок; 2 – диск із корозійностійкого металу із шліфованою робочою поверхнею; 3 – шток; 4 – станина; 5 – форма-конус з центрувальним пристроєм із корозійностійкого матеріалу; 6 – насадка із корозійностійкого матеріалу  
Принцип дії: кулачок отримує рух від привода, переміщує рухливу частину масою  $(3500 \pm 100)$  г – шток із диском, які піднімаються на висоту  $(10 \pm 0,5)$  мм і потім здійснюють вільне падіння до удару об нерухому перепону – станину.

Кількість струшувань за робочий цикл – 30 з періодичністю одне струшування за секунду

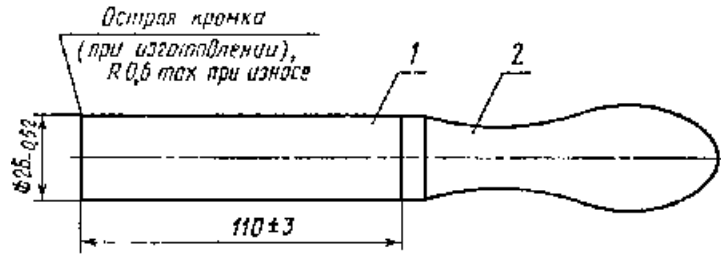


Рис. 6.7. Сталева штыковка для ущільнення розчину в формі-конусі:

1 – стержень; 2 – рукоятка

Маса штыковки –  $(350 \pm 20)$  г

Твердість сталі – не менше 45 HRC

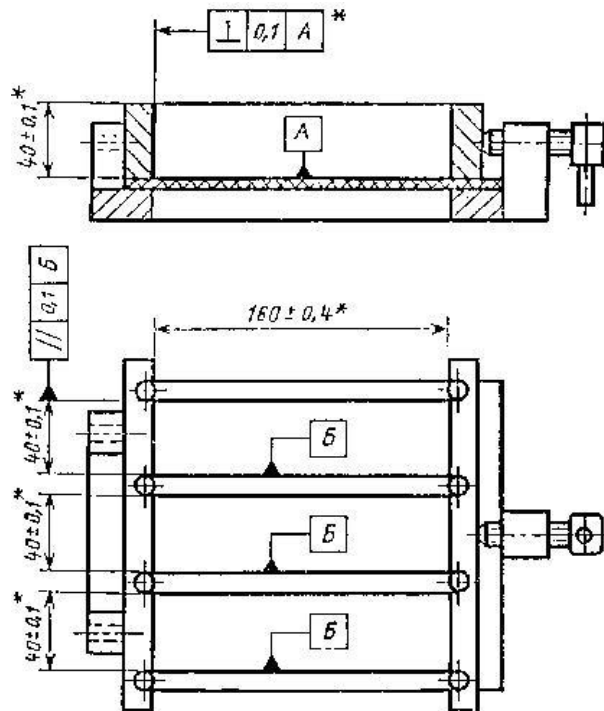


Рис. 6.8. Форма для виготовлення зразків-балочок – рознімна, з подовжніми і поперечними стінками, які щільно прилягають одна до одної і до піддона для запобігання витікання води із форми



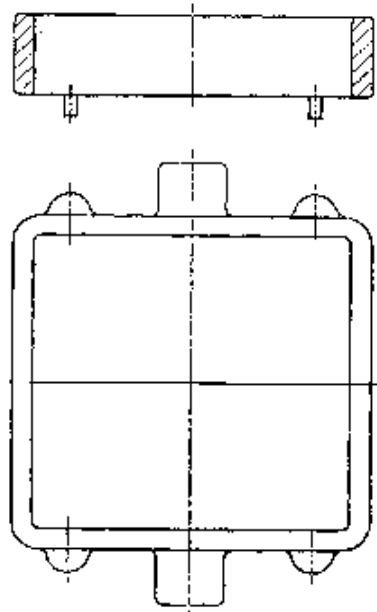


Рис. 6.9. Насадка до форми балочок – повинна забезпечувати щільне притискання стінок форми до її основи і форми в цілому до столу вібраційної площадки. Вікно насадки за розмірами повинно відповідати внутрішньому контуру форми. Допускається насадка з розділювальними перегородками

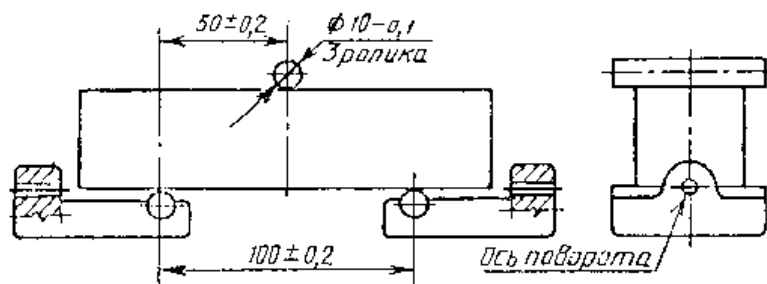


Рис. 6.10. Опорні елементи приладу для випробування на згин і схема розташування зразка-балочки на них.

Опорні елементи циліндричні із сталі твердістю  $56 \div 61 \text{ HRC}$ , нижні елементи повинні мати можливість обертання відносно горизонтальної осі, що лежить на нижній опорній площині зразка і є віссю її подовжньої симетрії

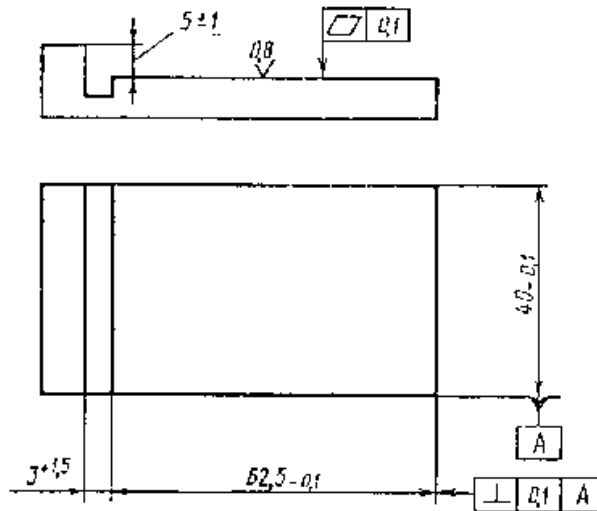


Рис. 6.11. Натискна пластинка для передавання навантаження на половинки зразків-балочок із сталі твердістю 56÷61 HRC<sub>3</sub>

### Визначення консистенції цементного розчину

Для визначення консистенції цементного розчину зважують 1500 г нормального піску за ГОСТ 6139, 500 г цементу і 200 г води ( $B/C=0,40$ ). Компоненти завантажують в заздалегідь протерту вологою тканиною чашу лопатевої мішалки в такій послідовності: пісок, вода, цемент. Чашу встановлюють на лопатеву мішалку і проводять перемішування протягом  $(120 \pm 10)$  с.

При використанні бігункової мішалки зважені пісок і цемент висипають в заздалегідь протерту мокрою тканиною сферичну чашу, перемішують цемент з піском лопаткою впродовж 1 хв. Потім в центрі сухої суміші роблять лунку, вливають в неї воду в кількості 200 г, дають воді увібратися протягом 0,5 хв і перемішують суміш впродовж 1 хв. Розчин переносять в заздалегідь протерту мокрою тканиною чашу мішалки і перемішують в останній протягом 2,5 хв (20 оборотів чаші мішалки).

Форму-конус з центруючим пристроєм встановлюють на диск струшувального столика. Внутрішню поверхню конуса і диск столика перед випробуванням протирають вологою тканиною.

Після закінчення перемішування заповнюють розчином форму-конус на половину висоти і ущільнюють 15 штикуваннями штиковкою. Потім наповнюють конус розчином з невеликим надлишком і штикують 10 разів. Після ущільнення верхнього шару надлишок розчину видаляють ножом, розташованим під невеликим кутом до торцевої поверхні конуса, заглажуючи з натиском розчин врівні з краями конуса, потім конус знімають у вертикальному напрямі. Ніж заздалегідь протирають вологою тканиною.

Розчин струшують на столику 30 разів за  $(30 \pm 5)$  с, після чого штангенциркулем вимірюють діаметр конуса по нижній основі у двох взаємно перпендикулярних напрямках і беруть середнє значення. Розплив конуса з  $B/C=0,40$  повинен бути в межах  $106 \div 115$  мм. Якщо розплив конуса виявиться менший 106 мм, кількість води збільшують до отримання розплива конуса  $106 \div 108$  мм. Якщо розплив конуса виявиться більший 115 мм, кількість води зменшують для отримання розпливу конуса  $113 \div 115$  мм. Водоцементне відношення, яке забезпечило розплив конуса  $106 \div 115$  мм, приймають для проведення подальших випробувань.

### **Виготовлення зразків-балочок**

Для визначення міцнісних характеристик цементів виготовляють зразки-балочки з цементного розчину з консистенцією, що характеризується розпливом конуса  $106 \div 115$  мм. Для кожного встановленого терміну випробувань виготовляють по три зразки (одна форма).

Безпосередньо перед виготовленням зразків внутрішню поверхню стінок форм і піддона злегка змащують машинним маслом. Стики зовнішніх стінок один з одним і з піддоном форми промазують тонким шаром солідолу або іншого густого мастила. На складену форму встановлюють насадку і промазують зовні густим мастилом стик між формою і насадкою. Для ущільнення розчину форму балочок з насадкою закріплюють в центрі віброплощадки, щільно притискуючи її до плити. Форму по висоті наповнюють приблизно на 1 см розчином і вмикають вібраційну площадку. Протягом перших 2 хв вібрації всі три

гнізда форми рівномірно невеликими порціями заповнюють розчином. Після закінчення 3 хв від початку вібрації віброплощадку вимикають. Форму знімають з віброплощадки і надлишок розчину видаляють ножем, розташованим під невеликим кутом до поверхні укладання, заглажуючи з натиском розчин врівні з краями форми. Зразки маркують. Ніж повинен бути заздалегідь протертий вологою тканиною.

Після виготовлення зразки у формах зберігають  $(24 \pm 1)$  год у ванні з гідравлічним затвором або в шафі, що забезпечує відносну вологість повітря не менше 90 %. Після закінчення  $(24 \pm 1)$  год зразки обережно розпалублюють і укладають у ванни з питною водою в горизонтальному положенні так, щоб вони не торкалися один одного. Вода повинна покривати зразки не менше ніж на 2 см. Температура води повинна бути  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Воду замінюють кожні 14 діб.

Зразки, що мають через  $(24 \pm 1)$  год міцність, недостатню для їх розпалублення без пошкодження, допускається видаляти з форми через  $(48 \pm 2)$  год, вказуючи цей термін в робочому журналі.

Після закінчення терміну зберігання зразки видаляють із води і не пізніше ніж через 30 хв піддають випробуванню. Безпосередньо перед випробуванням зразки повинні бути витерті.

### **Визначення границі міцності при згині**

Зразок встановлюють на опорні елементи приладу так, щоб його горизонтальні при виготовленні грані знаходилися у вертикальному положенні (рис. 6.10). Зразки випробовують згідно з інструкцією до приладу. Границю міцності при згині обчислюють як середнє арифметичне двох найбільших результатів випробування трьох зразків.

### **Визначення границі міцності на стиск**

Отримані після випробування на згин шість половинок балочок відразу ж піддають випробуванню на стиск. Половинку балочки поміщають між двома пластинками так, щоб бічні грані, які при виготовленні прилягали до стінок форми, знаходилися на поверхні пластинок, а упори пластинок щільно прилягали до

торцевої гладкої грані зразка (рис. 6.12). Зразок разом з пластинками центрують на опорній плиті преса. Середня швидкість зростання навантаження при випробуванні повинна бути  $(2,0 \pm 0,5)$  МПа/с.

Границю міцності при стиску окремого зразка обчислюють як частку від ділення величини руйнівного навантаження в кілограм-сила (кгс) на робочу площу пластинки  $25 \text{ см}^2$ . Границю міцності при стиску обчислюють як середнє арифметичне значення чотирьох найбільших результатів випробування шести зразків.

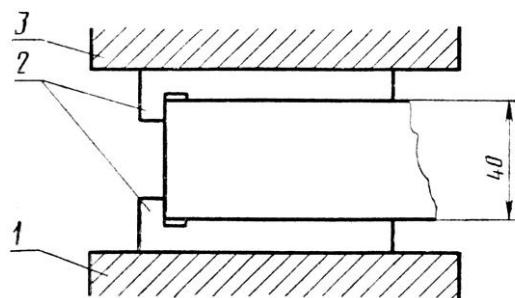


Рис.6. 12. Положення зразка між натискними пластинками при випробуванні на стиск:

1 – нижня плита преса; 2 – пластинки; 3 – верхня плита преса

### **Визначення міцності цементу при пропарюванні**

Виготовлення зразків проводять в указаному порядку. Для оберігання поверхні зразка від потрапляння конденсату при пропарюванні форми накривають пластинами, що виготовлені з корозійностійких матеріалів і не чинять тиску на зразки. Форми із зразками поміщають в пропарювальну камеру, де витримують протягом  $(120 \pm 10)$  хв при температурі  $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$  (при вимкненому підігріві).

Пропарювання проводять за таким режимом:

- рівномірний підйом температури до  $(85 \pm 5)^\circ\text{C}$  –  $(180 \pm 10)$  хв;
- ізотермічне прогрівання при температурі  $(85 \pm 5)^\circ\text{C}$  –  $(360 \pm 10)$  хв;
- охолодження зразків при вимкненому підігріві –  $(120 \pm 10)$  хв.

Потім відкривають кришку камери. Через  $(24 \pm 2)$  год з моменту виготовлення зразки розпалублюють і одразу ж випробовують в указаному порядку.

### **6.2.2. Фізичні методи досліджень матеріалів**

Найважливіші фізичні властивості будівельних матеріалів, зокрема, бетону, – густину, вологість, водопоглинання, пористість, водонепроникність, морозостійкість, безнапірну водопроникність визначають за стандартними методиками:

- ГОСТ 12730.0 Бетони. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости, водонепроницаемости;

- ГОСТ 12730.1 Бетоны. Методы определения плотности;

- ГОСТ 12730.2 Бетоны. Метод определения влажности;

- ГОСТ 12730.3 Бетоны. Метод определения водопоглощения;

- ГОСТ 12730.4 Бетоны. Методы определения показателей пористости;

- ГОСТ 12730.5 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости;

- ДСТУ Б В.2.7-47 (ГОСТ 10060.0) Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги;

- ДСТУ Б В.2.7-48 (ГОСТ 10060.1) Бетони. Базовий (перший) метод визначення морозостійкості;

- ДСТУ Б В.2.7-49 (ГОСТ 10060.2) Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні;

- ДСТУ Б В.2.7-50-96 (ГОСТ 10060.3-95). Бетони. Дилатометричний метод прискореного визначення морозостійкості;

- ДСТУ Б В.2.7-51-96 (ГОСТ 10060.4-95). Бетони. Структурно-механічний метод прискореного визначення морозостійкості.

**6.2.2.1. Визначення середньої густини бетону здійснюють за ГОСТ 12730.1 шляхом випробування зразків. Застосовувана для цього апаратура: ваги технічні ГОСТ 16474; шафа сушильна за ГОСТ 13474; штангенциркуль за ГОСТ 166; лінійки сталеві за ГОСТ 427. Зразки випробовують серіями по три шт.**

Середню густину бетону визначають випробуванням зразків в стані природної вологості або нормованому вологісному стані: сухому, повітряно-сухому, нормальному, водонасиченому.

При визначенні середньої густини бетону в стані природної вологості зразки випробовують відразу ж після їх відбору або зберігають в паронепроникній упаковці або герметичній тарі, об'єм якої перевищує об'єм укладених в неї зразків не більше ніж у два рази.

Середню густину бетону при нормованому вологісному стані визначають випробуванням зразків бетону, що мають нормовану вологість або довільну вологість, з подальшим перерахунком отриманих результатів на нормовану вологість.

При визначенні середньої густини бетону в сухому стані зразки висушують до постійної маси відповідно до вимог ГОСТ 12730.2.

При визначенні середньої густини бетону в повітряно-сухому стані зразки перед випробуванням витримують не менше 28 діб в приміщенні при температурі  $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$  і відносній вологості повітря  $(50 \pm 20)\%$ .

При визначенні середньої густини бетону в нормальних вологісних умовах зразки зберігають 28 діб в камері нормального твердіння, ексикаторі або іншій герметичній ємності при відносній вологості повітря не менше 95 % і температурі  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

При визначенні середньої густини бетону у водонасиченому стані зразки насичають водою відповідно до вимог ГОСТ 12730.3.

Об'єм зразків правильної форми обчислюють за їх геометричними розмірами. Розміри зразків визначають лінійкою або штангенциркулем з погрішністю не більше 1 мм за методикою ГОСТ 10180. Об'єм зразків неправильної форми визначають за допомогою об'ємоміра або гідростатичного зважування згідно з методикою, викладеною у дод. ГОСТ 12730.2.

Масу зразків визначають зважуванням з погрішністю не більш 0,1 %.



Середню густину бетону зразка  $\rho_w$  обчислюють з погрішністю до  $1 \text{ кг/м}^3$  за формулою

$$\rho_w = \frac{m}{V} \cdot 1000, \text{ кг/м}^3, \quad (6.2)$$

де  $m$  – маса зразка, г;  
 $V$  – об’єм зразка,  $\text{см}^3$ .

Середню густину бетону серії зразків обчислюють як середнє арифметичне результатів випробування всіх зразків серії.

Якщо визначення середньої густини і міцності бетону проводять випробуванням одних і тих же зразків, то зразки, відбраковані при визначенні міцності бетону, не враховують при визначенні його середньої густини.

Середню густину бетону при нормованому вологісному стані  $\rho_n$  в кілограм на метр кубічний ( $\text{кг/м}^3$ ) обчислюють за формулою

$$\rho_n = \frac{1 + W_n / 100}{1 + W_m / 100}, \text{ кг/м}^3, \quad (6.3)$$

де  $\rho_w$  – середня густина бетону при вологості  $W_m$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;

$W_n$  – нормована вологість бетону %;

$W_m$  – вологість бетону в момент випробування, визначена за ГОСТ 12730.2, %.

**6.2.2.2. Визначення вологості бетону** здійснюють за ГОСТ 12730.2 шляхом випробування зразків. Застосовувані апаратура і реактиви: ваги лабораторні ГОСТ 16474; шафа сушильна за ГОСТ 13474; ексікатор за ГОСТ 6371; сталеві деки; кальцій хлористий за ГОСТ 450. Зразки випробують серіями по 3 шт.

Вологість бетону визначають випробуванням зразків або проб, отриманих дробленням зразків після їх випробування на міцність або видалених з готових виробів чи конструкцій.

Найбільша крупність роздроблених шматків бетону повинна бути: для важких бетонів і бетонів на пористих заповнювачах – не більше максимального розміру зерен заповнювачів; для дрібнозернистих бетонів (включаючи комірчасті і силікатні) – не більше 5 мм. З роздробленого матеріалу шляхом квартування відбирають усереднену пробу масою не менше: 1000 г – для важких бетонів і бетонів на пористих заповнювачах; 100 г – для комірчастих, силікатних і дрібнозернистих бетонів. Дроблять і зважують зразки або проби відразу ж після відбору або зберігають в паронепроникній упаковці або герметичній тарі, об'єм якої перевищує об'єм укладених в неї зразків не більше, ніж у два рази.

Підготовлені проби або зразки зважують, ставлять в сушильну шафу і висушують до постійної маси при температурі  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Постійною вважають масу проби (зразка), при якій результати двох послідовних зважувань відрізняються не більше ніж на 0,1 %. При цьому час між зважуваннями повинен бути не менше 4 год. Перед повторним зважуванням проби (зразки) охолоджують в ексікаторі з безводним хлористим кальцієм або разом з сушильною шафою до кімнатної температури. Зважування проводять з погрішністю до 0,01 г.

Вологість бетону проби (зразка) за масою  $W_m$ , % обчислюють з погрішністю до 0,1% за формулою

$$W_m = \frac{m_e - m_c}{m_c} \cdot 100, \%, \quad (6.4)$$

де  $m_e$  – маса проби (зразка) бетону до сушіння, г;

$m_c$  – маса проби (зразка) бетону після сушіння, г.

Вологість бетону проби (зразка) за об'ємом  $W_o$ , % обчислюють з погрішністю до 0,1% за формулою

$$W_o = \frac{W_m \rho_0}{\rho_e}, \%, \quad (6.5)$$

де  $\rho_0$  – середня густина сухого бетону, визначена за ГОСТ 12730.1, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_в$  – густина води, 1 г/см<sup>3</sup>.

Вологість бетону серії проб (зразків) визначають як середнє арифметичне результатів визначення вологості окремих проб (зразків) бетону.

**6.2.2.3. Визначення водопоглинання бетону** здійснюють за ГОСТ 12730.3 шляхом випробування зразків. Застосовувана апаратура і матеріали: ваги лабораторні за ГОСТ 24104 або ваги настільні за ГОСТ 23711; шафа сушильна за ГОСТ 13474; ємність для насичення зразків водою; дротяна щітка або абразивний камінь. Зразки випробовують серіями по три шт.

Поверхню зразків очищають від пилу, бруду та залишків мастила за допомогою дротяної щітки або абразивного каменя. Випробування зразків проводять у стані природної вологості або висушених до постійної маси.

Зразки поміщають в ємність, наповнену водою з таким розрахунком, щоб рівень води в ємності був вищий за верхній рівень укладених зразків приблизно на 50 мм. Зразки укладають на прокладки так, щоб висота зразка була мінімальною (призми і циліндри укладають на бік). Температура води в ємності повинна бути  $(20 \pm 2)$  °С.

Зразки зважують через кожних 24 год водопоглинання з погрішністю не більше 0,1 %. При зважуванні на звичайних вагах зразки, вийняті з води, заздалегідь витирають відтиснутою вологою тканиною. Масу води, що витекла з пор зразка на чашку вагів, слід включати в масу насиченого зразка. Випробування проводять до тих пір, поки результати двох послідовних зважувань відрізнятимуться не більше ніж на 0,1 %. Зразки, що випробовуються в стані природної вологості, після закінчення процесу водонасичення висушують до постійної маси.

Водопоглинання бетону окремого зразка за масою  $W_m$  у відсотках визначають з погрішністю до 0,1 % за формулою

$$W_m = \frac{m_e - m_c}{m_c} \cdot 100, \%, \quad (6.6)$$

де  $m_c$  – маса висушеного зразка, г;

$m_e$  – маса водонасиченого зразка, г.

Водопоглинання бетону окремого зразка за об'ємом  $W_o$  у відсотках визначають з погрішністю до 0,1 % за формулою

$$W_o = \frac{W_m \rho_0}{\rho_e}, \%, \quad (6.7)$$

де  $\rho_0$  – густина сухого бетону, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_e$  – густина води, 1 г/см<sup>3</sup>.

Водопоглинання бетону серії зразків визначають як середнє арифметичне результатів випробувань окремих зразків у серії.

**6.2.2.4. Дослідження пористості бетону** здійснюють за ГОСТ 12730.4 за результатами визначення їх густини, водопоглинання і сорбційної вологості за ГОСТ 12730.1, ГОСТ 12730.3 і ГОСТ 12852.6, відповідно.

Повну пористість бетону серії зразків  $\Pi_n$  визначають з погрішністю до 0,1 % за формулою

$$\Pi_n = \frac{\rho_b - \rho_0}{\rho_b} \cdot 100, \%, \quad (6.8)$$

де  $\rho_b$  – істинна густина подрібненого в порошок бетону, визначена за допомогою пікнометра або приладу Ле-Шательє за методикою ГОСТ 8269, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_0$  – середня густина сухого бетону в серії зразків, визначена за ГОСТ 12730.1, кг/м<sup>3</sup>.

Відкриту капілярну пористість бетону в серії зразків  $\Pi_o$  визначають за формулою

$$P_o = W_o, \%, \quad (6.9)$$

де  $W_o$  – об’ємне водопоглинання бетону в серії зразків, визначене за ГОСТ 12730.3, %.

Для визначення відкритої некапілярної пористості бетону зразки насищають у воді протягом 24 год за ГОСТ 12730.3, потім витримують 10 хв на решітці, після чого визначають їх об’єм  $V_1$ , см<sup>3</sup>, в об’ємомірі за ГОСТ 12730.1 (без попереднього висушування і парафінування).

Відкриту некапілярну пористість бетону в окремих зразках  $P_{мз}$  визначають за формулою

$$P_{мз} = \frac{V - V_1}{V} \cdot 100, \%, \quad (6.10)$$

де  $V$  – об’єм зразка, визначений за ГОСТ 12730.1, см<sup>3</sup>;

$V_1$  – об’єм зразка, визначений як вказано вище, см<sup>3</sup>.

Відкриту некапілярну пористість бетону в серії зразків визначають як середнє арифметичне результатів випробувань всіх зразків серії.

Умовно-замкнену пористість бетону в серії зразків  $P_з$  визначають за формулою

$$P_з = P_n - P_o - P_{мз}, \%. \quad (6.11)$$

Показник мікропористості бетону в серії зразків  $P_{мк}$  визначають за формулою

$$P_{мк} = \frac{W_c}{P_o + P_{мз}}, \%, \quad (6.12)$$

де  $W_c$  – сорбційна вологість бетону в серії зразків при відносній вологості повітря 95÷100 %, визначена за методикою ГОСТ 12852.6, % за об’ємом.

Показники середнього розміру пор і однорідності розмірів пор в бетоні слід визначати за кінетикою їх водопоглинання за додатком до ГОСТ 12730.4.

**6.2.2.5. Визначення водонепроникності бетону** здійснюють за ГОСТ 12730.5 шляхом випробування зразків одним із методів: за «мочною плямою»; за коефіцієнтом фільтрації. Коефіцієнт фільтрації визначають методами: стандартним; прискореним за допомогою фільтратовимірювача; прискореним за повітропроникністю.

Зразки бетону випробовують серіями по шість шт. Висоту зразків у залежності від найбільшої крупності зерен заповнювача допускається призначати за табл. 6.6. Торцеві поверхні зразків перед випробуванням очищують від поверхневої плівки цементного каменю і слідів ущільнювального складу металевою щіткою або іншим інструментом.

Таблиця 6.6

Мінімальна висота зразків для визначення водонепроникності бетону, мм

Найбільша крупність зерен заповнювача	Найменша висота зразка
5	30
10	50
20	100

Для визначення водонепроникності бетону за «мочною плямою» застосовують обладнання та матеріали: установку будь-якої конструкції, яка має не менше шести гнізд для кріплення зразків і забезпечує можливість подачі води до нижньої торцевої поверхні зразків при зростаючому її тиску, а також можливість спостереження за станом верхньої торцевої поверхні зразків (рис. 6.13); циліндричні форми для виготовлення зразків бетону з внутрішнім діаметром 150 мм і заввишки 150, 100, 50 і 30 мм; воду за ГОСТ 23732.

Виготовлені зразки зберігають в камері нормального твердіння при температурі  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  і відносній вологості повітря

не менше 95 %. Перед випробуванням зразки витримують в приміщенні лабораторії протягом доби.

а)



б)

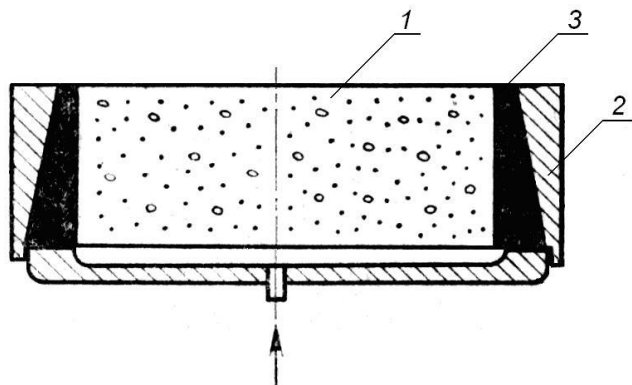


Рис. 6.13. Установа з шістьма гніздами для кріплення зразків: а – вигляд установки; б – один із способів закріплення і герметизації зразка бетону в обоймі заливанням зазора між зразком і обоймою спеціальними мастиками: 1 – зразок бетону; 2 – обойма; 3 – мастика

Діаметр відкритих торцевих поверхонь зразків бетону повинен бути не менше 130 мм. Зразки закріплюють і герметизують в обоймах (рис. 6.13, б), які встановлюють у гнізда установки і надійно закріплюють (рис. 6.13, а).

Тиск води підвищують ступенями по 0,2 МПа впродовж 1÷5 хв і витримують на кожному ступені протягом часу, вказаного в табл. 6.7. Випробування проводять до тих пір, поки на верхній торцевій поверхні зразка з'являться ознаки фільтрації води у вигляді крапель або мокрої плями.

Таблиця 6.7

Час витримки кожного ступеня гідростатичного тиску на зразок, год

Висота зразка, мм	150	100	50	30
Час витримки кожного ступеня, год	16	12	6	4



Водонепроникність кожного зразка оцінюють максимальним тиском води, при якому ще не спостерігалось її просочування через зразок. Водонепроникність серії зразків оцінюють максимальним тиском води, при якому на чотирьох з шести зразків не спостерігалось просочування води. Марку бетону за водонепроникністю приймають за табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Водонепроникність серії зразків, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Марка бетону з водонепроникності	W2	W4	W6	W7	W8	W9

Допускається визначати водонепроникність бетону за коефіцієнтом фільтрації. Коефіцієнт фільтрації визначають стандартним або одним із прискорених методів за ГОСТ 12730.5.

Набуте значення коефіцієнта фільтрації  $K_f$  порівнюють з маркою бетону за водонепроникністю відповідно до табл.6.9.

Таблиця 6.9

Відповідність коефіцієнта фільтрації маркам бетону за водонепроникністю

Коефіцієнт фільтрації $K_f$ , см/с	Марка бетону за водонепроникністю («мокра пляма»)
Понад $7 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-8}$	W2
« $2 \cdot 10^{-9}$ « $7 \cdot 10^{-9}$	W4
« $6 \cdot 10^{-10}$ « $2 \cdot 10^{-9}$	W6
« $1 \cdot 10^{-10}$ « $6 \cdot 10^{-10}$	W8
« $6 \cdot 10^{-11}$ « $1 \cdot 10^{-10}$	W10
« $6 \cdot 10^{-11}$ і менше	W12

**6.2.2.6. Визначення морозостійкості бетону** здійснюють за ДСТУ Б В.2.7-47 (ГОСТ 10060.0) шляхом випробування зразків.

Морозостійкість бетону – здатність зберігати фізико-механічні властивості при багаторазовому попереминому заморожуванні та відтаванні. Морозостійкість бетону характеризують відповідною

маркою за морозостійкістю  $F$ . Марка бетону за морозостійкістю  $F$  – установлене нормами число циклів заморожування та відтавання зразків бетону, при яких зберігаються початкові фізико-механічні властивості в нормованих межах. Цикл випробування – сукупність одного періоду заморожування та відтавання зразків. Методи визначення морозостійкості бетонів та їх галузь застосування наведені у табл. 6.10.

Таблиця 6.10

Методи визначення морозостійкості бетонів

Вид та номер методу	Середовище насичення	Умови випробування		Вид бетону
		Середовище, температура заморожування, °С	Середовище відтавання	
Базові				
Перший ДСТУ Б В.2.7-48	Вода	Повітряне, –(18±2)	Вода	Всі види бетонів, крім дорожніх і аеродромних покриттів
Другий ДСТУ Б В.2.7-49	5%-й водний розчин хлориду натрію	Повітряне, –(18±2)	5 %-й водний розчин хлориду натрію	Бетони дорожніх і аеродромних покриттів
Прискорені при багаторазовому заморожуванні та відтаванні				
Другий ДСТУ Б В.2.7-49	5 %-й водний розчин хлориду натрію	Повітряне, –(18±2)	5 %-й водний розчин хлориду натрію	Всі види бетонів, крім дорожніх і аеродромних покриттів і легких з середньою густиною менше D1500
Третій ДСТУ Б В.2.7-49	5 %-й водний розчин хлориду натрію	5 %-й водний розчин хлориду натрію, –(50±5)	5 %-й водний розчин хлориду натрію	Всі види бетонів, крім легких з середньою густиною менше D1500
Прискорені при одноразовому заморожуванні				
Четвертий (ділатометричний) ДСТУ Б В.2.7-50	Вода	Гас, –(18±2)	Повітряне	Всі види бетонів, крім дорожніх і аеродромних покриттів
П'ятий (структурно-механічний) ДСТУ Б В.2.7-51	Вода	Повітряне, –(18±2)	Повітряне	Всі види бетонів, крім дорожніх і аеродромних покриттів

Засоби вимірювання, обладнання та пристрої повинні відповідати ДСТУ Б В.2.7-48 і бути повіреними в установленому порядку. Обладнання для виготовлення, зберігання та випробування зразків бетону повинно відповідати вимогам ГОСТ 10180. Для визначення морозостійкості застосовують таке обладнання: морозильну камеру, що забезпечує досягнення і підтримання температури, вказаної у табл. 6.10 (рис. 6.14, а); ванни для насичення і відтавання зразків з пристроєм для підтримання температури води  $+(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$  (рис. 6.14, б); контейнери, стелажі для розміщення зразків у морозильній камері; ємності для випробування зразків на морозостійкість третім методом довжиною, шириною, висотою, відповідно  $90\times 90\times 110$  і  $120\times 120\times 140$  мм, товщиною стінок  $(1,0\pm 0,5)$  мм з двома дерев'яними прокладками трикутного перерізу висотою 50 мм кожна; технічні ваги, що забезпечують потрібну точність вимірювання.

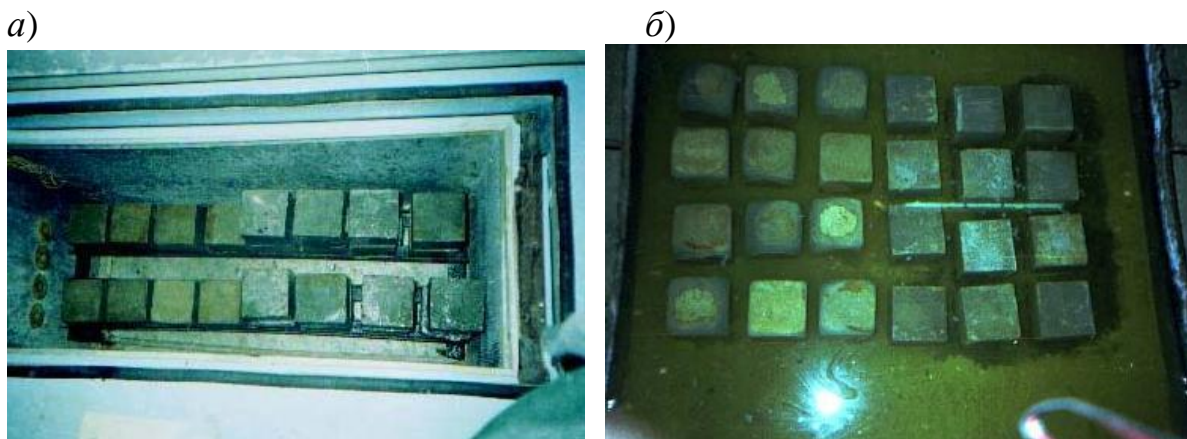


Рис. 6.14. Випробування бетону на морозостійкість:

а – зразки в морозильній камері;

б – зразки з у ванні для насичення і відтавання

Морозостійкість бетону визначають у проектному віці при досягненні ним міцності на стиск, відповідній його класу. Зразки бетону виготовляють, зберігають згідно з ГОСТ 10180 і випробовують серіями. Кількість і розмір зразків бетону в залежності від методу визначення морозостійкості приймають згідно з табл. 6.11. Зразки для випробування повинні бути без зовнішніх дефектів, їх середня густина не повинна відрізнитись

від мінімальної більш як на  $50 \text{ кг/м}^3$ . Масу зразків визначають з похибкою не більше 0,1 %. При виготовленні зразків розміром 70 мм із бетонної суміші з найбільшою крупністю заповнювача до 40 мм видаляють (ручним способом або на ситі з чарунками 20 мм) зерна заповнювача розмірами понад 20 мм.

Таблиця 6.11

Вид і кількість зразків бетону для визначення морозостійкості

Метод визначення морозостійкості	Розмір зразка, мм	Кількість зразків, шт	
		контрольні	основні
Перший	100×100×100 або 150×150×150	6	12
Другий	100×100×100 або 150×150×150	6	12
Третій	100×100×100 або 70×70×70	6	6
Четвертий	100×100×100 або циліндри діаметром 70, висотою 70	–	3
П'ятий	100×100×100 або 150×150×150	3	3

Контрольні зразки бетону перед випробуванням на міцність, а основні зразки – перед заморожуванням, насичують водою (розчином солі) температурою  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Для насичення зразки занурюють у рідину на  $1/3$  їх висоти на 24 год, далі рівень рідини підвищують до  $2/3$  висоти зразка і витримують у такому стані ще 24 год, після чого зразки повністю занурюють у рідину на 48 год таким чином, щоб рівень рідини був вищий за верхню грань зразків не менше ніж на 20 мм.

Кількість циклів випробувань в залежності від марки бетону за морозостійкістю для методів, що ґрунтуються на заморожуванні – відтаванні, приймають згідно з табл. 6.12. Кількість циклів випробування основних зразків бетону впродовж однієї доби повинна бути не менше одного.

У проміжний строк випробування контролюють стан зразків: утворення тріщин, відколів, злущування поверхні. При

утворенні зазначених пошкоджень випробування припиняють і роблять висновок про те, що бетон не відповідає потрібній марці за морозостійкістю.

Тривалість витримування при одночасному заморожуванні в морозильній камері зразків різних розмірів приймають відповідною найбільшим зразкам. У випадку змушеної перерви у випробуванні зразки зберігають на повітрі не більше 5 діб. Перед продовженням випробування зразки знов насичують водою (розчином солі). При перерві у випробуванні понад 5 діб випробування відновлюють на нових серіях зразків.

Вихідні дані і результати випробувань контрольних і основних зразків бетону заносять в лабораторний журнал.

Таблиця 6.12

Кількість циклів заморожування – відтавання для визначення морозостійкості бетону

Метод випробування	Вид бетону	Число циклів заморожування – відтавання для бетону марок за морозостійкістю												
		F25	F35	F50	F75	F100	F150	F200	F300	F400	F500	F600	F800	F1000
Перший (базовий)	Всі види бетонів, крім бетонів дорожніх і аеродромних покриттів	$\frac{15^*}{25}$	$\frac{25}{35}$	$\frac{35}{50}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{100}{150}$	$\frac{150}{200}$	$\frac{200}{300}$	$\frac{300}{400}$	$\frac{400}{500}$	$\frac{500}{600}$	$\frac{600}{800}$	$\frac{800}{1000}$
Другий (прискорений)	Всі види бетонів, крім бетонів дорожніх і аеродромних покриттів та легких бетонів з середньою густиною менше D1500	–	–	$\frac{8}{8}$	$\frac{13}{13}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{30}$	$\frac{30}{45}$	$\frac{45}{75}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{100}{150}$	$\frac{150}{200}$	$\frac{200}{300}$	$\frac{300}{450}$
Третій (прискорений)	Бетони дорожніх і аеродромних покриттів	–	–	–	2	3	4	5	8	12	15	19	27	35
Другий (базовий)	Бетони дорожніх і аеродромних покриттів	–	–	$\frac{35}{50}$	$\frac{50}{75}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{100}{150}$	$\frac{150}{200}$	$\frac{200}{300}$	$\frac{300}{400}$	$\frac{400}{500}$	$\frac{500}{600}$	$\frac{600}{800}$	$\frac{800}{1000}$
Третій (прискорений)	Бетони дорожніх і аеродромних покриттів	–	–	–	–	5	10	20	37	55	80	105	155	205

\* Над рисою зазначено число циклів, після якого проводиться проміжне випробування, під рисою – число циклів, що відповідає марці бетону за морозостійкістю

## Визначення морозостійкості бетону першим базовим методом

Контрольні і основні зразки насичують водою. Контрольні зразки через 2÷4 год після видалення із ванни випробовують на стиск згідно з ГОСТ 10180. Основні зразки завантажують у морозильну камеру у контейнері або установлюють на сітчастий стелаж камери таким чином, щоб відстань між зразками, стінками контейнерів і стеллажами, які лежать вище була не менше 50 мм. Початком заморожування вважають момент встановлення у камері температури  $-16^{\circ}\text{C}$ .

Кількість циклів поперемінного заморожування і відтавання, після яких повинно проводитись випробовування міцності на стиск зразків бетону (проміжних і остаточних), приймають за табл.6.12. У кожному разі випробовують по шість основних зразків. Зразки випробовують за режимом, наведеним у табл.6.13. Температуру повітря у морозильній камері вимірюють у центрі її об'єму в безпосередній близькості від зразків.

Зразки після заморожування відтають у ванні з водою при температурі  $(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$ . Зразки повинні бути занурені у воду таким чином, щоб над верхню гранню був шар води не менше 50 мм. Воду у ванні для відтавання зразків змінюють через кожні 100 циклів поперемінного заморожування і відтавання.

Основні зразки через 2÷4 год після видалення із ванни випробовують на стиск з визначенням згідно з ГОСТ 10180.

Таблиця 6.13

Режим випробовування зразків бетону на морозостійкість  
першим базовим методом

Розміри зразків, мм	Режим випробовування			
	Заморожування		Відтавання	
	Термін, год, не менше	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Термін, год, не менше	Температура, $^{\circ}\text{C}$
100×100×100	2,5	$-(18\pm 2)$	2±0,5	$+(18\pm 2)$
150×150×150	3,5		3±0,5	
200×200×200	5,5		5±0,5	

Марку бетону за морозостійкістю приймають за відповідну потрібній, якщо середнє значення міцності на стиск основних зразків після установленої для даної марки кількості циклів поперемінного заморожування і відтавання зменшилось не більш ніж на 5 % у порівнянні з середньою міцністю на стиск контрольних зразків. Зменшення міцності на стиск основних зразків у порівнянні з середньою міцністю контрольних зразків легкого бетону з маркою за морозостійкістю F50 та менше не повинно перевищувати 15 %.

Якщо зменшення середнього значення міцності основних зразків після проміжних випробувань в порівнянні з середнім значенням міцності на стиск контрольних зразків бетону перевищує вказані значення, випробування припиняють, роблять висновок, що бетон не відповідає потрібній марці за морозостійкістю.

### **Визначення морозостійкості бетону другим і третім методами**

Основні і контрольні зразки бетону перед випробуванням насичають 5 % водним розчином хлориду натрію при температурі  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Контрольні зразки через 2÷4 год після видалення із розчину випробовують на стиск згідно з ГОСТ 10180, а для серії зразків бетону дорожніх і аеродромних покриттів додатково визначають масу зразків.

Основні зразки після насичення піддають випробуванням на заморожування і відтавання.

За другим методом умови завантаження у морозильну камеру і заморожування зразків приймають згідно з табл. 6.13. Розчин хлориду натрію у ванні для відтавання змінюють через кожні 100 циклів заморожування і відтавання. Основні зразки через 2÷4 год після відповідного числа циклів заморожування і відтавання видаляють із ванни і випробовують на стиск згідно з ГОСТ 10180, а для серії зразків з бетону дорожніх та аеродромних покриттів додатково визначають масу основних зразків.

За третім методом основні зразки, насичені 5 % водним розчином хлориду натрію, поміщують у заповнену таким же



розчином ємність для випробування зразків на морозостійкість, встановлюючи їх на дві дерев'яні прокладки, при цьому відстань між зразками та стінками ємності повинна бути рівною  $(10\pm 2)$  мм, шар розчину над поверхнею зразків повинен бути не менше 10 мм. Розчин хлориду натрію в ємності для заморожування і відтавання змінюють через кожні 20 циклів. Число циклів заморожування і відтавання приймають згідно з табл.6.12. Основні зразки поміщають у морозильну камеру при температурі повітря в ній не вище  $10^{\circ}\text{C}$  у закритих зверху ємностях так, щоб відстань між стінками ємностей і камери була не менше 50 мм. Після установа в закритій камері температури  $-10^{\circ}\text{C}$  температуру знижують упродовж  $(2,5\pm 0,5)$  год до мінус  $(50\pm 5)^{\circ}\text{C}$  і витримують  $(2,5\pm 0,5)$  год. Далі температуру в камері підвищують упродовж  $(1,5\pm 0,5)$  год до  $-10^{\circ}\text{C}$ , і при цій температурі видаляють із неї ємності із зразками. При заморожуванні кубів з ребром 70 мм час зниження і витримування температур зменшують на 1 год. Куби з ребром 100 мм відтають упродовж  $(2,5\pm 0,5)$  год, з ребром 70 мм –  $(1,5\pm 0,5)$  год у ванні з 5 % розчином хлориду натрію температурою  $(18\pm 2)^{\circ}\text{C}$ . При цьому ємності занурюють у ванну таким чином, щоб кожна з них була оточена шаром розчину не менше 50 мм. Основні зразки через 2÷4 год після видалення із ємності випробовують на стиск згідно з ГОСТ 10180. Для бетону дорожніх і аеродромних покриттів попередньо ретельно визначають масу зразків.

Марку бетону за морозостійкістю приймають за відповідну тій, що вимагається, якщо після установа табл. 6.12 для даної марки числа циклів попереминого заморожування і відтавання середнє значення міцності на стиск основних зразків зменшилось не більше ніж на 5 % у порівнянні із середньою міцністю на стиск контрольних зразків.

Для бетонів дорожніх і аеродромних покриттів визначають втрату маси порівнянням середньоарифметичної маси серії основних зразків після проміжних і підсумкових випробувань з середньоарифметичним значенням маси основних зразків до випробування. Втрату маси основних зразків не повинна перевищувати 3 %.

Якщо середнє значення мццности бетону на стиск основних зразків після промжжних випробувань у порвнннн з середнм значенням мццности бетону на стиск серії контрольных зразків зменшилось бльше нж на 5% або зменшення середнього значення маси серії основних зразків бетонв дорожнх і аеродромних покриттв перевищило 3 %, то випробування припиняють і роблять висновок, що бетон не ввдповвдає марці за морозостйкстю, що вимагається.

**6.2.2.7 Дослвдження безнапврної водопроникности бетону** здйсноють за методикою УкрДАЗТ шляхом випробування зразків. Застосовуванн апаратура і матерiали: прилад для визначення безнапврної водопроникности (рис. 6.15) – три шт.; епоксидний герметизуючий склад.

Випробуванню пвддають три зразки-куби з розмрм ребра 100 мм. Перед випробуванням зразки повинн бути ретельно очищенн ввд залишкв мастила. На одну з граней кожного зразка, яка при його формуванні була вертикальною, за допомогою епоксидного герметизуючого складу наклеюють комірку приладу. Цим же герметизуючим складом покривають чотири бчнн гранн зразка, залишаючи вільною ввд складу нижню грань, протилежну приладу. Зразок з приладом встановлюють на пвдставки таким чином, щоб не менше 90 % площн поверхнн нижньої гранн стикалося з повітрям.

Комірку заповнюють водою таким чином, щоб меніск знаходився у верхннй частинн вимррювальної трубки, і починають спостерігати за рвннем води у вимррювальннй трубці, який по мррн проникнення води у зразок знижується. При цьому не рвдше двох разв на добу першн п'ять дбв спостерігання і не рвдше одного разу на двн доби, починаючи з сьомої доби спостерігання, за показаннями вимррювальної трубки наростаючим пвдсумком фксують сумарну кльксть води, що проникла у кожний зразок. Результати спостерігань записують у лабораторний журнал. По мррн зниження рвння у мррну трубку доливають воду.

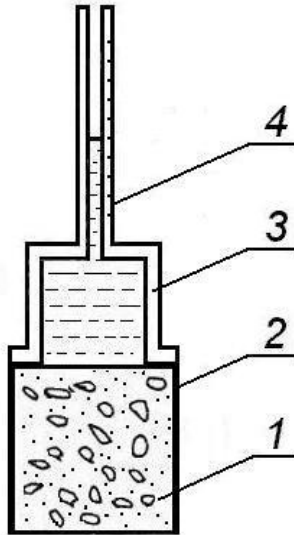


Рис.6.15. Прилад для визначення безнапірної водопроникності:  
 1 – зразок бетону; 2 – епоксидний герметизуючий склад; 3 – комірка з водою; 4 – скляна вимірювальна трубка  
 Площа «вікна» комірки, через яке потік води проникає у зразок –  $50 \text{ см}^2$

За результатами спостерегань будують графік безнапірної водопроникності кожного зразка – залежності сумарної кількості води  $V$ , мл, що проникла у зразок, від часу  $\tau$ , доб (рис. 6.16).

Спостерегання продовжують до тих пір, доки графік безнапірної водопроникності зразка набуде вигляду прямої протягом не менше 30 діб (на рис. 6.16 – з 20 по 50 добу).

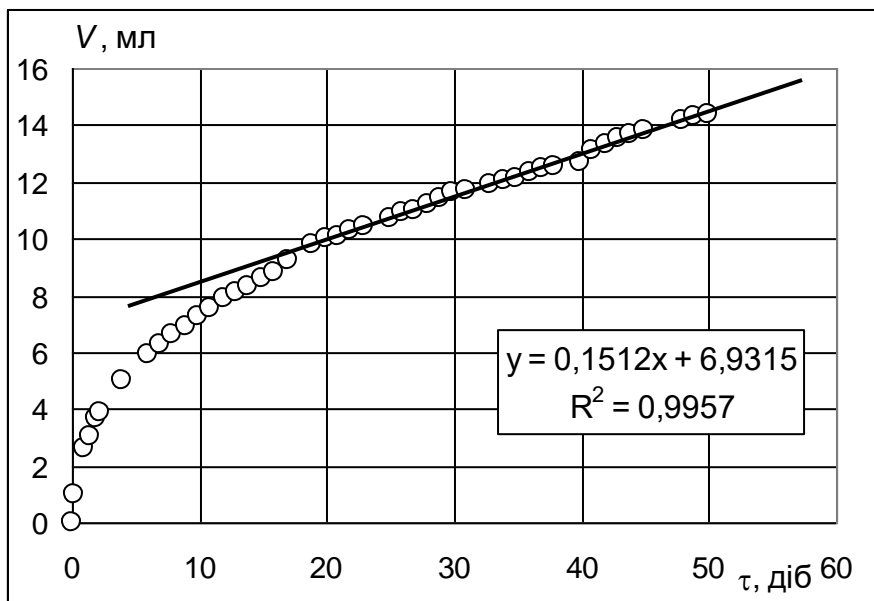


Рис. 6.16. Графік безнапірної водопроникності зразка дрібнозернистого бетону – залежності сумарної кількості води  $V$ , що проникла у зразок, від часу  $\tau$ .

Склад бетону – пісок : цемент : вода = 2,5 : 1 : 0,55;  
 цемент – ПЦ II-A/Ш-400 ДСТУ Б В.2.7-32,  
 пісок ДСТУ Б В.2.7-46 дуже дрібний  $M_{кр}=1,0$ ;  
 твердіння – природне 28 діб

Безнапірну водопроникність кожного зразка визначають за формулами

$$W_{\text{бв}} = \frac{1}{S} \cdot \frac{dV}{d\tau}, \text{ см/доб}; \quad (6.13)$$

$$W_{\text{бв}} = \frac{1}{S} \cdot \frac{dV}{d\tau} \cdot 1,157 \times 10^{-7}, \text{ м/с}, \quad (6.14)$$

де  $dV/d\tau$  – швидкість фільтрації води крізь зразок на прямій ділянці графіка безнапірної водопроникності  $V = f(\tau)$ , см<sup>3</sup>/добу;

$dV$  – об’єм води, см<sup>3</sup>, що проникла у зразок за час  $d\tau$ , доб, відповідні прямій ділянці графіка;

$S$  – площа поверхні входження потоку води у зразок («вікно» комірки), 50 см<sup>2</sup>.

Швидкість фільтрації  $dV/d\tau$  є тангенсом кута нахилу до осі абсцис вказаної прямої ділянки графіка і може бути знайдена шляхом побудови прямої і визначення її рівняння за будь-якою із методик, викладених у пп. 6.3.3.2÷6.3.3.4.

Безнапірну водопроникність бетону визначають як середнє арифметичне безнапірної водопроникності трьох випробуваних зразків.

На рис. 6.15 наведене лінійне рівняння вказаної прямої, одержане за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel і ПК (п. 6.3.3.4). Коефіцієнт цього рівняння 0,1512 і є швидкістю фільтрації води крізь зразок у сантиметрах кубічних за добу (см<sup>3</sup>/доб). Безнапірна водопроникність зразка складе

$$W_{\text{бв}} = \frac{0,1512}{50} = 3,024 \times 10^{-3}, \text{ см/доб};$$

$$W_{\text{бв}} = \frac{0,1512}{50} \cdot 1,157 \times 10^{-7} = 3,5 \times 10^{-10}, \text{ м/с}.$$

### 6.2.3. Методи корозійних випробувань

Для визначення корозійної стійкості матеріалів при дії на них агресивних середовищ проводять корозійні дослідження. Ці дослідження полягають у штучному створенні на зразки матеріалів агресивної дії та оцінюванні зміни властивостей матеріалу від неї. Факторами при цьому обирають характеристики матеріалу – наприклад, *В/Ц* бетону, вміст добавки, водонепроникність, або агресивного середовища – рН, концентрацію агресивних іонів (табл. 6.1). Корозійні дослідження здійснюють за стандартними методиками:

- ГОСТ 27677-88 (СТ СЭВ 5852-86) Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний;

- ГОСТ 25881-83 Бетоны химически стойкие. Методы испытаний;

- ГОСТ 9.403-80 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Методы испытаний на стойкость к статическому воздействию жидкостей.

**Випробування на корозійну стійкість у рідких агресивних середовищах бетонів**, що виготовляються із застосуванням цементів на основі портландцементного клінкеру, здійснюється за ГОСТ 27677. Метод випробування полягає в порівнянні значень показників, що характеризують корозійну стійкість випробовуваних зразків, поміщених в рідке агресивне середовище, із значеннями показників зразків, поміщених в неагресивне середовище (порівняння паралельних зразків) або з показниками еталонних зразків відомої корозійної стійкості, поміщених в таке ж саме агресивне середовище.

Перед проведенням лабораторних випробувань визначають: умови і варіант методу випробувань; вигляд, концентрацію і температуру агресивного середовища; вид зразка і його склад (склад бетону, матеріали, застосовані для його виготовлення); розмір зразка; умови виготовлення, умови і терміни тверднення зразків до поміщення в агресивне середовище; тривалість випробувань.

Розмір, склад, виготовлення і умови твердіння зразків обирають відповідно до мети випробувань. Найменший розмір зразка повинен бути більшим чотирикратного значення максимальної крупності зерен заповнювача випробовуваного бетону. Розміри зразків наведені у табл. 6.14. Допускається виготовляти зразки із бетонної суміші, з якої мокрим відсівом видалена крупна фракція заповнювача. Кількість зразків для оцінки показників кожного складу бетону, складу середовища і терміну випробувань повинна бути не менше 3.

Таблиця 6.14

Розміри зразків для випробувань бетону на корозійну стійкість

Зразки	Розміри, мм, зразків бетону з найбільшою крупністю заповнювача, мм	
	до 5	понад 5
Основні	40×40×160	100×100×100
Рекомендовані	20×20×120	40×40×160
	10×10×60	70×70×280
	Ø50×50	Ø150×150

*Примітка:* При необхідності допускається застосування зразків інших розмірів

Склад і спосіб виготовлення еталонних зразків приймають в залежності від крупності заповнювача. Умови твердіння еталонних зразків: три доби на вологому повітрі та 25 діб – у воді при температурі  $(20\pm 3)^\circ\text{C}$ . Перед випробуванням і під час випробування в агресивному середовищі визначають показники зразків за табл. 6.15. Досліджувані показники зразків вибирають відповідно до мети випробувань.

Показники і концентрації агресивних середовищ приймають за табл. 6.16. Відповідно до мети досліджень допускається застосовувати інші агресивні середовища. Концентрація агресивного середовища при випробуваннях не повинна змінюватися більш ніж на 5%, жорсткість не повинна перевищувати  $2^\circ$ , рН не повинен змінюватися більш ніж на  $\pm 0,2$ ,  $\text{CO}_2$  агресивна –  $\pm 10 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ . Відхилення температури агресивного середовища не повинно перевищувати  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Як неагресивне

середовище приймають питну воду. Тривалість випробувань обирають рівною 1, 3, 6, 12 міс.

Зразки після виготовлення і твердіння поміщають в неагресивне і агресивне середовища паралельно. Зразки поміщають так, щоб був забезпечений рівномірний доступ агресивного середовища до зразків з усіх боків. Відношення об'єму агресивного розчину в кубічних сантиметрах (см<sup>3</sup>) до 1 см<sup>2</sup> поверхні зразка повинне бути не менше 5:1.

Таблиця 6.15

Показники бетону, які контролюють при випробуваннях в різних агресивних середовищах

Спосіб дослідження	Показники зразків	Одиниця вимірювання	Основні показники агресивних середовищ					
			Жорсткість, моль/л	Водневий показник рН	Агресивна вуглекислота CO <sub>2</sub>	Агресивний іон		
						Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Неруйнівний	Зовнішній вигляд зразків	–	+	+	+	+	+	+
	Маса	кг/м <sup>3</sup>	+	+	+	+	+	+
	Об'ємні зміни	%	–	(+)	–	(+)	–	+
	Динамічний модуль пружності резонансним методом (або швидкість ультразвуку)	МПа (м·с <sup>-1</sup> )	+	+	+	+	+	+
Руйнівний	Міцність при стиску	МПа	+	+	+	+	+	+
	Міцність на розтяг при згині	МПа	+	+	+	+	+	+
	Водонепроникність або коефіцієнт фільтрації (визначають до початку випробувань)		+	+	+	+	+	+
	Загальна пористість	відсотки(%) об'ємні	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Вміст в залежності від відстані від поверхні зразка:	відсотки(%) маси цементу						
	SO <sub>3</sub>		–	–	–	–	–	(+)
	Mg <sup>2+</sup>		–	–	–	(+)	–	–
	Ca <sup>2+</sup>		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	–
	Глибина пошкодження	мм	+	+	+	+	(+)	–
Глибина нейтралізації бетону	мм	+	+	+	+	+	+	

*Примітка.* Знак «+» означає, що визначати обов'язково; знак «(+）」 – визначати додатково; знак «–» – визначати не потрібно.



Таблиця 6.16

Показники і концентрації агресивних середовищ для випробувань

Види корозії і показники агресивності	Одиниця вимірювання	Концентрація	
		основна	допустима
Вилуговування		–	–
Кислотна	pH	3	4; 5
Вуглекисла, $CO_2$	мг·л <sup>-1</sup>	80	40
Магnezіальна, $Mg^{2+}$	мг·л <sup>-1</sup>	10000	5000; 2000
Амонійна, $NH_4^+$	мг·л <sup>-1</sup>	2000	1000; 500
Сульфатна, $SO_4^{2-}$	мг·л <sup>-1</sup>	10000	34000, 3000, 1000

*Примітка:* При дослідженні корозії вилуговування використовують дистильовану воду з подальшим кип'ятінням.

В процесі випробувань встановлюють зміну показників зразків паралельно в агресивному і неагресивному середовищах. Результати випробувань оцінюють порівнянням показників властивостей зразків, що знаходились в даному агресивному середовищі, і показників паралельних зразків, що знаходились в неагресивному середовищі, або з показниками властивостей еталонних зразків в агресивному середовищі.

Висновок про недостатню корозійну стійкість бетону в агресивних середовищах роблять, якщо величини показників зразків основних розмірів (табл. 6.14), занурених в агресивне середовище основної концентрації (табл. 6.15), після 12 міс. випробувань:

- міцності на стиск, на розтяг при згині, динамічного модуля пружності і швидкості розповсюдження ультразвуку – менші, ніж у еталонного зразка, зануреного в те ж агресивне середовище;

- при сульфатній корозії вміст  $SO_3$  в залежності від відстані від поверхні зразка і об'ємні зміни – вищі, ніж у еталонного зразка, зануреного в те ж агресивне середовище;

- при корозії вилуговування, вуглекислий і кислотний вміст  $Ca^{2+}$  в залежності від відстані від поверхні зразка і маса зразка – менші, ніж у еталонного зразка, зануреного в те ж агресивне середовище.

У лабораторному журналі (протоколі випробувань) слід відобразити такі дані: матеріали, використувані для виготовлення бетону або розчину і їх властивості; склад, приготування і умови твердіння випробовуваного бетону або розчину; розміри випробовуваних зразків і показники їх властивостей перед поміщенням в агресивне середовище; вид, концентрацію агресивних складових і температуру агресивного середовища; дату, тривалість і місце проведення випробувань; результати випробувань і їх оцінку; висновок за наслідками випробувань.

**Випробування хімічно стійкого бетону** – будь-якого виду полімербетону (на основі фуранових, епоксидних, поліефірних, карбамідних, акрилових смол) і полімерсилікатного бетону (на основі рідкого скла з полімерними добавками) здійснюється за ГОСТ 25881 з метою визначення їх хімічної стійкості в рідких агресивних середовищах. Метод випробувань ґрунтується на визначенні хімічної стійкості бетону за зміною маси і міцності зразків після витримування в середовищі протягом контрольного періоду часу.

При проведенні випробувань застосовують такі устаткування і прилади: випробувальна машина або прес за ГОСТ 8905; ваги технічні за ГОСТ 24104; штангенциркуль за ГОСТ 166; металеві лінійки за ГОСТ 427; форми для виготовлення контрольних зразків за ГОСТ 310.4; лабораторна віброплощадка типу 435А; деко емальоване; щипці; ємності для занурення зразків у середовище; реактиви за ГОСТ 25246; терморегулюючий пристрій (термометри електроконтактні за ГОСТ 9871). Матеріал форм повинен бути інертним до складових бетонних сумішей. Ємності повинні бути з матеріалу стійкого до дії досліджуваних середовищ, щільно закриватися кришками і мати розміри, що дозволяють розмістити необхідну кількість випробовуваних зразків. Ємності для проведення випробувань при підвищених температурах повинні бути забезпечені теплоізоляцією, теплоносієм і терморегулюючими пристроями, що забезпечують підтримку заданого температурного режиму в середовищі з погрішністю  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Реактиви для отримання хімічно

агресивних середовищ і їх концентрацію обирають відповідно до умов експлуатації конструкції і ГОСТ 25246.

Зразки для випробування виготовляють розмірами 40×40×160 мм. Допускається при оцінці хімічної стійкості експлуатованих виробів використовувати зразки тих же розмірів, випиляні або вибурені з конструкції. Для випробування виготовляють сім серій зразків з однієї проби бетону (одну серію для кожного терміну випробування). Кількість зразків у серії повинна бути не менше трьох.

Перед формуванням зразків внутрішня поверхня форм повинна бути покрита розділовим шаром з парафіну, масла або іншого матеріалу. Зразки необхідно формувати не пізніше ніж через 20 хв після приготування суміші. Загальний час формування повинен складати 10÷15 хв і закінчуватися до початку тужавлення. Зразки ущільнюють на віброплощині з частотою  $(2900 \pm 100)$  1/хв і амплітудою  $(0,5 \pm 0,05)$  мм протягом 1÷2 хв. Зразки повинні розпалублюватися через 24 год твердіння при температурі не нижче 18°C. Подальші умови тверднення зразків до занурення в середовище повинні бути аналогічні твердінню виробів з цього бетону.

Зразки повинні мати маркування, в якому вказують номер серії і порядковий номер зразка в серії. Маркування повинне зберігатися протягом всіх випробувань. На поверхні зразків не повинно бути забруднень, слідів мастила та інших речовин. Забруднення повинні видалятися за допомогою наждачного паперу або розчинниками, що не роблять негативного впливу на поверхню зразків. Зразки не повинні мати зовнішніх дефектів у вигляді тріщин, здуття і раковин діаметром і глибиною понад 4 мм. Густина окремих зразків однієї серії не повинна розрізнятися більш ніж на 1%. При відхиленні у більших межах зразки відбраковують. Густина зразків повинна визначатися відповідно до вимог ГОСТ 12730.1. Перед зануренням в середовище заміряють розміри зразків всіх серій металевою лінійкою або штангенциркулем з погрішністю до 1 мм і визначають їх масу зважуванням з погрішністю до 0,01 г.

Зразки поміщають в ємність так, щоб вони не стикалися один з одним та зі стінками ємності, заливають їх заздалегідь

приготованим розчином середовища необхідної концентрації і температури до повного занурення. Не допускається занурення в одну ємність зразків, виготовлених з хімічно стійких бетонів різних складів. Температура середовища повинна бути в межах  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Випробування при підвищених температурах призначають залежно від умов експлуатації конструкції, обираючи одну з величин такого ряду температур: 40, 60, 80,  $100^\circ\text{C}$ . Шар розчину над зразками повинен бути не менше  $2 \div 3$  см. Тривалість витримування зразків у середовищі приймають рівною 360 діб при проміжних термінах 30, 60, 90, 180, 270 діб. Регулярно через 30 діб необхідно перевіряти концентрацію середовища. У разі зниження концентрації більш ніж на 10 % від встановленої, середовище повністю замінюють.

Зразки випробовують на розтяг при згині відповідно до ГОСТ 310.4. Випробування проводять серіями: одну до занурення в середовище, потім по одній серії після кожного встановленого проміжного терміну. Після закінчення кожного встановленого терміну зразки за допомогою щипців видаляють із ємності, встановлюють на деко, обполіскують водопровідною водою, промокають фільтрувальним папером або протирають тканиною, потім вимірюють, зважують і визначають міцність на розтяг при згині.

За результатами випробувань в межах кожної серії знаходять середнє арифметичне міцності зразків на розтяг при згині та їх маси. Відбракування аномальних результатів випробувань за міцністю повинно проводитись за ГОСТ 10180. За зміною міцності зразків на розтяг при згині після кожного терміну випробування визначають коефіцієнт хімічної стійкості  $K_{xc}$  за формулою

$$K_{xc} = \frac{R_t}{R_0}, \quad (6.15)$$

де  $R_0$  – границя міцності на розтяг при згині серії зразків, що не поміщались у середовище;

$R_t$  – границя міцності на розтяг при згині серії зразків після витримування в середовищі протягом часу  $t$ , доб.

Зміну маси зразків  $\Delta m$  після кожного терміну випробування визначають за формулою:

$$\Delta m = \frac{m_1 - m}{m}, \quad (6.16)$$

де  $m$  – маса серії зразків до поміщення в середовище, г;

$m_1$  – маса серії зразків після витримування в середовищі, г.

Хімічну стійкість бетону оцінюють шляхом порівняння фактичного коефіцієнта хімічної стійкості  $K_{xc}$ , визначеного на серії зразків, витриманих в середовищі протягом 360 діб, з вимогами ГОСТ 25246, згідно з якими в залежності від коефіцієнта хімічної стійкості бетони підрозділяються на:

високостійкі – з  $K_{xc} \geq 0,8$ ;

стійкі –  $0,5 \leq K_{xc} < 0,8$ ;

відносно стійкі –  $0,3 \leq K_{xc} < 0,5$ ;

нестійкі –  $K_{xc} < 0,5$ .

Зменшення маси зразків після витримання в середовищі не повинно перевищувати 1 %. При зменшенні маси зразків більш ніж на 1 % склад бетону відносять до нестійких в даному середовищі незалежно від результатів механічних випробувань.

Результати повних і проміжних випробувань заносять в лабораторний журнал, який повинний містити: найменування випробовуваного хімічно стійкого бетону, його склад, спосіб і режим виготовлення зразків; найменування і температуру середовища, термін витримування зразків у середовищі; масу зразків до і після витримування у середовищі та зміну маси у відсотках; зміни поверхні зразків і зовнішнього вигляду в результаті дії хімічного середовища (наявність тріщин, здуття, раковин); міцність при згині до і після витримування зразків у середовищі та їх зміни (коефіцієнт хімічної стійкості); дату проведення випробувань (визначення міцності на розтяг при згині і маси).

**Дослідження впливу комплексної добавки на корозійну стійкість бетону розглянуто на такому прикладі. За методикою ГОСТ 27677 і ГОСТ 25881 досліджено вплив комплексної**

добавки на корозійну стійкість (коефіцієнт хімічної стійкості) дрібнозернистого бетону в рідких середовищах:

- 5 %-му розчині  $H_2SO_4$  (кислотостійкість);
- 5 %-му розчині  $NaOH$  (лугостійкість);
- мінеральному маслі (маслостійкість).

Склад бетону – пісок : цемент : вода = 2,5 : 1 : 0,55; цемент – ПЦ II-А/Ш-400 ДСТУ Б В.2.7-32, пісок ДСТУ Б В.2.7-46 дуже дрібний  $M_{кр}=1,0$ , склад добавки замовником дослідження не розголошувався; твердіння – природне 28 діб.

Зразки – балочки 40×40×160 мм – 30 шт., які витримували 60 діб (рис. 6.17):

- зразки із бетону з добавкою в кожному середовищі –  $3 \times 3 = 9$  шт.;
- контрольні зразки з добавкою у воді для визначення кислотостійкості і лугостійкості бетону з добавкою – 3 шт.;
- контрольні зразки з добавкою у повітряних умовах для визначення маслостійкості бетону з добавкою – 3 шт.;
- зразки із бетону без добавки в кожному середовищі –  $3 \times 3 = 9$  шт.;
- контрольні зразки без добавки у воді для визначення кислотостійкості і лугостійкості бетону без добавки – 3 шт.;
- контрольні зразки без добавки у повітряних умовах для визначення масло-стійкості бетону без покриття – 3 шт.

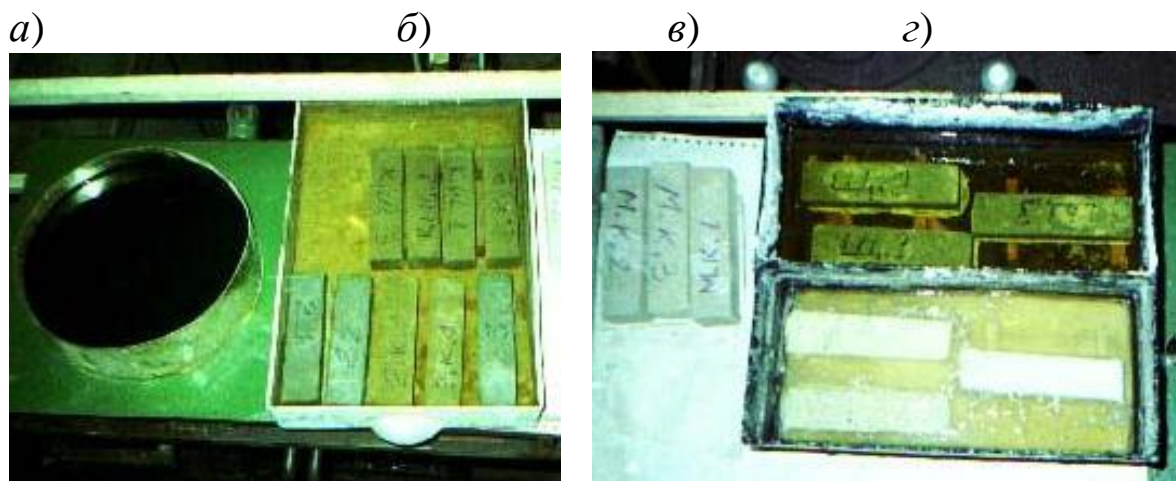


Рис. 6.17. Дослідження корозійної стійкості – витримування зразків:  
а – в мінеральному маслі; б – в розчині  $NaOH$ ; в – на повітрі; г – у воді в розчині  $H_2SO_4$

Результати дослідження наведені у табл. 6.17.

Таблиця 6.17

Результати дослідження впливу комплексної добавки на корозійну стійкість бетону

Стійкість в рідких середовищах	Коефіцієнт хімічної стійкості $K_{кс}$ бетону	
	без добавки	з добавкою
5% $H_2SO_4$ – кислотостійкість	0 (нестійкий)	0,73 (стійкий)
5% $NaOH$ – лугостійкість	0,91 (високостійкий)	1,05 (високостійкий)
мінеральне масло – маслостійкість	0,93 (високостійкий)	1,17 (високостійкий)

Таким чином, встановлено, що комплексна добавка надає кислотостійкості не кислотостійкому бетону і підвищує його лугостійкість і маслостійкість.

#### **6.2.4. Фізико-хімічні методи досліджень**

При дослідженнях сутності процесів, що відбуваються з будівельними матеріалами, зокрема зміни їх складу і структури при твердінні, корозії і т.п., застосовують найбільш інформативні в даному випадку фізико-хімічні методи досліджень [15÷20]. Це дуже широкий діапазон методів, що базуються на різних фізичних принципах і дозволяють визначати мінеральний та хімічний склад і тонку структуру матеріалів.

Звичайно для забезпечення достовірності результатів дослідження будь-якого процесу застосовують одночасно декілька фізико-хімічних методів, які за допомогою різних фізичних принципів дозволяють отримувати однакові дані, наприклад, характеристики мінерального складу матеріалу. Такі методи називають незалежними. Найбільш розповсюджені незалежні фізико-хімічні методи досліджень будівельних матеріалів: мікроскопічний аналіз (за допомогою світлової та електронної мікроскопії), інфрачервона спектроскопія, рентгенівський аналіз, термічний аналіз, реологічні методи.



**6.2.4.1. Мікроскопічний аналіз.** *Мікроскопічний аналіз* – дослідження об’єктів за допомогою мікроскопів.

*Мікроскоп* – прилад для одержання збільшених зображень об’єктів або деталей їх структури, невидимих неозброєним оком.

Мікроскопи є світлові та електронні (табл. 6.18, рис. 6.18). Їх конструкція, принцип дії та методики досліджень будівельних матеріалів за їх допомогою детальніше розглянуті далі.

Таблиця 6.18

Види мікроскопів

Види мікроскопів	Носій зображення	Пристрої, що створюють і збільшують зображення	Максимальна роздільна здатність	Збільшення
Оптичний (світловий) мікроскоп	Видиме світло	Оптичні скляні лінзи	0,2 мкм	від 3,5× до 3000×
Просвічувальний електронний мікроскоп ПЕМ	Пучок електронів	Електромагнітні лінзи	0,14 нм	від 50× до 1 500 000 ×
Сканувальний електронний мікроскоп СЕМ			4 нм	від 4× до 2 000 000×
Сканувальний тунельний мікроскоп СТМ	Електричний струм	Атомний зонд		
Атомний силовий мікроскоп АСМ		Кантелевер		

*Роздільна здатність* мікроскопа – мінімальна відстань між розрізнюваними об’єктами, що не зливаються в одну точку.

Роздільна здатність оптичних приладів складає  $1/3$  довжини світлової хвилі  $\lambda/3$ . Довжина хвилі видимого світла складає  $4 \div 8 \times 10^{-7}$  м = 0,4÷0,8 мкм, отже, роздільна здатність світлових мікроскопів не може бути кращою 0,13÷0,27, в середньому ~0,2 мкм.

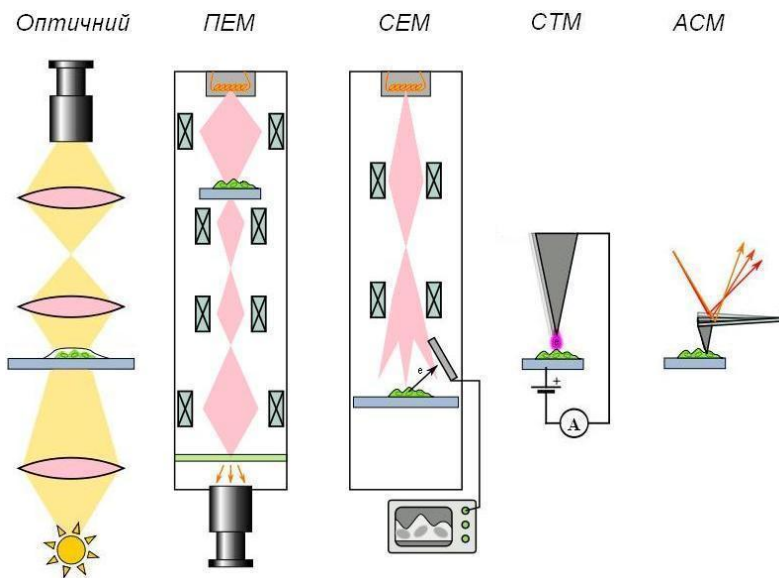


Рис. 6.18. Принципові схеми мікроскопів: оптичного; електронних: ПЕМ – просвічувального електронного мікроскопа, СЕМ – сканувального електронного мікроскопа, СТМ – сканувального тунельного мікроскопа, АСМ – атомного силового мікроскопа

Довжина хвилі потоку електронів, які мають корпускулярно-хвильову природу, на декілька порядків менша, ніж видимого світла, тому роздільна здатність електронних мікроскопів у тисячі разів перевищує роздільну здатність світлових мікроскопів. Довжина хвилі  $\lambda$  потоку електронів залежить від величини прискорюючої їх напруги  $U$ , кВ, і складає:

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{U}} \cdot 10^{-8} \text{ см} = \frac{12,25}{\sqrt{U}}, \text{ \AA} \quad (6.17)$$

Прискорююча напруга, застосовувана в сучасних СЕМ, складає 30 кВ, ПЕМ – 100÷300 кВ. Отже, згідно з (6.17), їх теоретична роздільна здатність складає: при 30 кВ – 2 Å, при 100÷125 кВ – 0,4 Å при 200 кВ – 0,3 Å і при 300 кВ – 0,2 Å. Проте фактично роздільну здатність на порядок істотно знижують механічні та електричні перешкоди, обумовлені нестабільністю прискорюючої напруги і напруги на лінзах, а також такі явища, як астигматизм, хроматична аберация.

*Збільшення* – відношення видимого в мікроскоп розміру об'єкта до фактичного розміру. Одиниця виміру збільшення – крат (кількість разів), позначається «x». Збільшення як світлових, так і електронних мікроскопів дорівнюється добутку збільшень всіх лінз мікроскопа.

**Світлова мікроскопія** – дослідження об’єктів за допомогою світлових мікроскопів (рис. 6.18, 6.19, табл. 6.19).

*Світловий (оптичний) мікроскоп* складається із оптичної і механічної систем. Оптична система складається з об’єктива 1 (рис. 6.19, в) та окуляра 2, закріплених у тубусі 3, розташованому на металевій підставці 4, предметного столика 5, закріпленого на підставці під об’єктивом, та освітлювальної системи 6. Механічна система складається із регулювальних макро- і мікрогвинтів 7 для налаштування різкості та регулювання положення предметного столика, системи управління освітлювальною системою. В залежності від призначення спеціалізовані мікроскопи можуть бути оснащені додатковими пристроями і системами – поляризаторами, окулярними лінійками та розмірними сітками, фотокамерами, а сучасні мікроскопи – цифровими фотокамерами 8, приводами механічної системи і т.п.

Таблиця 6.19

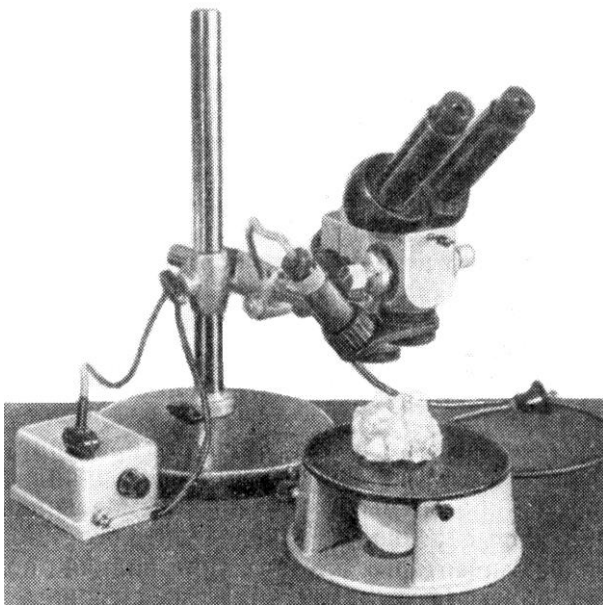
Характеристики деяких моделей світлових мікроскопів

Тип		Модель, торговельна марка виробника <sup>1</sup>	Досліджуваний об’єкт	Діапазон збільшень, ×
Відбитого світла	Бінокулярний (стереоскопічний)	МБС-2	Без підготовки	3,5÷88
	Металографічний	МИМ-10	Аншліф	20÷2000
	Мікротвердомір	ПМТ-3 ЛОМО		487
Прохідного світла	Мінералогічний поляризаційний	МИН-8	Імерсійний препарат, шліф	24÷900
Універсальні <sup>2</sup> : відбитого та прохідного світла, поляризаційні		Альтамі Полар312	Імерсійний препарат, шліф, аншліф	50÷1600
		МБИ-6 ЛОМО		17,5÷2375
		Nikon Eclipse		10÷1500
		Zeiss Axio		12,5÷1600
		Olympus BX		25÷3000
		Leica DM		12,5÷3000

<sup>1</sup> Торговельні марки належать найвідомішим світовим виробникам високоякісних мікроскопів: ТОВ «ЛОМО», м.С.-Петербург, Росія; Leica Microsystems, м. Ветцлар, Німеччина; Carl Zeiss Vision International GmbH, м. Оберкохен, Німеччина; Nikon Instech Ltd., Японія; Olympus, Японія.

<sup>2</sup> Сучасні дослідницькі мікроскопи найвідоміших виробників є універсальними або мають модифікації для досліджень у відбитому світлі, прохідному світлі, поляризаційні, облаштовані системами одержання цифрових зображень, мають моторизовані модифікації з приводами механічної системи.

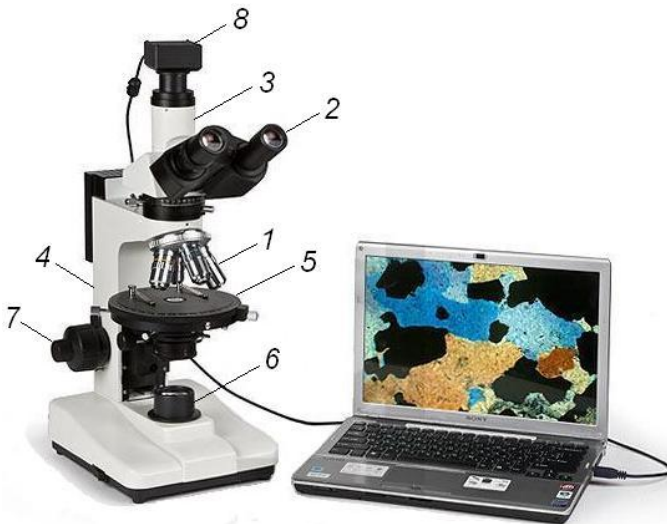
а)



б)



в)



г)



Рис. 6.19. Світлові мікроскопи:

а – мікроскоп бінокулярний МБС-2; б – мікроскоп універсальний дослідницький МБИ-6 ЛОМО (УкрДАЗТ); в – мікроскоп універсальний цифровий Альтамі Полар 312: 1 – об’єктив, 2 – окуляр (бінокуляр), 3 – тубус, 4 – підставка, 5 – предметний столик, 6 – освітлювальна система, 7 – регулювальні гвинти, 8 – цифрова фотокамера; г – мікроскоп універсальний моторизований Zeiss Axio Imager 2

Об'єктив *1* – оптичний пристрій, що складається з лінз, збільшує і проектує зображення об'єкта на площину. Окуляр *2* – звернений до ока оптичний пристрій, призначений для розгляду з деяким збільшенням сформованого об'єктивом оптичного зображення. Освітлювальна система *б* – в старих або простих сучасних мікроскопах – увігнуте дзеркало, що конденсує природне або штучне світло, в сучасних – штучне джерело світла, конденсор і діафрагма. Конденсор – лінза або система лінз, призначена для освітлення об'єкта. Предметний столик *5* – поверхня, на якій розташовують досліджуваній об'єкт. У різних конструкціях мікроскопів столик може забезпечувати координатний рух об'єкта в полі зору об'єктива по вертикалі та горизонталі, поворот на заданий кут.

Два основних типи мікроскопів (табл. 6.19) – для досліджень у відбитому світлі непрозорих об'єктів та досліджень у проходячому світлі прозорих об'єктів. Сучасні мікроскопи часто є універсальними і дозволяють досліджувати об'єкти як у відбитому, так і прохідному світлі.

*Бінокулярні мікроскопи* (рис. 6.19, *а*, табл. 6.19) призначені для спостерегання у відбитому світлі з невеликим збільшенням значних ділянок поверхні непрозорих об'єктів – гірських порід, бетону, металів і т. п. Оснащені двома окулярами (бінокуляр), які формують два зображення об'єкта під невеликим кутом для кожного з очей дослідника, що забезпечує об'ємне сприйняття. Мають велику фокусну відстань, яка й дозволяє спостерігати крупні об'єкти. На відміну від інших мікроскопів не інвертують (не перевертають) зображення. Не потребують спеціальної підготовки об'єкта.

*Стереоскопічні мікроскопи* – всі види мікроскопів, оснащені двома окулярами для одержання об'ємного зображення. Наприклад, всі наведені на рис. 6.19 мікроскопи є стереоскопічними.

*Металографічні мікроскопи* (табл. 6.19) призначені для вивчення у відбитому світлі структури поверхні непрозорих об'єктів – *аниліфів* (полірованих шліфів) металів, гірських порід, бетону. Оснащені спеціальним освітлювачем, встановленим з боку об'єктива. Система призм і дзеркал через об'єктив

спрямовує світло на поверхню непрозорого об'єкта, яка відбиває світло зворотно в об'єктив.

*Мікротвердомір* (табл. 6.19) – світловий мікроскоп відбитого світла для визначення мікротвердості металів, мінералів. Оснащений пристроєм для втискування під певним навантаженням діамантової пірамідки у випробовуваний матеріал. Мікротвердість характеризується числом твердості  $H$ ,  $\text{кГ/мм}^2$ , що є відношенням навантаження  $P$ , гс, до умовної площі отриманого відбитку

$$H = 1854P/d^2, \quad (6.18)$$

де  $d$  – середнє арифметичне обох діагоналей відбитку після зняття навантаження, мкм.

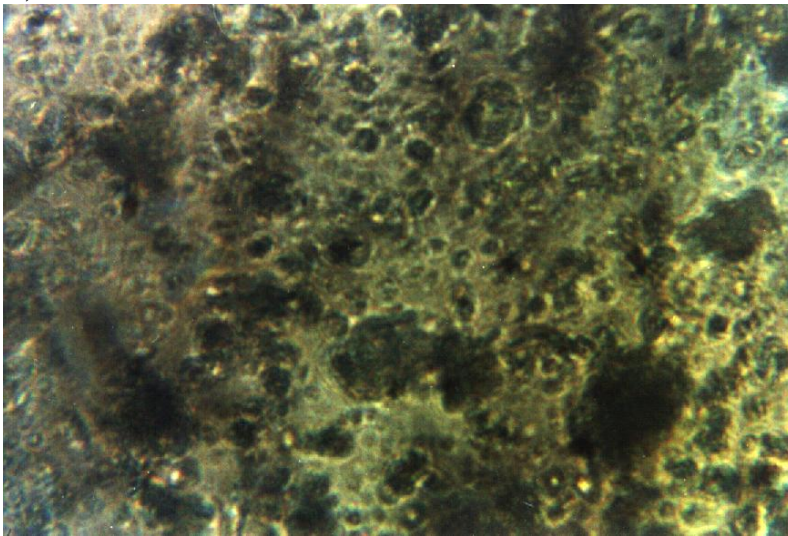
*Поляризаційні мікроскопи* (табл. 6.19) призначені для вивчення у прохідному світлі прозорих об'єктів – *імерсійних препаратів* або *прозорих шліфів* гірських порід, бетону, цементу і т. п. Дозволяють вивчати об'єкт у поляризованому світлі, яке генерується із звичайного світла за допомогою спеціального пристрою, що складається із двох кальцитових призм У. Ніколя («ніколів») – поляризатора, розташованого між джерелом світла та об'єктом, і аналізатора, розташованого між об'єктом та спостерігачем. На відміну від звичайного світла, коливання якого здійснюються у всіх напрямках, перпендикулярних променю, коливання поляризованого світла здійснюються лише в одній площині, паралельній променю. Поляризатор та аналізатор поляризують світло кожний у своїй площині. При дослідженні об'єкта тільки з поляризатором або з поляризатором та аналізатором, ніколи яких паралельні (позначається  $\parallel$ ), у полі зору спостерігаються всі його деталі – аморфні та кристалічні, а поле зору залишається світлим (рис. 6.20, *a*). При дослідженні з поляризатором і аналізатором, ніколи яких є схрещеними (позначається  $\times$ ), поле зору є темним (рис. 6.20, *б*), а спостерігаються лише кристалічні об'єкти, що характеризуються подвійним променепереломленням (див. далі кристалооптичний



метод), які при обертанні предметного столика набувають характерних для різних мінералів інтерференційних забарвлень. Поляризаційні мікроскопи оснащують окулярними лінійками та розмірними сітками.

Для зручності спостереження об'єкта в прохідному світлі спеціально виготовлений препарат з нього (імерсійний препарат, суспензію, прозорий шліф) розташовують на *предметному склі* – скляній пластинці, а для запобігання дії атмосферного повітря накривають тонким *покривним склом*.

а)



б)

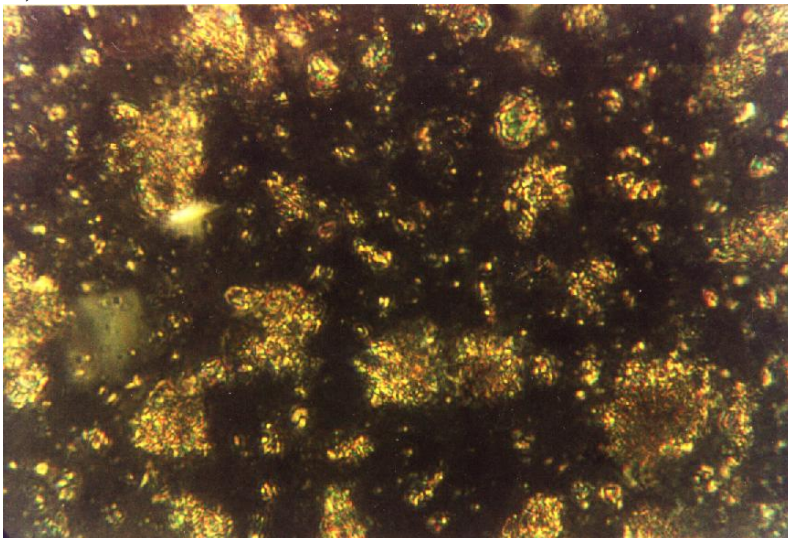


Рис. 6.20. Одне і те саме поле зору імерсійного препарату цементного каменю із бетону, що піддався морозному руйнуванню і вилуговуванню, у поляризованому світлі:

а – без аналізатора (або ніколі паралельні);

б – аналізатор увімкнений – ніколі схрещені

*Люмінесцентні мікроскопи* призначені для вивчення у відбитому або прохідному світлі об'єктів, що флюоресцують (світяться) під дією люмінесцентного випромінювання.



*Петрографія* – дослідження мінералів і гірських порід, а також штучних технічних каменів – мінеральних в'язучих, бетонів, кераміки і т.п. за допомогою світлових мікроскопів.

*Петрографічні дослідження* проводять за допомогою поляризаційних або універсальних мікроскопів (табл. 6.19) на спеціальних препаратах: імерсійних препаратах порошків (порошках, поміщених на предметному склі в імерсійні рідини з певним показником заломлення); шліфах (прозорих пластинках матеріалів, приклеєних канадським бальзамом до предметного скла); аншліфах (полірованих поверхнях).

*Кристаллооптичний метод* – основний метод петрографії, що полягає у визначенні головних оптичних констант мінералів: показників заломлення  $N$  або  $N_g$ ,  $N_m$ ,  $N_p$ ; наявності або відсутності подвійного променезаломлення, що характеризує оптичну анізотропію або ізотропію відповідно; оптичної вісності (одновісний, двовісний, тривісний); оптичного знаку кристала (оптично позитивний або негативний), кута оптичних осей.

Під час переходу світлового променя з одного середовища в інше, зокрема, з повітря у кристал, виникає явище заломлення. *Показник заломлення  $N$*  – відношення синусів кутів падіння і переломлення, для даних середовищ рівне відношенню швидкостей проходження світла в них. Оптично ізотропні тіла характеризуються однаковим коефіцієнтом заломлення у всіх напрямках. Такими є аморфні речовини і кристали кубічної системи. Решта кристалів є оптично анізотропними. Кристали гексагональної, тетрагональної і тригональної систем – одновісні, а ромбічної, моноклінної і триклінної систем – двовісні і характеризуються найбільшим  $N_g$  і найменшим  $N_p$  коефіцієнтами переломлення. Кристали ромбічної, моноклінної і триклінної систем – тривісні і характеризуються найбільшим  $N_g$ , середнім  $N_m$  і найменшим  $N_p$  коефіцієнтами заломлення.

Визначаючи ці константи і порівнюючи їх з довідковими величинами, ідентифікують мінерали.

*Імерсійний метод* – порівняльний метод визначення показника заломлення, що полягає в спостереганні під поляризаційним мікроскопом досліджуваних часток речовини при зануренні їх в різні імерсійні рідини з відомими показниками

заломлення. За появою і переміщенням (у бік середовища з більшим показником заломлення світлої смужки – смужки Бекке при піднятті тубуса мікроскопа) судять про більший або менший показник заломлення досліджуваної частки у порівнянні з показником заломлення рідини, в яку вона занурена.

*Метод суспензій* призначений для вивчення гідратації в'язучих речовин у мікропрепараті суспензії із в'язучого і води, яка поміщується між предметним і покривним склом.

*Метод прозорих шліфів* полягає у вивченні прозорих шліфів мінералу, гірської породи, цементного каменю, бетону і т. п. За допомогою поляризаційного мікроскопа в прозорих шліфах цементного каменю і бетону (рис. 6.21) визначають: мікроструктуру (взаємне розташування, форму, розміри складових – зерен, часток, пор, тріщин і т.п.); мінеральний склад заповнювачів, їх кількість; мінеральний склад кристалічних продуктів гідратації цементу; стан контакту між цементним каменем і заповнювачем, склад продуктів гідратації в зоні контакту.

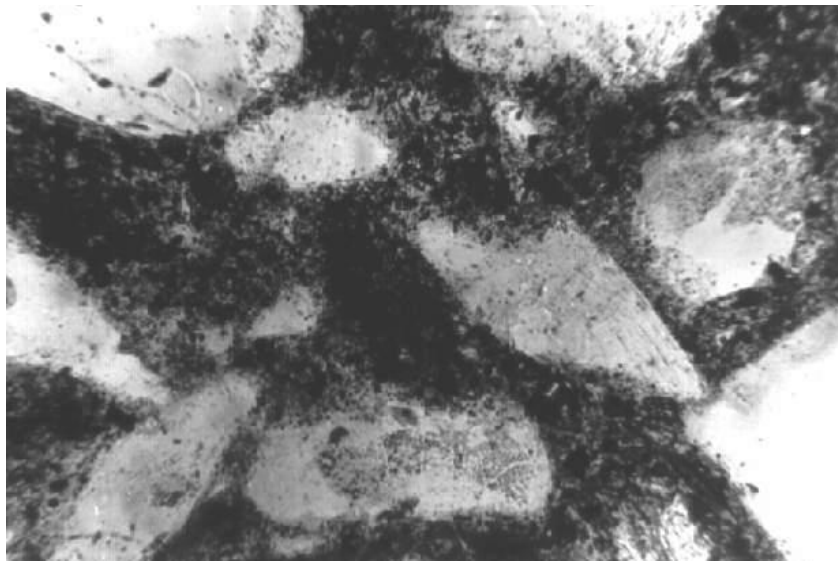


Рис. 6.21. Прозорий шліф цементного бетону під мікроскопом. Мікроскоп універсальний дослідницький МБИ-6 ЛОМО. Бетон: крупний заповнювач – граніт; дрібний заповнювач – кварц. Портландцемент ПЦ І-400,  $V/C=0,35$

Показник заломлення мінералів у шліфі оцінюють шляхом його порівняння з показником заломлення канадського бальзаму

1,53÷1,54, яким просочений шліф і який оточує всі його елементи. Кристали, показник заломлення яких значно більше показника заломлення бальзаму, здаються випуклими (характеризуються позитивним рельєфом), якщо значно менше – вогнутими (негативним рельєфом). У разі близьких значень показників заломлення кристалу і бальзаму, границя між ними є малопомітною, а кристал здається плоским. В цьому випадку для оцінки показника заломлення застосовують смужку Бекке (див. імерсійний метод).

*Мікротвердість* – показник, що також дозволяє ідентифікувати мінерали за довідковими даними. Мікротвердість визначають також для складових цементного каменю – в цьому випадку її можна використовувати для проведення кількісного експерименту (п. 6.3).

*Люмінесцентний аналіз* полягає у вивченні за допомогою люмінесцентних або інших мікроскопів у відбитому або прохідному світлі об'єктів, що флюоресцують (світяться) довільно або під дією штучного люмінесцентного випромінювання.

*Люмінесцентна дефектоскопія* є різновидом люмінесцентного аналізу і призначена для визначення на шліфі або зрізі матеріалу дефектів його структури – пор, тріщин, нещільностей в контактних зонах між цементним каменем і заповнювачем і т. п. На шліф або зріз матеріалу наносять спеціальну флюоресцюючу рідину або порошок – люмінофор, надлишок видаляють. Люмінофор залишається у вказаних дефектах структури, які при опромінюванні поверхні ультрафіолетовим світлом інтенсивно світяться. Свічення спостерігають візуально або за допомогою бінокулярного мікроскопа, фотографують (рис. 6.22). За фотознімками шляхом вимірювань і розрахунків визначають розміри та об'єм дефектів, пористість і т. п.

Детально методики виготовлення шліфів та імерсійних препаратів, їх досліджень наведені у [15;16] та інших джерелах, вказаних у [15;16].

**Мікроскопічне дослідження фракційного складу портландцементу здійснюють за допомогою мікроскопа**

універсального дослідницького МБИ-6 ЛОМО в імерсійних препаратах з імерсійною рідиною – маслом гвоздиковим (рис.6.23) шляхом прямого підрахунку в них (поле зору періодично переміщують) кількості часток, відповідних інтервалам розмірів  $0\div 10$ ;  $10\div 20$ ;  $20\div 30$  і т.д. до  $130\div 140$  мкм. Розміри часток визначають за допомогою окулярної лінійки. Загальна кількість часток у виборці повинна бути не менше 3000.

а)



б)

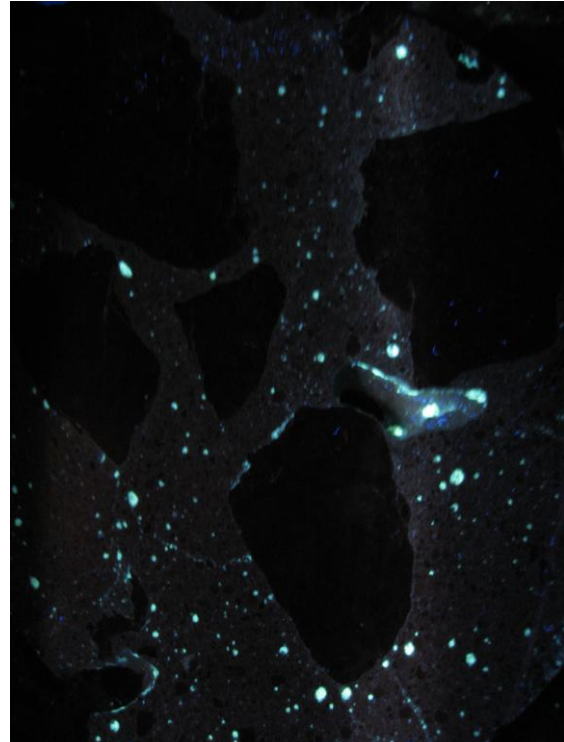


Рис. 6.22. Мікрофотознімки зрізу бетону, обробленого люмінофором: *а* – у звичайному світлі; *б* – в ультрафіолетовому світлі;  $7,5\times$ . Бінокулярний мікроскоп МБС-2. Бетон з  $V/C = 0,42$ .

На знімку *б* видно заповнені люмінофором: одну крупну повітряну пору неправильної форми; багато дрібних круглих пор; нещільність навколо зерен заповнювача у вигляді «ореолу»; тріщину в нижньому правому куті знімка

Масу кожної фракції  $m_i$  та її масову частку від загальної кількості цементу  $x_i$  розраховували за формулами

$$m_i = N_i \times \frac{\pi d_i^3}{6} \times \rho_u, \text{ кг}; \quad x_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (6.19)$$

де  $N_i$  – кількість підрахованих часток, відповідних даній фракції, шт.;

$d_i$  – середній розмір частки даної фракції (для фракції 0÷10 –  $0,5 \times 10^{-5}$  м, 10÷20 –  $1,5 \times 10^{-5}$  м і т.д.);

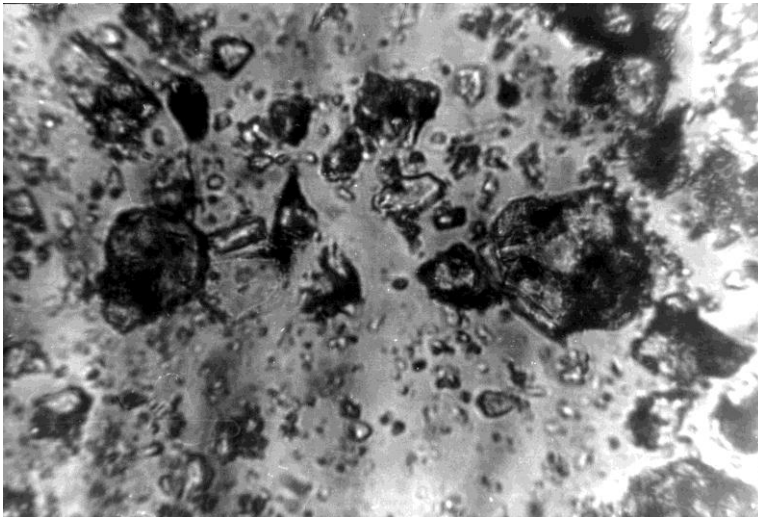
$\rho_u$  – густина цементу, 3100 кг/м<sup>3</sup>;

$n$  – кількість встановлених фракцій.

За результатами розрахунків будують гістограму розподілу часток цементу за розмірами (рис. 6.23, б), за якою визначають розміри основних фракцій цементу і середній розмір часток цементу.

В результаті аналізу гістограми (рис. 6.23) встановлена наявність в цементі визначних фракцій з середніми розмірами часток близько 35 і 65 мкм і встановлено середній розмір часток цементу близько 50 мкм.

а)



б)

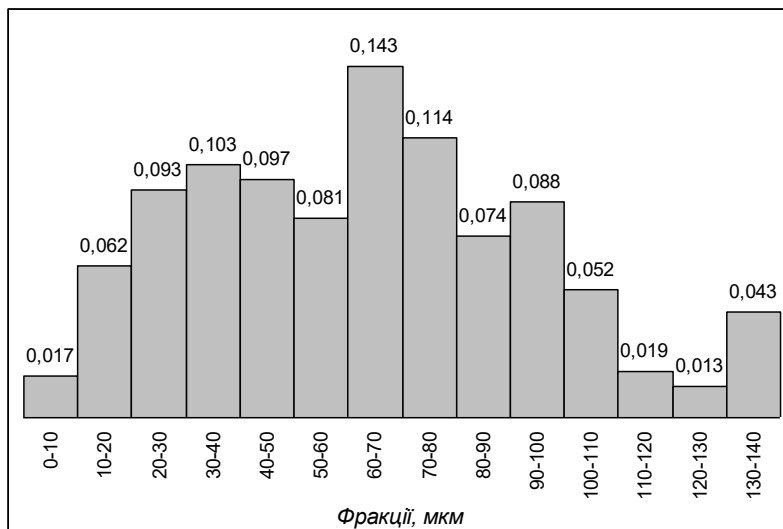


Рис. 6.23  
Мікроскопічне дослідження фракційного складу портландцементу в імерсійному препараті: а – мікрофотознімок імерсійного препарату; б – гістограма розподілу часток цементу за розмірами

**Мікроскопічне дослідження твердіння гіпсу з добавкою доменного гранульованого шлаку здійснюють за допомогою мікроскопа універсального дослідницького МБИ-6 ЛОМО методом суспензій. Суміш гіпсу (напівгідрату сульфату кальцію) та меленого доменного гранульованого шлаку у вигляді ~1 мг порошку поміщують на предметне скло, накривають покривним склом і вносять під нього скляною паличкою краплю води. Препарат поміщують під мікроскоп і фотографують через 5, 10, 15, 20 і т.д. хв. після замішування порошку водою (рис. 6.24).**

В результаті аналізу мікрофотознімків (рис. 6.24) встановлено, що протягом 20 хв напівгідрат сульфату кальцію розчиняється, утворюються голкоподібні кристали двогідрату сульфату кальцію, які зростають і утворюють структуру твердіння, проростаючи в зазорах між різними частками і з'єднуючи їх. Частки шлаку видимим змінам не піддаються і є підкладками для кристалів двогідрату, отже, в гідратації на ранніх стадіях участі не беруть і виконують функції наповнювача.

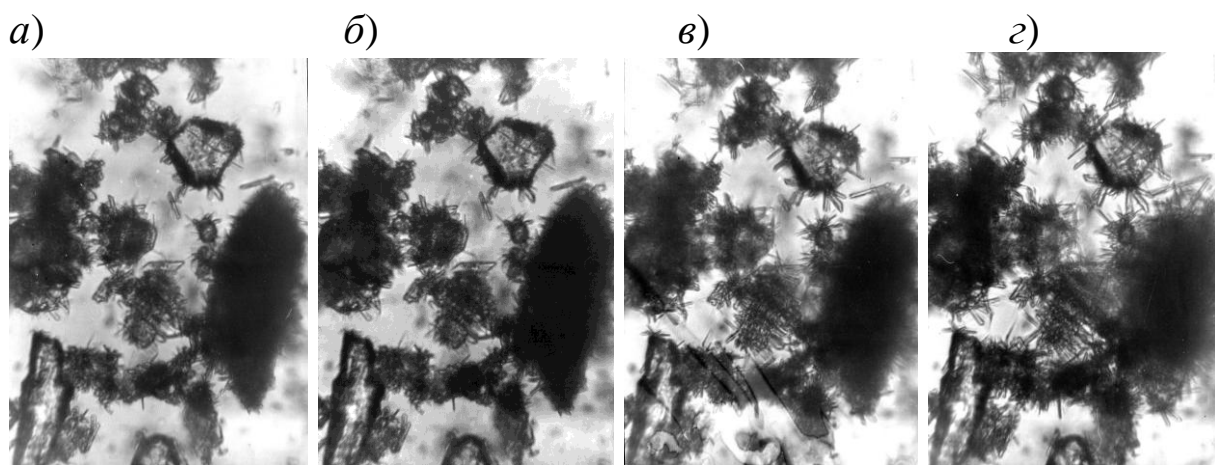


Рис. 6.24. Мікроскопічне дослідження твердіння гіпсу – напівгідрату сульфату кальцію з добавкою доменного гранульованого шлаку. Мікрофотознімки після замішування водою через: *a* – 5 хв; *б* – 10 хв; *в* – 15 хв; *г* – 20 хв. Водний препарат. Мікроскоп універсальний дослідницький МБИ-6 ЛОМО

**Електронна мікроскопія є одним з найбільш інформативних методів фізико-хімічних досліджень будівельних матеріалів і здійснюється за допомогою електронних мікроскопів**

(ЕМ). ЕМ – прилади для спостереження і фотографування багатократно збільшеного зображення об'єктів, в яких на відміну від світлових мікроскопів замість світлових променів використовується пучок електронів, прискорений в умовах глибокого вакууму до великих енергій, замість джерела світла – електронно-променева гармата, а замість скляних лінз – електромагнітні (табл. 6.18, рис. 6.18, 6.25). Основні два види ЕМ (табл. 6.20, рис. 6.26) – просвічувальні (ПЕМ) і сканувальні, або растрові (СЕМ, РЕМ). Останніми десятиліттями з'явилися нові види мікроскопів – сканувальний тунельний мікроскоп (СТМ), атомно-силовий мікроскоп (АСМ), які за принципом дії можна віднести до електронних умовно.

Історичний нарис створення і застосування електронних мікроскопів:

- 1834 р. – У.Р. Гамільтон виявляє аналогію між проходженням світлових променів в оптично неоднорідних середовищах і траєкторіями часток в силових полях;
- 1897 р. – Дж.Томсон відкриває електрон;
- 1924 р.– Л.де Бройль висуває гіпотезу про корпускулярно-хвильовий дуалізм всіх видів матерії;
- 1926 р.– К. Девісон і Л. Гермер експериментально встановлюють хвильові властивості електрона; Х. Буш (Німеччина) створює мігнітну лінзу;
- 1931 р.– Р.Руденберг патентує ПЕМ;
- 1932 р.– Е.Руска, М.Кнолл (Німеччина) створюють перший зразок ПЕМ;
- 1934 р.– Л.Мартон створює перший у США ПЕМ;
- 1938 р.– А.Пребус, Дж.Хілліер (університет Торонто, Канада) створюють перший практичний ПЕМ; М.фон Арденне (Німеччина) створює перший СЕМ;
- кін. 1930-х рр.– випуск фірмою Siemens першої комерційної моделі ПЕМ; початок застосування ПЕМ в наукових дослідженнях;
- 1942 р. – В.К. Зворикін створює перший у США СЕМ;
- 1959 р. – Сумський ЗЕМ випускає першу вдалу серійну вітчизняну модель ПЕМ – ЭМ-5;



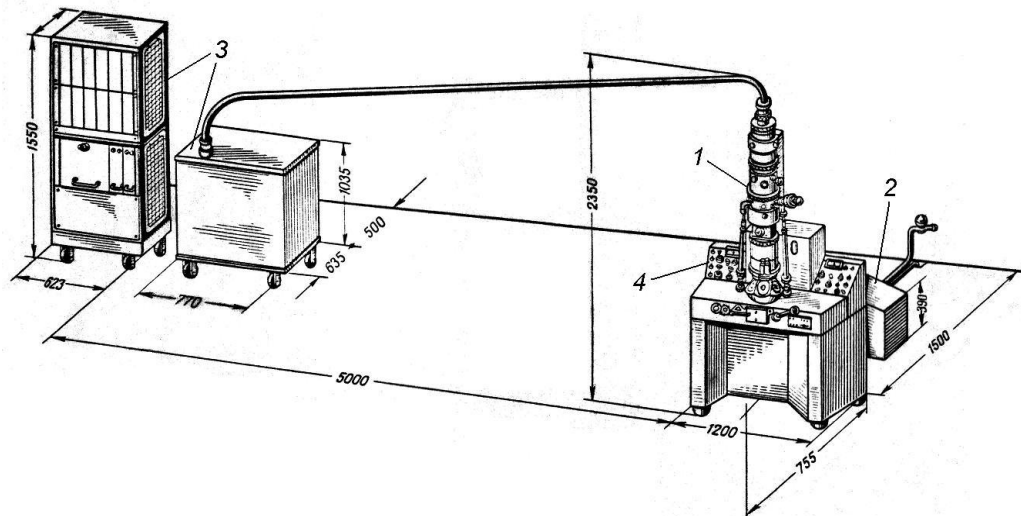
Таблиця 6.20

## Характеристики деяких моделей електронних мікроскопів

Тип	Роки випуску	Торговельна марка <sup>1</sup> , модель, назва виробника	Максим. прискорюв. напруга, кВ	Розділення, Å	Діапазон збільшень, ×
ПЕМ	1960÷90-ті	ЭМ-5, Сумський ЗЕМ	60	20	1 000 ÷ 90 000
		Tesla BS 413A		10	до 200 000
		Siemens Elmiskope-1	80	8	до 200 000
		УЭМВ-100К, Сумський ЗЕМ	100	8	300 ÷ 200 000
		Hitachi HU-11B	75	4,5	до 500 000
		ЭМ-125, ВО Електрон	125	2,0	100 ÷ 800 000
	сучасні	SELMИ ПЭМ-100-01	100	3,4	50 ÷ 600 000
		JEOL JEM-1010	100	2,0	50 ÷ 1 000 000
		JEOL JEM-3000	300	1,7	60 ÷ 1 500 000
		SELMИ ПЭМ-125К	125	1,4	50 ÷ 1 300 000
		JEOL JEM-2010	200	1,4	50 ÷ 1 500 000
		FEI Titan ETEM	300	1,0	до 1 500 000
		Hitachi H-9500	300	1,0	200 ÷ 1 500 000
СЕМ	1980÷90-ті	РЭМ-100У, ВО Електрон	40	70	20 ÷ 320 000
		РЭММА-202А, ВО Електрон	40	70	10 ÷ 400 000
		РЭМ-101, ВО Електрон	40	50	10 ÷ 500 000
		Philips XL30 ESEM-TMP	30	35	5 ÷ 400 000
		JEOL JSM-840	35	35	10 ÷ 300 000
		JEOL JSM-6510	30	30	5 ÷ 300 000
	сучасні	SELMИ РЭМ-106И	30	40	15 ÷ 300 000
		JEOL JSM-7000F	30	12	10 ÷ 500 000
		JEOL JSM-7400F	30	10	25 ÷ 1 000 000
		FEI Nova NanoSEM 230	30	10	до 1 000 000
		Tescan Mira II	30	10	4 ÷ 1 000 000
		JEOL JSM-7700F	30	6	25 ÷ 2 000 000

<sup>1</sup> Торговельні марки належать найвідомішим вітчизняним і світовим виробникам мікроскопів: Сумський ЗЕМ – Сумський завод електронних мікроскопів, з 1983 р. – Виробниче об'єднання «Електрон», з 1994 р – SELMI – ВАТ «Sumy Electron Microscopes», м. Суми, СРСР – Україна; Tesla, м.Брно, ЧССР; Siemens, Німеччина; Hitachi – Японія; JEOL – Japan Electron Optics Laboratory, Японія; FEI Company, м.Хілсборо, Орегон, США; Philips Electron Optics (влилась у FEI Company); Tescan s.r.o., м. Брно, Чехія.

a)



б)



в)

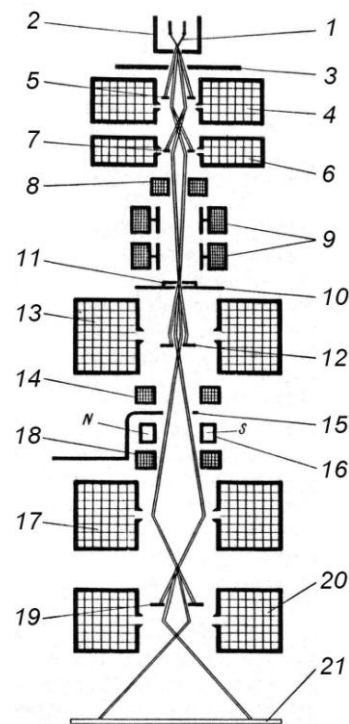


Рис. 6.25. Просвічувальний електронний мікроскоп  
УЭМВ-100К (УкрДАЗТ):

*a* – основні блоки: 1 – колона; 2 – вакуумний насос; 3 – високовольтні шафи джерела живлення; 4 – пульт управління; *б* – колона і пульт управління мікроскопа; *в* – оптична схема: 1 – катод; 2 – фокусуєчий електрод; 3 – анод; 4 – перший конденсор; 5 – діафрагма першого конденсора; 6 – другий конденсор; 7 – діафрагма другого конденсора; 8 – стигматор другого конденсора; 9 – призми для юстування освітлювача; 10 – столик об’єктів; 11 – об’єкт; 12 – апертурна діафрагма; 13 – об’єктивна лінза; 14 – стигматор об’єктивної лінзи; 15 – селекторна діафрагма; 16 – механізм юстування об’єктива; 17 – проміжна лінза; 18 – стигматор проміжної лінзи; 19 – діафрагма поля зору; 20 – проекційна лінза; 21 – флуоресуючий екран

- 1960-ті рр.– у зв'язку з підвищенням технічної досконалості ПЕМ розпочинається їх широке застосування у наукових дослідженнях;

- 1960÷80-ті рр.– активне застосування ПЕМ у дослідженнях будівельних матеріалів;

- 1981 р.– Г. Біннинг (Німеччина) і Г. Рорер (Швейцарія) створюють СТМ;

- 1986 р.– Г. Біннинг і К. Гербер у США створюють АСМ;

а)



б)



в)



г)

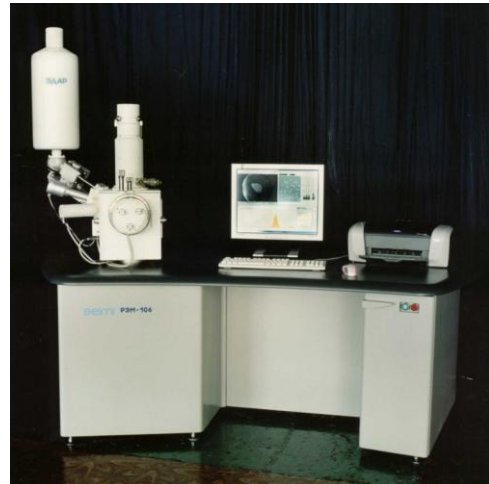


Рис. 6.26. Сучасні моделі електронних мікроскопів – просвічувальних (а, б) і сканувальних (в, г), іноземного (а, в) і вітчизняного (б, г) виробництва: а – JEOL JEM-3100 (Японія); б – SELMI ПЭM-125K (Україна); в – Tescan Mira II (Чехія); г – SELMI PЭM-106И (Україна)

- 1986 р.– Е. Руска, Г. Біннингу і Г. Рореру присуджено Нобелівську премію з фізики за створення електронних мікроскопів;

- 1990-ті рр.– оснащення всіх типів ЕМ системами одержання цифрових зображень; ПЕМ досягають розділення окремих атомів (рис. 6.27);

- 1990-2000-ті рр.– активне застосування СЕМ у дослідженнях будівельних матеріалів (рис. 6.28), СТМ і АСМ для досліджень будівельних матеріалів доки не застосовуються.

Просвічувальний електронний мікроскоп (ПЕМ, *transmission electron microscope, TEM*, рис. 6.18, 6.25, 6.26 а, б, табл. 6.20) складається з колони 1 (рис. 6.25, а), у якій змонтована електронно-оптична система і в якій при роботі за допомогою вакуумного насоса 2 створюється вакуум, високовольтних шаф джерела живлення 3, пульта управління 4.

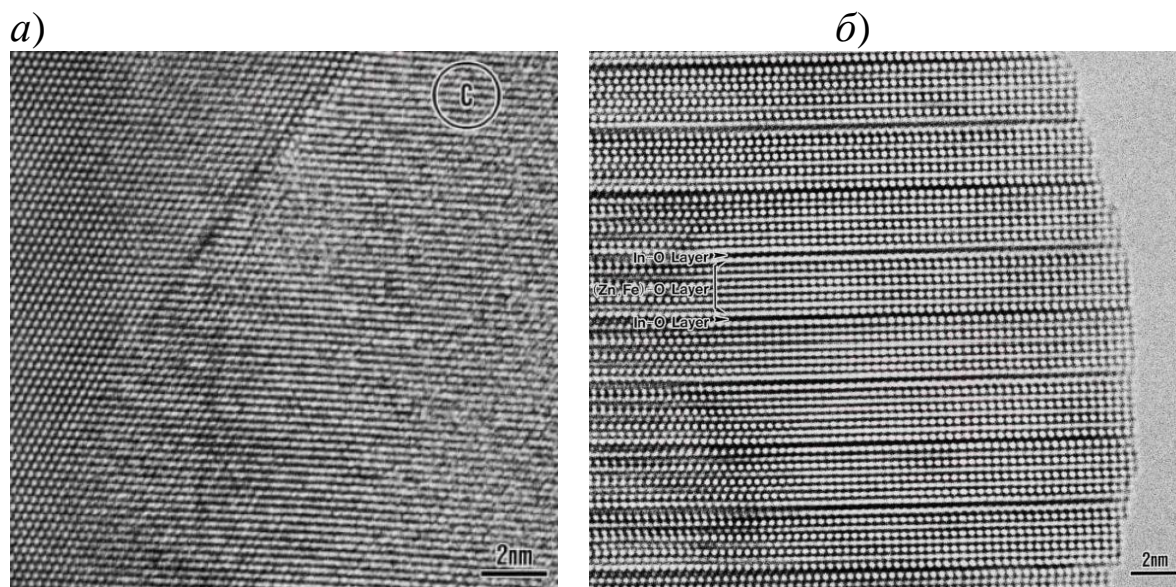


Рис. 6.27. Електронно-мікроскопічні знімки кристалічних структур, отримані за допомогою ПЕМ JEOL JEM-3100 (Японія):  
а – ZnO; б – InFeO<sub>3</sub>(ZnO)<sub>6</sub>

У ПЕМ, наприклад УЭМВ-100К (рис. 6.25, в), пучок електронів, які емітує розжарений високою напругою (до 100 кВ) вольфрамовий катод 1, в електронній гарматі 1÷3 формується фокусуючим електродом 2 і прискорюється анодом 3,



фокусується конденсорними лінзами 4, 6 на досліджуваному об'єкті 11 у вигляді електронної «плями» розміром  $1 \div 20$  мкм. Після проходження крізь об'єкт частина електронів розсіюється і затримується апертурною діафрагмою 12. Нерозсіяні електрони проходять крізь отвір діафрагми і фокусуються об'єктивною лінзою 13 як перше збільшене зображення в площині проміжної лінзи 17. Подальші лінзи створюють друге і так далі зображення. Остання проєкційна лінза 20 формує зображення на флуоресцуючому екрані 21, який світиться під дією електронів. Під екраном, який прибирають при фотографуванні, розташовується магазин з фотопластинами.

Сучасні ПЕМ замість магазину з фотопластинами оснащують матрицею світлочутливих елементів, що дозволяє отримувати цифрове зображення, яке передається на ПК. ПЕМ дозволяють отримувати світлопільні і темнопільні зображення, проводити мікродифракційні дослідження (аналіз характеристик матеріалу об'єкта на площі  $1 \div 2$  мкм<sup>2</sup>) і т.д.

Вказана конструкція принципово характерна для всіх ПЕМ, які можуть відрізнятися кількістю лінз, величинами прискорюючої напруги і т.п. У зв'язку з конструкцією та іншими особливостями ПЕМ до об'єктів ставляться такі основні вимоги: мала товщина – близько 0,1 мкм у зв'язку з малою проникною здатністю електронів; стійкість до термічних дій і до високого вакууму; контрастність. Це вимагає застосування складної техніки препарування об'єктів, методики яких різноманітні та не є уніфікованими.

Для прямих спостережень об'єкта з нього готується тонкий порошок, потім суспензія в якій-небудь рідині. Крапля суспензії наноситься на плівку-підкладку і після випаровування рідини придатна для спостереження в ПЕМ. Масивні об'єкти в ПЕМ досліджують непрямим методом – *методом реплік*, згідно з яким на досліджувану поверхню напиляється тонкий шар якого-небудь матеріалу – *репліка*, яка після відділення від зразка є придатною для спостереження в ПЕМ.

При дослідженнях будівельних матеріалів ПЕМ використовують переважно для аналізу процесу твердіння мінеральних в'язучих речовин і продуктів їх твердіння. При цьому застосовуються такі методики препарування: приготування

розбавлених водних суспензій в'язучої речовини; приготування суспензій дезінтегрованого затверділого каменю в органічних рідинах, зокрема етиловому спирті; отримання одноступінчатих вугільних і більш контрастних платиновугільних реплік з поверхні зламу каменя; отримання двоступінчатих целюлозно-вугільних реплік.

Одноступінчаті *вугільні* та *платиновугільні репліки* готують таким чином. Зразок цементного каменю поміщують під колокол електровакуумного посту ЭВП-2 для напилення реплік зламом догори та під кутом до джерела вуглецю. Джерелом вуглецю є вугільні електроди, в один з яких може бути вставлена платинова дротинка (для платиновугільної репліки). Під колоколом створюють вакуум і розжарюють електроди спочатку до червоного каління, потім на  $0,5 \div 1$  с до синього ореолу. При цьому здійснюється напилення вуглецю або вуглецю з платиною на злам цементного каменю. Напилений зразок поміщують у суміш соляної *HCl* і плавикової *HF* кислот, в якій зразок розчиняється, а репліка спливає. Репліку промивають в соляній кислоті, потім в дистильованій воді і поміщують на мідну препарувальну сітку, на якій її вносять у ПЕМ.

Детально методики виготовлення суспензій, реплік та їх досліджень за допомогою ПЕМ наведені у [15;16] та інших джерелах, вказаних у [15;16].

*Сканувальний (растровий) електронний мікроскоп (СЕМ, РЕМ, scanning electron microscope, SEM*, рис. 6.18, 6.26 в, г, 6,28, табл. 6.20) працює за принципом сканування (розгортки) – послідовного переміщення по об'єкту від точки до точки тонко сфокусованого електронного пучка середніх енергій – «електронного зонда». Сканування проводиться в умовах високого вакууму. Частина електронів відбивається від поверхневих шарів об'єкта (відбиті електрони), крім того, опромінення поверхні пучком електронів обумовлює емісію вторинних та зворотно-розсіяних електронів, а також випускання характеристичного рентгенівського випромінювання. В залежності від наявних детекторів і режимів роботи мікроскоп реєструє відбиті та емітовані електрони, рентгенівське випромінювання. Звичайно для одержання та візуалізації інформації про структуру поверхні використовують відбиті та вторинні електрони. Зворотно-розсіяні

електрони та рентгенівське випромінювання несуть додаткову інформацію про характеристики матеріалу об'єкта.

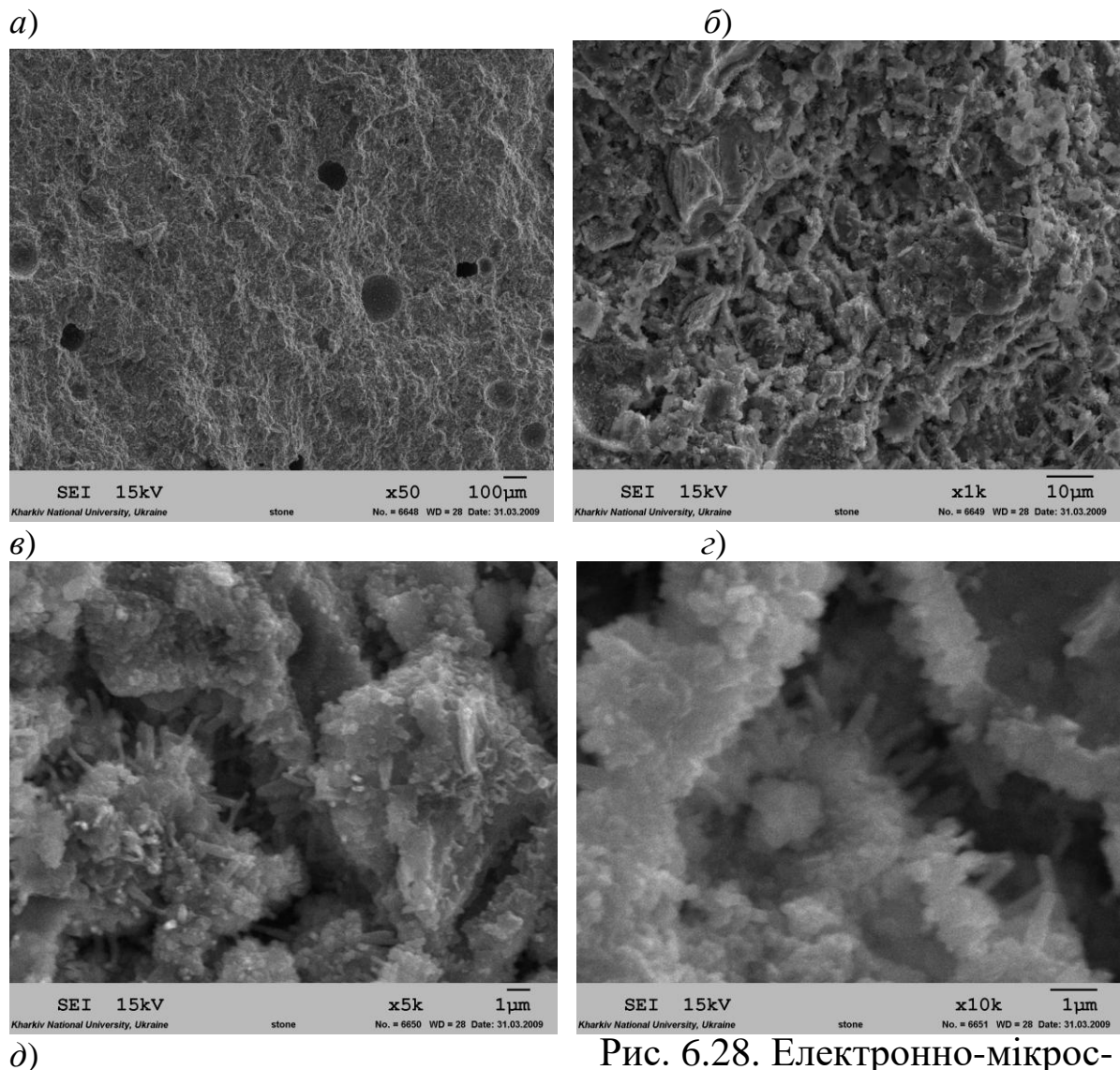


Рис. 6.28. Електронно-мікроскопічні знімки цементного каменю, отримані за допомогою SEM JEOL JSM-840; прискорююча напруга 15 кВ; збільшення: *a* –  $\times 50$ ; *б* –  $\times 1000$ ; *в* –  $\times 5000$ ; *г* –  $\times 10000$ ; *д* – SEM JEOL JSM-840 (ХНУ ім. В.Н.Каразіна). При  $\times 50$  і  $\times 1000$  видно дисперсну структуру цементного каменю і пори в ньому. При  $\times 5000$  і  $\times 10000$  виразно видно геліві (щільні утворення із округлих часток) і кристалогідратні (довгугваті частки довжиною бл. 1 мкм) продукти гідратації цементу



Розмір електронного зонда і розмір області його взаємодії з об'єктом набагато більше відстані між атомами об'єкта, тому розділення СЕМ не настільки велике, щоб відображати атомарні масштаби, як це можливо, наприклад, в ПЕМ (рис. 6.27). Проте, СЕМ має свої переваги, включаючи здатність візуалізувати порівняно велику область зразка, здатність досліджувати не тільки спеціально підготовлені препарати, але й масивні об'єкта без спеціальної підготовки (сколи цементного каменю і т. п.), а також різноманітність аналітичних методів, що дозволяють визначати характеристики матеріалу об'єкту. Залежно від конкретного приладу і параметрів експерименту може бути отримане розділення від десятків до одиниць нанометрів (табл. 6.20).

*Скандувальний тунельний мікроскоп (СТМ, scanning tunneling microscope, STM, рис. 6.18)* призначений для вимірювання рельєфу провідних поверхонь з високим просторовим розділенням. У СТМ гостра металева голка підводиться до зразка на відстань декількох ангстремів. При подачі на голку щодо зразка невеликого потенціалу виникає тунельний струм, величина якого експоненційно залежить від відстані «зразок – голка». В процесі сканування голка рухається уздовж зразка, тунельний струм підтримується стабільним за рахунок дії зворотного зв'язку, і показання слідкувальної системи міняється залежно від топографії поверхні. Такі зміни фіксуються і на їх основі будується карта висот. Обмеження на використання методу накладаються умовою провідності зразка і умовою «глибина канавки повинна бути менше її ширини».

*Атомно-силовий мікроскоп (АСМ, atomic-force microscope, AFM, рис. 6.18)* – сканувальний зондовий мікроскоп високого розділення, заснований на взаємодії зонда – кантилевера з поверхнею досліджуваного об'єкта. Зазвичай під взаємодією розуміється притягіння або відштовхування зонда кантилевера, обумовлене Ван-дер-Ваальсовими силами. При використанні спеціальних кантилеверів можливо вивчати електричні та магнітні властивості поверхні. На відміну від СТМ, за допомогою АСМ можна досліджувати як провідні, так і непровідні поверхні. Крім того, АСМ здатний вимірювати рельєф зразка, зануреного в

рідину, що дозволяє працювати з органічними молекулами, включаючи ДНК. Просторове розділення АСМ залежить від радіусу кривизни кінчика зонда. Розділення досягає атомарного по вертикалі й істотно перевищує його по горизонталі.

### **Використання просвічувальних електронних мікроскопів старих типів в сучасних умовах – підвищення розділення і збільшення зображень за допомогою сканера і ПК**

На жаль, вартість сучасних СЕМ дуже велика і вітчизняна галузева прикладна наука в основному позбавлена доступу до них. Разом з тим електронно-мікроскопічні дослідження залишаються актуальними в умовах наявності парку ПЕМ старих типів – ЭМ-125, УЭМВ-100К і навіть ЭМ-5 (табл. 6.20).

Істотного підвищення розділення та збільшення отримуваних зображень можливо досягти шляхом застосування сканера для сканування фотоплівки і ПК. Застосовувані в УкрДАЗТ електронні мікроскопи – ЭМ-5, а також УЭМВ-100К (рис. 6,25, б) модернізован для застосування сучасних фотоматеріалів. У цих ПЕМ фотокамера з фотоплівками розташована після проєкційної лінзи 20 (рис. 6.25) по ходу електронного пучка за флюоресцюючим екраном 21, який при фотографуванні прибирається, тобто збільшення на фотоплівці відповідає збільшенню на екрані.

Теоретична роздільна здатність за (6.15) складає: ЭМ-5 з  $U = 60$  кВ –  $0,4 \text{ \AA}$ ; УЭМВ-100К с  $U = 100$  кВ –  $0,3 \text{ \AA}$ . Їх паспортне розділення складає: ЭМ-5 –  $20 \text{ \AA}$ , УЭМВ-100К –  $8 \text{ \AA}$ . Роздільна здатність негативних фотографічних плівок наведена в табл. 6.21. При цьому розділення в мікрометрах (мкм), наприклад для фотоплівки чутливістю 16 од., за ГОСТ, розраховано таким чином:  $(1/90) \times 1000 = 11,1$ . В середньому, розділення фотоплівки складає  $10 \text{ мкм}$ .

Оскільки розділення ЭМ-5 –  $20 \text{ \AA}$ , а УЭМВ-100К –  $8 \text{ \AA}$ , при збільшенні зображення для ЭМ-5  $(10 \text{ мкм} / 20 \text{ \AA}) = (10 \times 10^{-6} / 20 \times 10^{-10}) = 0,5 \times 10^4 = 5000^\times$ , а для УЭМВ-100К  $(10 \text{ мкм} / 8 \text{ \AA}) = (10 \times 10^{-6} / 8 \times 10^{-10}) = 1,25 \times 10^4 = 12500^\times$  кожен помітний об'єкт на фотоплівці відповідатиме об'єкту, розділеному мікроскопом (рис. 6.29).

Таблиця 6.21

## Роздільна здатність фотоплівок

Світлочутливість фотоплівки, од.			Роздільна здатність	
ГОСТ	DIN	ASA	ліній/мм	мкм
11÷16	11÷13	12÷17	90	11,1
32	16	35	116	8,62
65	19÷20	70	92	10,9

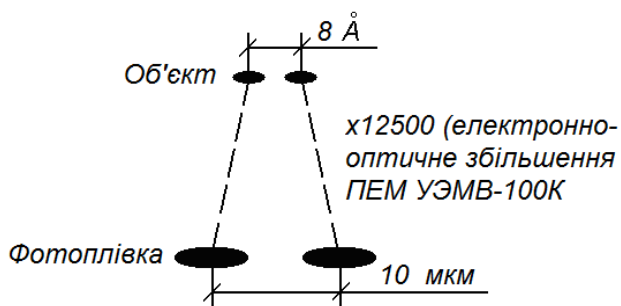


Рис. 6.29. Схема збільшення зображення об'єкта в ПЕМ УЭМВ-100К для повної реалізації розділення на фотоплівці

Якщо прийняти розділення таким, що наближається до теоретичного  $1 \text{ \AA}$ , при збільшенні зображення у  $(10 \text{ мкм} / 1 \text{ \AA}) = 100000^\times$  кожен розділений об'єкт на фотоплівці також буде відповідати об'єкту розміром  $1 \text{ \AA}$ , розділеному електронним пучком.

Таким чином, фотоплівка при створюваних ЕМ-5 збільшеннях понад  $5000^\times$ , а УЭМВ-100К –  $12500^\times$  відбиває всі об'єкти розміром від  $20$  і  $8 \text{ \AA}$ , відповідно, а при більших збільшеннях, можливо, і менші об'єкти.

Зображення на фотоплівках перетворюють в цифрові за допомогою сканерів. Сканер перетворює тіні та кольори оптичного зображення в цифровий код. На скановане зображення спрямовується промінь світла, який, відбиваючись (або проходячи крізь нього), потрапляє на колірний лінійний датчик CCD – лінійку світлочутливих приладів із зарядовим зв'язком ПЗС, переміщувану уздовж зображення за допомогою мікрометричного крокового двигуна. В залежності від кількості світла, яке падає на ПЗС, змінюється струм, що протікає крізь нього. Високочутливий вимірювальний пристрій визначає зміни і перетворює їх за ступенем яскравості в числа. Виходячи з кожного числа, визначається ступінь затемнення окремого пікселя (picture element – елемент зображення) – точки, складової

частини зображення на моніторі комп'ютера. Одержуване зображення – растрове.

На початку 2000-х рр. випускалися спеціалізовані сканери для сканування фотоплівок PrimeFilm 1800U, Microtek FilmScan 35 розділенням 1800× 1800/19200 dpi (dots per inches, точок на дюйм). У вказаному позначенні розділення перше число позначає оптичне розділення за горизонталлю, обумовлене відстанню між ПЗС на CCD, друге число – апаратне розділення за вертикаллю, обумовлене кроком двигуна, третє число – програмне розділення, що забезпечується програмним забезпеченням (драйвером) сканера за рахунок створення додаткових проміжних точок шляхом інтерполяції. Розділенню 1800 dpi відповідає розділення  $(25,4 \times 1000 / 1800) = 14,1$  мкм, де 25,4 – міліметрів у дюймі.

В теперішній час основними виробниками сканерів є Mustek, Canon, Hewlett Packard, Epson. Частина сканерів цих виробників обладнана для сканування фотоплівок і фотопластин на провіт (табл. 6.22).

Таблиця 6.22

Роздільна здатність сканерів для сканування фотоплівок

Розділення		Моделі сканерів	Вартість у 2007 р., грн.
dpi	мкм		
1200×2400/19200	21,2	Mustek Be@rPaw 2448TA	310÷360
1800×1800/19200 dpi	14,1	PrimeFilm 1800U	–
2400×2400/unlimited	10,6	HP ScanJet 3800 HP ScanJet 4600	520÷640
3200×9600/12800	7,9	Epson Perfection V100 Photo	580
4800×4800/unlimited 4800×9600/12800 4800×9600/unlimited	5,3	HP ScanJet G3010 Epson Perfection 4490 Photo HP ScanJet G4050	580÷1100
6400×9600/12800	4,0	Epson Perfection V700 Photo	3260

Застосовуваний в УкрДАЗТ для сканування фотопластин сканер – PrimeFilm 1800U (табл.6.22). Розрахунок режимів

фотографування і сканування, що забезпечують повну реалізацію роздільної здатності мікроскопів ЭМ-5 та УЭМВ-100К 20 і 8 Å, відповідно, поданий в табл. 6.23.

Таблиця 6.23

Розрахунок режимів фотографування і сканування з допомогою PrimeFilm 1800U

Характеристика	Позначення і розрахункова формула	Од. вим.	Величина							
Мінімум розмір об'єкта	$D_{об}$	М	$2 \times 10^{-9} / 0,8 \times 10^{-9}$							
Збільшення	X	«	1000 <sup>x</sup>	5000 <sup>x</sup>	7100 <sup>x</sup>	7500 <sup>x</sup>	17700 <sup>x</sup>	30000 <sup>x</sup>	60000 <sup>x</sup>	90000 <sup>x</sup>
Розмір мінімуму об'єкта на фотопластинці	$D_{\phi n} = D_{об} \times X$	«	$\frac{2,0 \times 10^{-6}}{0,8 \times 10^{-6}}$	$\frac{1,0 \times 10^{-5}}{0,4 \times 10^{-5}}$	$\frac{1,42 \times 10^{-5}}{0,57 \times 10^{-5}}$	$\frac{1,50 \times 10^{-5}}{0,60 \times 10^{-5}}$	$\frac{3,54 \times 10^{-5}}{1,42 \times 10^{-5}}$	$\frac{6,00 \times 10^{-5}}{2,40 \times 10^{-5}}$	$\frac{1,20 \times 10^{-4}}{0,48 \times 10^{-4}}$	$\frac{1,80 \times 10^{-4}}{0,72 \times 10^{-4}}$
Роздільня фотопластинки	$R_{\phi n}$	«	$1 \times 10^{-5}$							
Відбиття мінімуму об'єктів на фотопластинці			<u>ні</u> ні	<u>так</u> ні	<u>так</u> ні	<u>так</u> ні	<u>так</u> так	<u>так</u> так	<u>так</u> так	<u>так</u> так
Потрібне роздільня сканера	$R_{ск} = 0,0254 / D_{\phi n}$	dpi	$\frac{12700}{31750}$	$\frac{2540}{6350}$	$\frac{1789}{4471}$	$\frac{1693}{4234}$	$\frac{718}{1794}$	$\frac{423}{1058}$	$\frac{212}{529}$	$\frac{141}{353}$
Мах роздільня сканера		«	1800							
Застосовність сканера			<u>ні</u> ні	<u>ні</u> ні	<u>так</u> ні	<u>так</u> ні	<u>так</u> так	<u>так</u> так	<u>так</u> так	<u>так</u> так

Таким чином, при збільшенні ЭМ-5 7100<sup>x</sup> та більше, а УЭМВ-100К 17700<sup>x</sup> та більше на фотоплівці відбиваються всі об'єкти розміром, відповідно, від 20 і 8 Å, при цьому розмір зображення складає не менше 14,1 мкм, що відповідає роздільній здатності сканера (рис. 6.30). Для отримання цифрового зображення (сканування) без втрати роздільня електронного пучка слід застосовувати режими зйомки і сканування, подані в табл. 6.24.

Подальше збільшення цифрового зображення досягається за допомогою ПК. Збільшення можливе до будь-яких розмірів, проте роздільня залишається незмінним – 20 і 8 Å для ЭМ-5 і УЭМВ-100К, відповідно (можливо, і краще – до 1 Å). На думку

О.Г. Холодного, перевага збільшення цифрового зображення за допомогою ПК у порівнянні зі збільшенням аналогового зображення (на фотоплівці) за допомогою фотозбільшувача полягає в повній відсутності втрат якості (яскравості, контрастності, викривлень від оптичних ефектів), неминучих при використанні фотозбільшувача.

Таблиця 6.24

Рекомендовані режими фотографування і сканування

Збільшення ПЕМ	Рекомендоване розділення сканера, dpi, для знімків, одержаних за допомогою ПЕМ:	
	ЭМ-5	УЭМВ-100К
15000 <sup>x</sup>	1800	1800
30000 <sup>x</sup>	1200	1800
60000 <sup>x</sup>	600	1200
90000 <sup>x</sup>	300	600

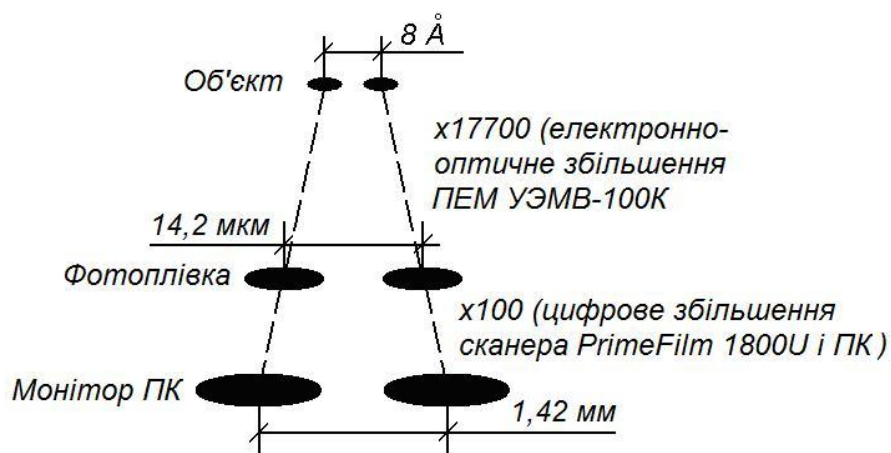


Рис. 6.30. Схема збільшення зображення об'єкта в ПЕМ УЭМВ-100К і за допомогою сканера PrimeFilm 1800U та ПК для повної реалізації розділення на фотоплівці та при скануванні

На збільшених зображеннях спостережувані об'єкти розміром 20 і 8 Å та більше є реальними об'єктами; розміром 1÷20 і 1÷8 Å, – ймовірно, об'єктами, що може бути підтверджене або спростоване за допомогою інших методів досліджень, в т. ч.

теоретичних; розміром менш  $1 \text{ \AA}$  – результатом оптичних ефектів.

На рис. 6.31 поданий електронно-мікроскопічний знімок вугільної репліки з відколу цементного каменя, отриманий за допомогою мікроскопа ЭМ-5, на рис. 6.32÷6.34 – серія зображень, отриманих послідовним збільшенням фрагмента 1 (рис. 6.31) за допомогою сканера PrimeFilm 1800U і ПК.

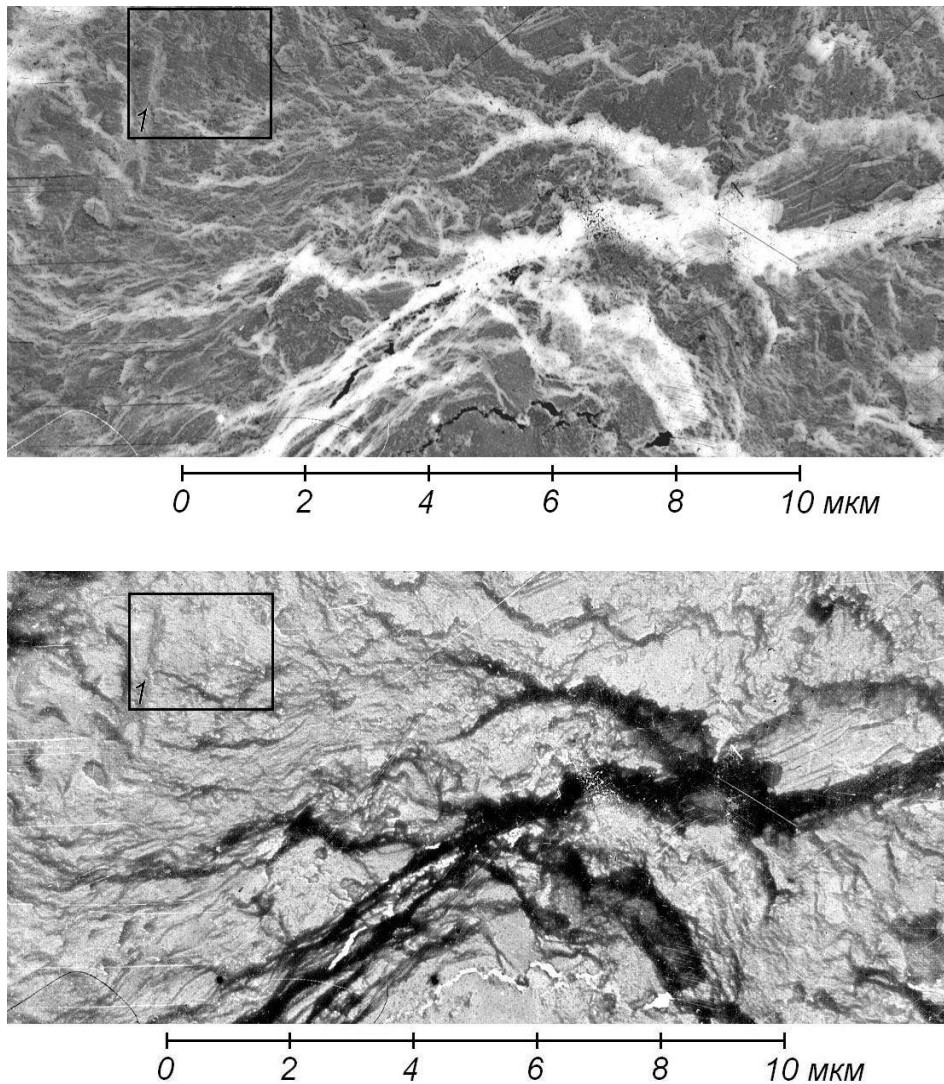


Рис. 6.31. Електронно-мікроскопічний знімок світлопільного зображення вугільної репліки з відколу продуктів гідратації портландцементу (ЭМ-5): зверху – негатив, знизу – позитив



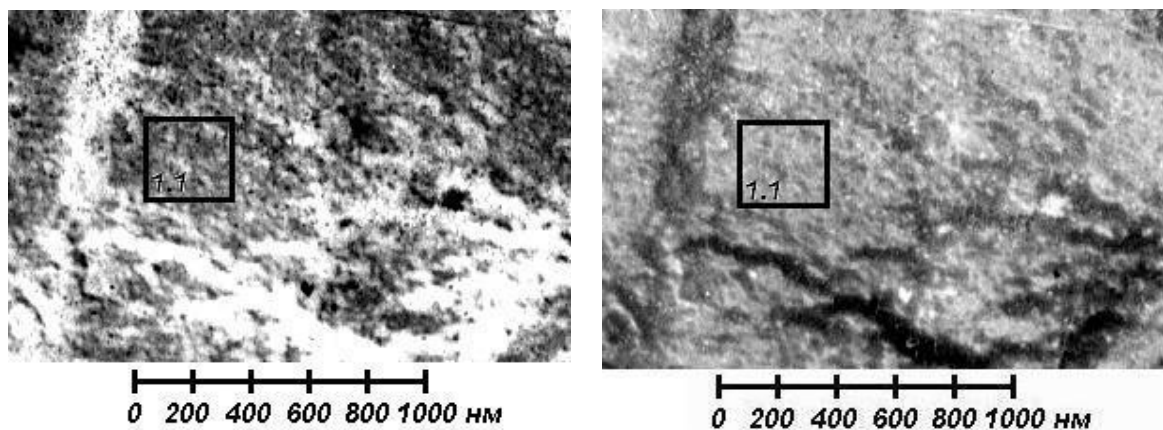


Рис. 6.32. Фрагмент 1 рис. 6.31. Додаткове збільшення з допомогою сканера PrimeFilm 1800U і ПК: ліворуч – негатив, праворуч – позитив

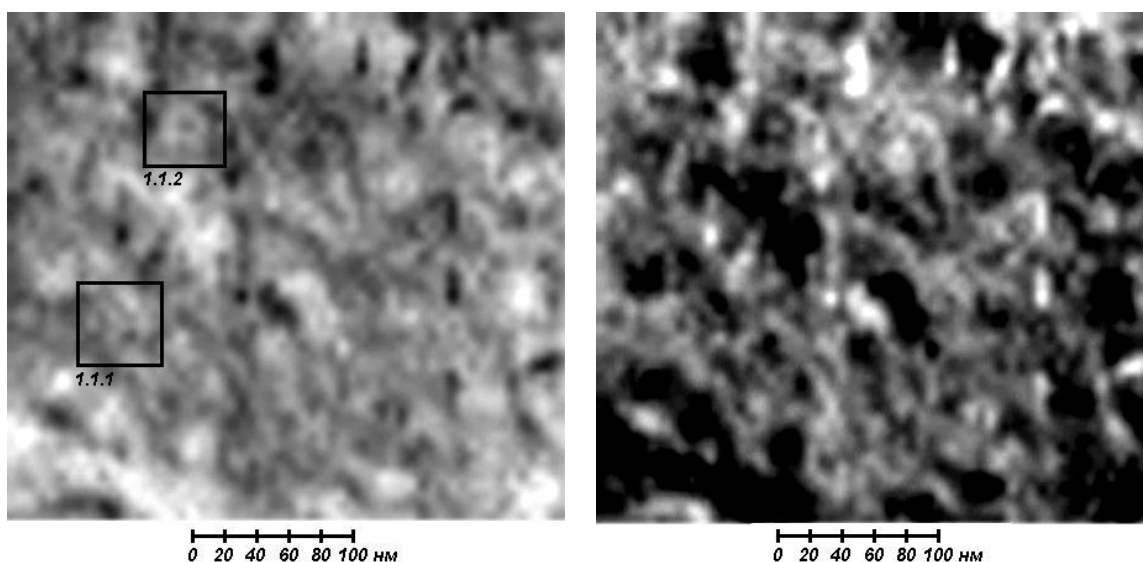


Рис. 6.33. Фрагмент 1.1 рис. 5: ліворуч – негатив, праворуч – ПОЗИТИВ

На рис. 6.31 виразно видно, що на ньому зображений відкол продуктів гідратації цементу. На рис. 6.32 і 6.33 видно, що продукти гідратації мають характерну зернисту структуру, тобто складаються з окремих частинок та їх агрегатів. На негативних знімках щільні об'єкти зображені світлими, на позитивних – темними.

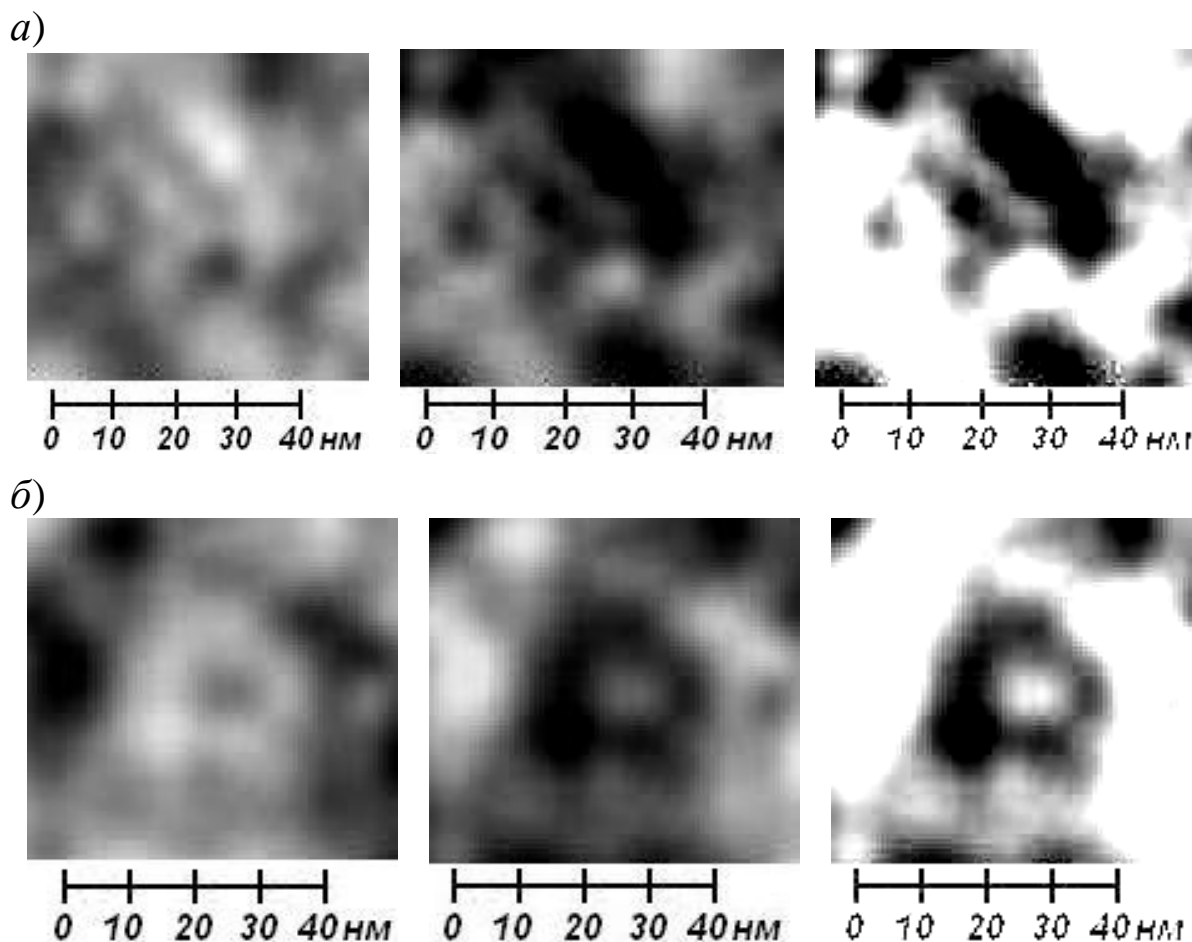


Рис. 6.34. Фрагменти рис. 6: *a* – 1.1.1,  $\times 1780000$  (1 см = 5,6 нм);  
*в* – 1.1.2,  $\times 1680000$  (1 см = 5,9 нм) лівий знімок – негатив,  
 два правих – позитиви

На рис. 6.34 виразно видно округлі об'єкти світлого кольору розміром приблизно 10 нм (100 Å). Цей розмір в 5 разів перевищує паспортне розділення ЭМ-5, тому спостережувані об'єкти поза сумнівом є реальним зображенням частинок гелю. Ці частинки агрегуються в також округлі утворення – глобули розміром до 100 нм.

Достовірність такого розшифрування електронно-мікроскопічних знімків підтверджується рис. 6.35, на якому подані знімки зарубіжних авторів, отримані за допомогою сучасних електронних мікроскопів, і аналогічні їм збільшені ділянки власних знімків.

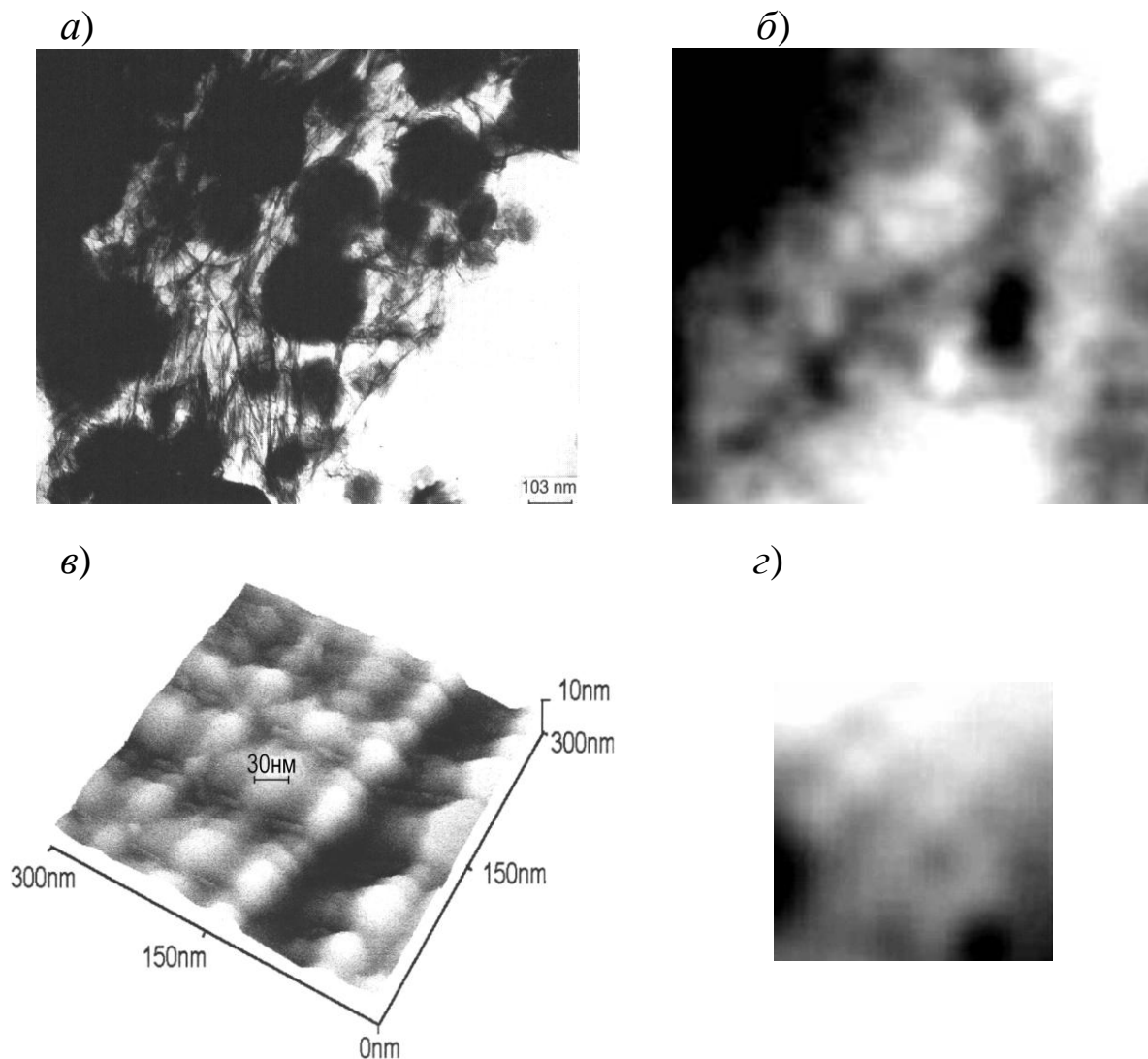


Рис. 6.35. Електронно-мікроскопічні знімки різних об'єктів:  
*a, в* – отримані за допомогою сучасних електронних мікроскопів S.Wild  
(*a*, гідросилікати кальцію) і R.Trettin (*в*, гідросилікати кальцію);  
*б, г* – одержані за допомогою мікроскопа ЭМ-5 та збільшені за допомогою  
сканера PrimeFilm 1800U і ПК

Таким чином, достовірність отримуваних за допомогою електронних мікроскопів старих типів і збільшених за допомогою сканера і ПК знімків не викликає сумнівів при використанні режимів фотографування і сканування, наведених в табл. 6.24.

Крім того, використання сканера і ПК для аналізу зображень вугільних реплік, застосовуваних в просвітлювальній електронній мікроскопії неорганічних будівельних матеріалів, відкриває широкі можливості для вивчення електричної структури поверхні й активних центрів на ній.

**6.2.4.2. Інфрачервона спектроскопія.** Інфрачервона спектроскопія (ІЧС) – це метод якісного та кількісного аналізу речовин, оснований на вивченні спектрів пропускання або поглинання ними інфрачервоного випромінювання. Інфрачервоне випромінювання має довжину хвилі від 0,75 до 300 мкм і поділяється на області: близьку (0,75÷2,5 мкм), середню або фундаментальну (2,5÷15 мкм) і далеку (15÷300 мкм). Для будівельних матеріалів звичайно застосовують фундаментальну область.

Метод ґрунтується на здатності хімічних сполук, зокрема певних груп атомів та хімічних зв'язків у них, поглинати кванти інфрачервоного випромінювання певної довжини хвилі.

Переваги ІЧС полягають у можливості безперервного спостерігання за прихованокристалічними або аморфними речовинами, що погано ідентифікуються або зовсім не фіксуються рентгенівським методом. Цей метод займає мало часу і потребує дуже мало матеріалу (1÷2 мг).

У дослідженнях будівельних матеріалів, зокрема в'язучих речовин, предметом дослідження звичайно є вивчення механізмів гідратації і корозії, зокрема визначення їх продуктів.

**ІЧ-спектрометри.** Принципова оптична схема спектрального приладу наведена на рис. 6.36. Від джерела випромінювання 1 промінь складного спектрального складу, проходячи крізь кювету зі зразком 2, надходить крізь вхідну щілину 3 у монохроматор 4, який складається з фокусувальної оптики 5 і диспергуючої системи 6, яка може бути у вигляді призми або дифракційних ґрат, а далі крізь вихідну щілину 7 подається послідовно на приймач випромінювання 8 і реєструючий пристрій 9.

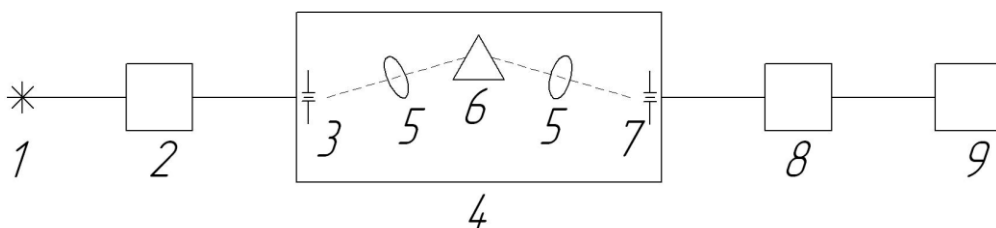


Рис. 6.36. Схема приладу для дослідження оптичних спектрів

Вибір матеріалів для спектральної оптики залежить в основному від їх прозорості та лінійної дисперсії у робочій області спектра. Для ближньої інфрачервоної області матеріалом оптики є оптичне скло та кристалічний кварц. Для фундаментальної інфрачервоної області використовують соляну оптику *LiF* (до 6 мкм), *CaF<sub>2</sub>* (до 9 мкм), *NaCl* (до 15 мкм), *KBr* (до 27 мкм) і т. д. У далекій інфрачервоній області використовують дифракційні ґрати з різною кількістю штрихів на 1 см.

Сучасні прилади дозволяють знімати спектри для зразків у будь-якому агрегатному стані, у широкому діапазоні температур та тисків. Прилади мають дуже компактні розміри, підключаються до персонального комп'ютера і за допомогою спеціального програмного забезпечення у графічному вигляді відображають на екрані монітора ІЧ-спектри та записують їх у пам'ять комп'ютера.

У табл. 6.25 наведені ІЧ-спектрометри, які використовуються для інфрачервоної спектроскопії, та їх характеристики. Найсучаснішим та найменшим у світі, на теперішній час, приладом даного типу є ІЧ-Фур'є-спектрометр Bruker Alpha (США, рис. 6.37, 6.38, 6.40).

Таблиця 6.25

ІЧ-спектрометри та їх основні характеристики

Модель, виробник*	Діапазон хвильових чисел, см <sup>-1</sup>	Розділення, см <sup>-1</sup>	Спектральний діапазон, нм
ИКС-22 ЛОМО	5000÷650		2000÷15385
UR-20 Carl Zeiss Jena	5000÷400	8	2000÷25000
ИКС-29 ЛОМО	4200÷400	8	2381÷25000
Specord IR-75 Carl Zeiss Jena	4000÷400		2500÷25000
ИКС-40 ЛОМО	4200÷400	1	2381÷25000
Shimadzu FTIR-8400S	7800÷350	0,85	1282÷28571
ФСМ-1202, ОКБ Спектр	7800÷400	0,5	1282÷25000
Bruker Tensor 37	10000÷400	0,5	1000÷25000
Shimadzu IRPrestige-21	12000÷240	0,5	833÷41667
Nicolet 6700	25000÷20		400÷500000
Perkin Elmer Spectrum BXII			
Bruker Alpha (Німеччина)	7500÷375	0,9	1333÷26667

\* ЛОМО – Ленінградський оптико-механічний завод, СРСР – Росія; Carl Zeiss Jena, Німецька демократична республіка; Bruker – Bruker Optics (США); Shimadzu, Японія; Nicolet – Thermo Nicolet; Perkin Elmer, США.



Рис. 6.37. ІЧ-Фур'є-спектрометр Bruker Alpha

**Препарування зразків для ІЧС.** Сучасні ІЧ-спектрометри дозволяють досліджувати тверді, рідкі та газоподібні речовини. При дослідженні будівельних матеріалів зразки в основному є твердими речовинами. Тверді зразки готують шляхом пресування однорідних прозорих дисків – таблеток із суміші проби досліджуваного матеріалу з прозорою у потрібній області спектра речовиною. В'язучі речовини звичайно пресують з безводним бромистим калієм  $KBr$ , який попередньо розмелюють, просівають і висушують при  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом  $14\div 18$  год. Попередньо розтерті до пудроподібного стану пробу і  $KBr$  ретельно змішують та пресують у спеціальній прес-формі під тиском до  $100\text{ МПа}$ . Таблетки повинні мати постійну товщину і великий поперечний розмір, який забезпечить повне перекриття пучка променів у кюветі приладу.

**ІЧ-спектри.** Зазвичай ІЧ-спектр записується у відсотках пропускання, іноді – відсотках поглинання. Інтенсивність смуг поглинання, яка характеризує концентрацію в пробі певної сполуки, вимірюють як відношення інтенсивностей монохроматичного випромінювання, яке падає на зразок  $I_0$ , і випромінювання, що проходить крізь нього  $I_1$ . Інтенсивність поглинання і пропускання зразком випромінювання може бути

виражена таким чином:  $(I_1/I_0) \times 100$  – відсоток пропускання;  $[(I_0 - I_1)/I_0] \times 100$  – відсоток поглинання.

ІЧ-спектр є графіком залежності відсотка поглинання від хвильового числа випромінювання (рис. 6.38). «Піки» на спектрах поглинання завжди спрямовані вниз і називаються смугами поглинання. Смуги поглинання майже всіх неорганічних і органічних сполук, що входять до складу будівельних матеріалів, знаходяться у межах  $4000 \div 400 \text{ см}^{-1}$ . Ідентифікація тієї або іншої сполуки здійснюється за наявністю на спектрі та інтенсивністю характерних для неї смуг поглинання. Дані про характерні смуги поглинання для різних речовин можна знайти у спеціальній літературі [16÷18] та дод. В.

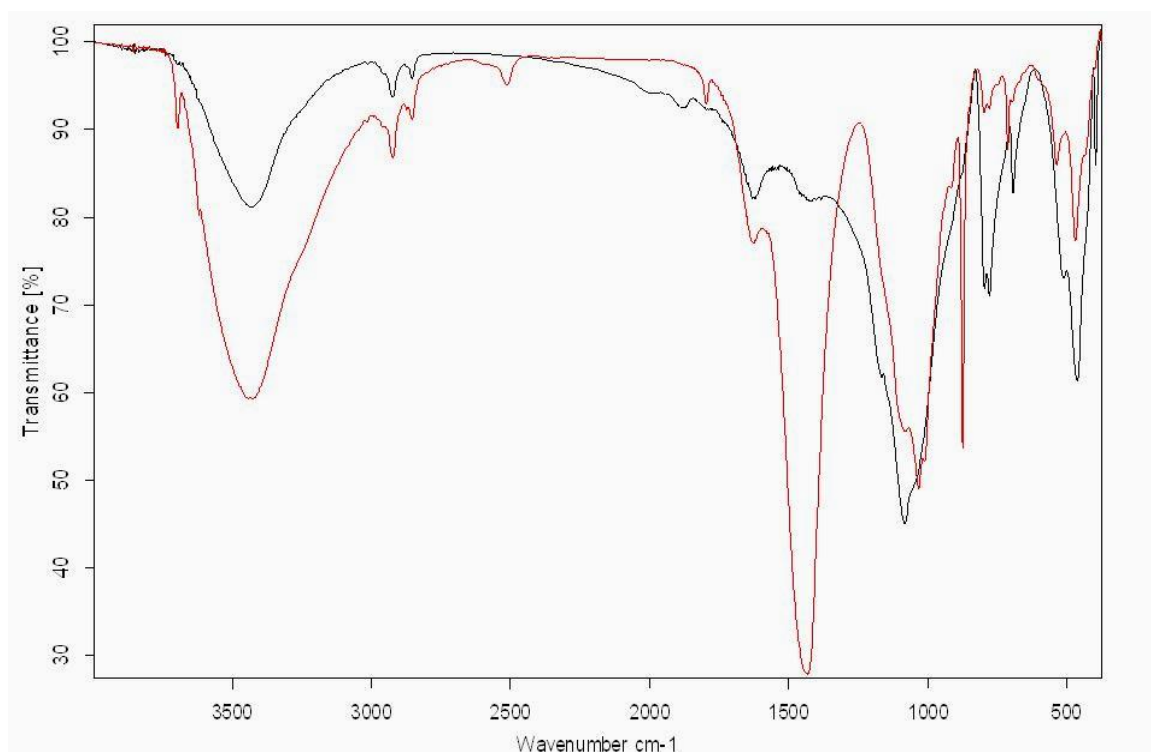


Рис 6.38. Суміщені ІЧ-спектри пропускання кварцу (верхня чорна крива) та цементного каменю (нижня червона крива), отримані за допомогою ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker Alpha

**6.2.4.3. Рентгенофазовий аналіз.** Рентгенофазовий аналіз (РФА) – метод дослідження, в якому використовується рентгенівське випромінювання – поперечні електромагнітні коливання з довжиною хвилі  $0,01 \div 100 \text{ \AA}$ . Метод виявляє лише кристалічні речовини. Некристалічні складові матеріалів є



рентгеноаморфними. Застосування рентгенівського випромінювання для дослідження кристалічних речовин ґрунтується на тому, що довжина його хвилі зіставна з відстанню між упорядковано розташованими атомами у кристалічних ґратах, яка є для нього природними дифракційними ґратами.

Сутність методу полягає у вивченні дифракційної картини, яка одержується при відбиванні рентгенівських променів атомними площинами у структурі кристалів. Тривимірні кристалічні ґрати можна подати як сукупність паралельних рівновіддалених одна від іншої атомних площин, утворених розташованими в них атомами. Всі площини, однаково орієнтовані у просторі, складають сімейство площин. Кожне сімейство площин характеризується своєю міжплощинною відстанню, тобто відстанню між двома сусідніми паралельними площинами. Міжплощинні відстані – найважливіші структурні характеристики кристалічної речовини.

В основі рентгенофазового аналізу лежить рівняння Вульфа-Брегга, яке зв'язує кут  $\theta$  падіння або відбивання на атомну площину рентгенівського променя з його довжиною хвилі  $\lambda$  і величиною міжплощинної відстані  $d$ . Згідно з рис. 6.39 відбиття променів відбувається лише при різниці ходу променів, відбитих сусідніми площинами, рівній довжині хвилі

$$\Delta = BC + BD = 2d \cdot \sin \theta, \quad (6.20)$$

Рівняння Вульфа – Брегга

$$2d \cdot \sin \theta = n\lambda, \quad (6.21)$$

де  $n = 1, 2, 3, \dots$  – порядок спектра або порядок відбивання.

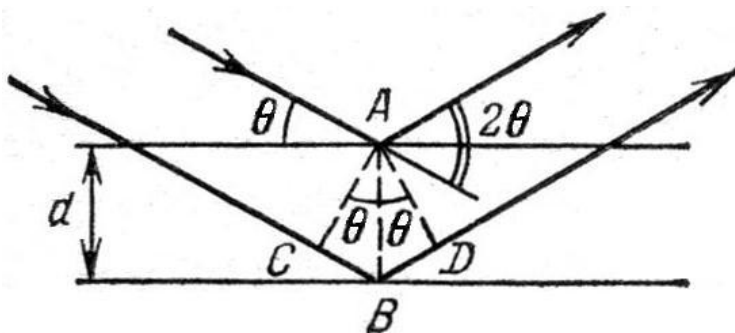


Рис. 6.39 Схема дифракції рентгенівських променів

**Рентгенівські дифрактометри** – установки для рентгенофазового аналізу, включають дві основні частини – пристрій для генерації первинних рентгенівських променів – рентгенівську трубку і пристрій для реєстрації рентгенівських променів, які проходять крізь досліджуваний зразок або відбиваються від нього. Крім цього, установки в залежності від їх призначення та типу включають допоміжні прилади: тримач зразка; гоніометр – пристрій для обертання зразка з точним вимірюванням кута його повороту; лічильник Гейгера-Мюллера, який генерує електричний сигнал; джерело живлення рентгенівської трубки, що включає генератор високої напруги, стабілізатори напруги і струму трубки, пристрої для регулювання і вимірювання напруги і струму, систему блокувань для захисту від високої напруги і т.д.

Рентгенівська трубка є запаяним скляним балоном, в якому створюється високий вакуум порядку  $10^{-3} \div 10^{-5}$  Па. Джерелом пучка електронів служить катод-спіраль з вольфрамового дроту, який розжарюється електричним струмом до  $2100 \div 2200^\circ\text{C}$ . Під дією високої напруги електрони з високою швидкістю спрямовуються до анода і вдаряються у впресовану в його торці пластинку – антикатод, виготовлений з металу (*Cr, Fe, Cu, Mo* і т. д.), який і випромінює рентгенівські промені.

Зразок закріплюють у тримачі і після вмикання рентгенівського випромінювання здійснюють його обертання на  $360^\circ$ . При цьому безперервно здійснюється реєстрація інтенсивності випромінювання, яке проходить крізь зразок, в залежності від кута обертання та її запис у вигляді рентгенограми.

Для досліджень будівельних матеріалів застосовують рентгенівські дифрактометри УРС-50ИМ, ДРОН-1, ДРОН-3, ДРОН-5 і сучасний ДРОН-7 виробництва НВО «Буревестник» (м. Ленінград – С.-Петербург, СРСР – Росія). На рис. 6.40 поданий рентгенівський дифрактометр ДРОН-3 модернізований. Даний дифрактометр підключається до контролера, встановленого у персональний комп'ютер, який за допомогою спеціального програмного забезпечення DifWin1 здійснює управління дифрактометром і запис рентгенограм у пам'ять комп'ютера з їх

відображенням на моніторі. ПЗ DifWin1 дозволяє на рентгенограмах одразу визначати міжплощинні відстані, що суттєво прискорює та спрощує аналіз.



Рис.6.40. Рентгенівський дифрактометр ДРОН-3 модернізований (праворуч) та ІЧ-Фур'є-спектрометр Bruker Alpha (ліворуч) в лабораторії фізико-хімічних досліджень УкрДАЗТ

**Препарування зразків для РФА.** При дослідженнях будівельних матеріалів звичайно застосовують зразки у вигляді порошків, препарування яких здійснюють таким чином: з досліджуваного матеріалу відбирають характерну пробу та попередньо її подрібнюють у металевій ступці до розміру часток не більше 2 мм; при наявності у пробі кварцу його зерна ретельно відбирають і видаляють; пробу подрібнюють у порцеляновій або агатовій ступці до повного проходження крізь сито №006 (10000 отворів у 1 см<sup>2</sup>); отриманий порошок 2÷5 разів оброблюють ацетоном або абсолютним спиртом з метою дегідратації і сушать у сушильній шафі при температурі 40°C. Підготовлену таким чином пробу запресовують у кювету.

**Рентгенограма** є графіком залежності інтенсивності випромінювання, яке пройшло крізь зразок, від кута повороту

зразка  $\theta$  або міжплощинної відстані  $d$  (рис. 6.41). «Піки» рентгенограми відповідають найбільш інтенсивному випромінюванню і називаються дифракційними максимумами або лініями. Міжплощинні відстані  $d$  розраховують за рівнянням Вульфа – Брегга (6.19) і підписують на діаграмі. У сучасних приладах, наприклад ДРОН-3 модернізованому, міжплощинна відстань визначається і виноситься на рентгенограму автоматично.

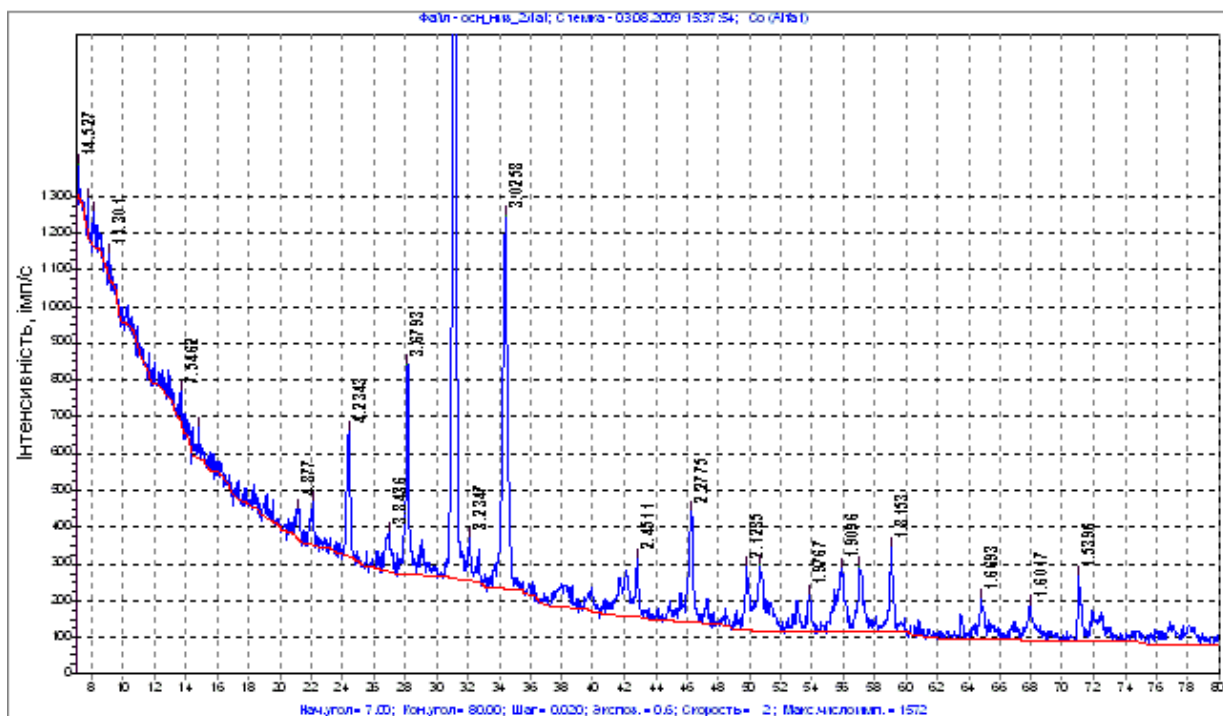


Рис. 6.41. Рентгенограма цементного каменя, видаленого із бетону, який піддали дії пульсуючого однонаправленого електричного струму в обводненому стані

Результати аналізу: лінії, Å, характерні для очікуваних мінералів: аліт  $C_3S$  – 3,03 (60), 2,8 (100), 2,63 (90); високоосновні гідросилікати кальцію ВОГСК  $C_2SH(II)$  з основністю  $C/S = 1,5 \div 2 - 2,8$  с., 3,07; низькоосновні гідросилікати кальцію НОГСК  $CSH(I)$  з основністю  $C/S = 0,8 \div 1,5 - 3,03$ ; портландит  $Ca(OH)_2 - 2,63$  с.

На рентгенограмі наявна інтенсивна лінія 3,03, яка свідчить про наявність аліту  $C_3S$  та/або НОГСК  $CSH(I)$ . Лінія портландиту  $Ca(OH)_2$  2,63 відсутня; лінія  $C_2SH(II)$  3,07 перекривається лінією 3,03; лінія  $C_2SH(II)$  2,8 відсутня, що свідчить про вилуговування бетону з розчиненням і винесенням  $Ca(OH)_2$  і перетворенням ВОГСК у НОГСК. При цьому НОГСК не розчинились

За рентгенограмами здійснюють якісний або кількісний рентгенофазовий аналіз. РФА ґрунтується на тому, що кожній індивідуальній кристалічній сполуці притаманна специфічна рентгенограма з певним набором дифракційних максимумів певної інтенсивності (рис. 6.41). У теперішній час є достовірні рентгенографічні дані про більшість відомих кристалічних сполук, еталонні рентгенограмми котрих наводяться у довідниках або окремих публікаціях [16÷18 і т. п.]. Дані про дифракційні максимуми та їх інтенсивність для деяких мінералів неорганічних в'язучих, цементного каменю, бетону наведені у дод. В.

Сутність якісного рентгенофазового аналізу зводиться до зіставлення експериментально визначених значень міжплощинних відстаней ( $d$ ) і відносних інтенсивностей ( $I$ ) ліній з еталонними рентгенограмами. Відносна інтенсивність ліній може позначатись скороченнями: д.д.с. – дуже-дуже сильна, д.с. – дуже сильна, с. – сильна, ср.с. – середньої сили, ср. – середня, сл. – слабка, д.сл. – дуже слабка, д.д.сл. – дуже-дуже слабка; або цифрами за 10-ти або 100-бальною шкалою (див. підпис під рис. 6.41).

Аналіз суттєво спрощується, якщо відомий хоча б приблизний мінеральний склад досліджуваного матеріалу (див. підпис під рис. 6.41). Отримані дані рекомендується зводити у таблицю.

Кількісний рентгенофазовий аналіз застосовують для визначення вмісту окремих фаз у багатофазових полікристалічних матеріалах. Кількісний аналіз ґрунтується на залежності інтенсивності дифракційних максимумів від вмісту фази, що визначається. Зі збільшенням вмісту тієї або іншої фази інтенсивність її відображення збільшується. Методика проведення кількісного аналізу наведена у [17] та ін.

**6.2.4.4. Диференційний термічний аналіз.** Диференційний термічний аналіз (ДТА) є найбільш розповсюдженим та інформативним методом термічного аналізу [15÷19]. ДТА дозволяє якісно та кількісно визначати зміну характеристичної ентальпії речовини.

Сутність методу полягає в тому, що при нагріванні досліджуваної речовини з нею відбуваються різні фізичні та хімічні перетворення з поглинанням або виділенням енергії у вигляді теплоти. Реєстрація виділення або поглинання теплоти здійснюється за допомогою диференційної термопар, яка складається із двох термопар. При цьому нагрівають досліджувану речовину і, одночасно, еталон, який не повинен піддаватись ніяким перетворенням. Один спай термопар поміщають у речовину, що досліджується, другий – у еталон. При однаковій температурі електрорушійна сила на кінцях кожної термопар взаємно компенсується, а при різних температурах у електричному колі виникає некомпенсований струм. По мірі початку процесу у речовині, що аналізується, температура підвищується або знижується в порівнянні з еталоном, при цьому на диференційній кривій з'являється пік.

При дослідженнях мінеральних в'язучих і продуктів їх гідратації нагрівання звичайно здійснюють до температури 1000÷1500°C з постійною швидкістю підвищення температури.

**Прилади ДТА.** Основними вузлами приладів ДТА є утримувачі зразків, термопар, піч нагріву, терморегулятор, підсилювачі електрорушійної сили, реєструючий прилад. Більшість приладів ДТА обладнані ще й вагами для термогравіметричного аналізу, а сучасні універсальні прилади часто ще й суміщені з калориметрами, зокрема диференційними сканувальними калориметрами ДСК, за допомогою яких досліджують тепловиділення яких-небудь процесів без їх нагрівання, наприклад, гідратації цементу [20].

Приладами ДТА, застосовуваними у СРСР до 1970-х рр., були УТА-1 (завод «Геологоразведка», м.Ленінград), АТВУ-10 (Експериментальне виробництво ІГЕМ АН СРСР). У 1970÷80-ті рр. у СРСР найбільш розповсюдженими були прилади системи Paulik–Paulik–Erdei (Ф.Паулік, І.Паулік, Л.Ердеї), зокрема модель

Derivatograph Q-1500 (МОН, Угорщина), що навіть у наукових публікаціях термограми називали дериватограмами. Ці прилади й досі працюють в деяких лабораторіях.

В теперішній час найбільш відомими світовими виробниками комп'ютеризованих приладів ДТА і ДТА/ДСК є:

- Linseis Messgeraete GmbH (Німеччина, модель DTA-PT160);
- Mettler Toledo (Швейцарія, модель TGA/SDTA 851e);
- Netzsch (Німеччина, моделі STA 409 PC Luxx, STA 449 F3

Jupiter, рис. 6.42);

- Setaram S.A. (Франція, модель Labsys DTA/DSC).

Сучасні прилади термічного аналізу є досить універсальними і дозволяють вирішувати різні вимірювальні задачі. Наприклад, у приладі Netzsch STA 449 F3 Jupiter (Німеччина) (рис. 6.42) поєднані можливості виконання диференційного термічного і термогравіметричного аналізу в інтервалі температур від  $-150$  до  $+2400$  °C та диференційної сканувальної калориметрії (ДСК). Аналіз даних, які вимірюються, здійснюється за допомогою комп'ютера та спеціальних програм, що суттєво спрощує та прискорює процес аналізу.

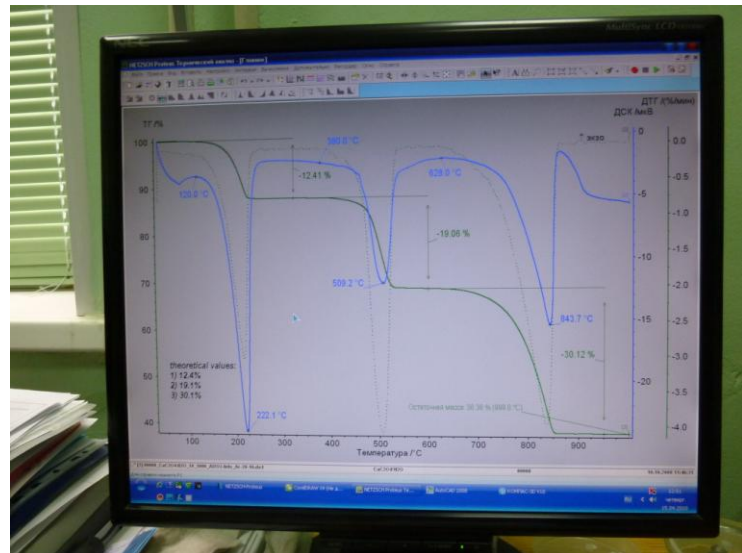


Рис. 6.42. Прилад ДТА/ДСК STA 449 F3 Jupiter Netzsch (БДТУ ім. В.Г. Шухова)



**Термограма ДТА** – графік (рис. 6.43), на якому по осі абсцис відбивається температура, а по осі ординат показник – інтенсивності термічного процесу – відхилення температури досліджуваного зразка від температури еталонної речовини. Відхилення від нульової лінії вниз відбивають ендотермічні ефекти або ендоефекти (–) з поглинанням теплоти, відхилення догори – екзотермічні ефекти, екзоэффекти (+) з виділенням теплоти. Термограма ДТА на рис. 6.43 має один ендоефект 4, який починається у точці А і дає пік АБВ з мінімумом у точці Б, і один екзоэффект 5. Кінець одного із фізико-хімічних процесів, який почався у точці А, знаходиться на кривій БВ у точці Д. У точці В температура зразка та еталона однакові, тому різниця між ними дорівнює нулю. Форма піків визначається швидкістю нагрівання (при повільному нагріванні піки стають більш округлими та широкими, при швидкому – гострі); кількістю матеріалу, що досліджується (чим менше кількість матеріалу, тим піки стають гостріші).

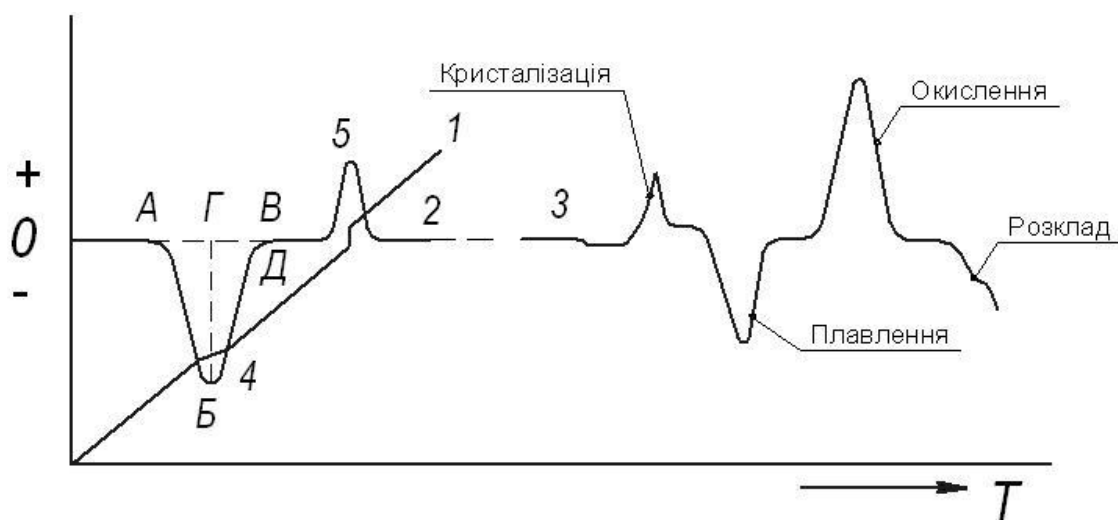


Рис. 6.43. Термограма [17]:

1 – крива підвищення температури  $T$ ; 2 – диференційна крива; 3 – нульова лінія; 4 – ендотермічний ефект; 5 – екзотермічний ефект

Той або інший фізичний або хімічний процес зазвичай характеризується відповідним ендоефектом або екзоэффектом (табл. 6.26). Дані про температуру ендоефектів (–) та екзоэффектів (+) різних неорганічних сполук, у тому числі для

деяких мінералів неорганічних в'язучих, цементного каменю, бетону наведені у спеціальній літературі [16÷18 та ін.] і дод. В.

Таблиця 6.26

Теплові ефекти при різних фізичних і хімічних процесах

Процеси	Теплові ефекти*
<i>Фізичні:</i>	
абсорбція	(+)
адсорбція	(+)
десорбція	(-)
випаровування	(-)
сублімація	(-)
плавлення	(-)
поліморфне перетворення	(-); (+)
перехід із аморфного у кристалічний стан (розклування)	(+)
укрупнення кристалів	(+)
<i>Хімічні:</i>	
хемосорбція	(+)
реакція розкладу	(-)
дегідратація	(-)
десольватація	(-)
реакція обміну	(+)
реакція окислення і відновлення	(-); (+)
окислення у газоподібному середовищі	(+)
відновлення у газоподібному середовищі	(-); (+)
реакції окислення зі зменшенням молекул	(-); (+)
реакція у твердій фазі	(-); (+)
ізомеризація	(+)

\* (-) – екзотермічний ефект; (+) – ендотермічний ефект.

Хімічні перетворення часто супроводжуються зміною маси речовини, на чому ґрунтується термогравіметричний аналіз і одержані згідно ньому термограми (ТГ) – графіки втрати маси речовиною при нагріванні внаслідок дегідратації, розкладення з виділенням газів, наприклад, декарбонізації і т. п. [16÷18]. Термогравіметричний аналіз доцільно застосовувати як доповнення ДТА.

#### 6.2.4.5. Діаграми стану фізико-хімічних систем.

Матеріали конструкцій та їх навколишнє середовище є одночасно фізичними тілами і хімічними сполуками – *фізико-хімічними системами*. Їх фізичний (агрегатний) стан може бути різним – твердим, рідким, газоподібним, а з одних і тих же хімічних елементів або їх простих сполук – оксидів залежно від їх співвідношення і *термодинамічних параметрів* – температури і тиску, можуть утворюватися різні більш складні речовини.

Фізичний стан, речовинний склад фізико-хімічних систем залежно від температури, тиску, хімічного або компонентного складу визначають шляхом експериментальних досліджень і відображають за допомогою діаграм стану.

*Діаграма стану (фазова діаграма)* – графічне відображення агрегатного стану фізико-хімічної системи за умов, що відповідають координатам даної точки на діаграмі (фігуративної точки). Координатами фазових діаграм є температура, тиск, склад системи (у масових або молярних відсотках).

На діаграмі однокомпонентної системи, наприклад, води (рис. 6.44), по осі абсцис відкладають температуру, по осі ординат – тиск. На такій діаграмі однофазна область (у якій існує тільки одна фаза, наприклад, тверда) описується полем, двофазна (існує дві фази одночасно) – лінією, трифазна – точкою перетину ліній (потрійною точкою).

Для двокомпонентних систем у відсутності газоподібної фази тиском, як незалежним параметром, ретхують (приймають  $p = \text{const}$ ). Для зображення діаграми стану одним із незалежних параметрів приймають концентрацію  $x$  компонента  $A$  (рис. 6.45). Концентрація іншого компонента  $B$  визначається за різницею  $(100-x)$  і є залежним параметром. Другим незалежним параметром приймають температуру  $t$ . Концентрацію відкладають по осі абсцис, температуру – по осі ординат.

Діаграма стану двокомпонентної системи  $CaO - SiO_2$ , до якої відносяться вапно, мінерали – силікати портландцементного клінкеру, подана на рис. 6.46. У системі існує чотири хімічні сполуки, в т.ч. клінкерні мінерали – трикальцієвий силікат  $C_3S$  ( $3CaO \cdot SiO_2$ ) і двокальцієвий силікат  $C_2S$  ( $2CaO \cdot SiO_2$ ).

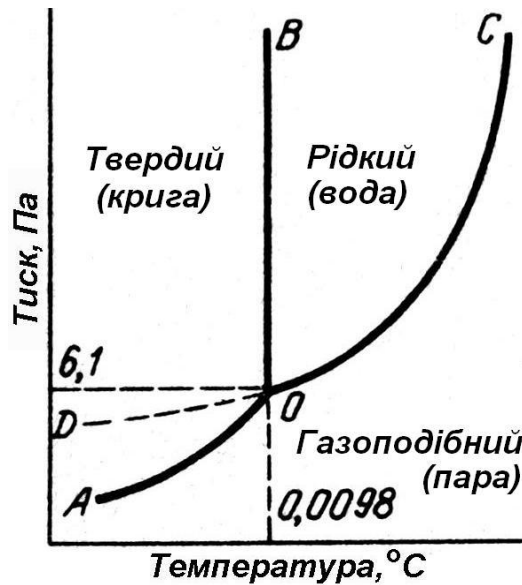


Рис. 6.44. Діаграма стану води [15; 21]:  
 лінії співіснування:  $OA$  – пара – лід;  $OB$  – лід – рідина;  
 $OD$  – метастабільний стан;  $O$  – потрійна точка

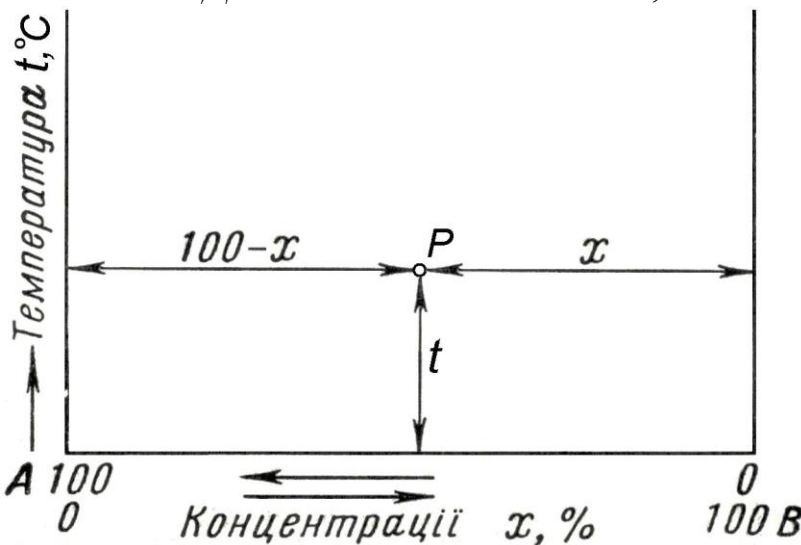


Рис. 6.45. Побудова  
 діаграми стану  
 двокомпонентної  
 системи [21; 22]

Для трикомпонентних систем у відсутності газоподібної фази і тиску як змінного параметра ( $p = \text{const}$ ) незалежними параметрами служать дві концентрації двох компонентів (концентрація третього компонента – залежний параметр) і температура.

Склади трикомпонентних систем зображають за допомогою рівностороннього трикутника концентрацій, запропонованого Дж.Гіббсом, на якому нанесена координатна сітка у вигляді ліній, паралельних сторонам трикутника (рис. 6.47).

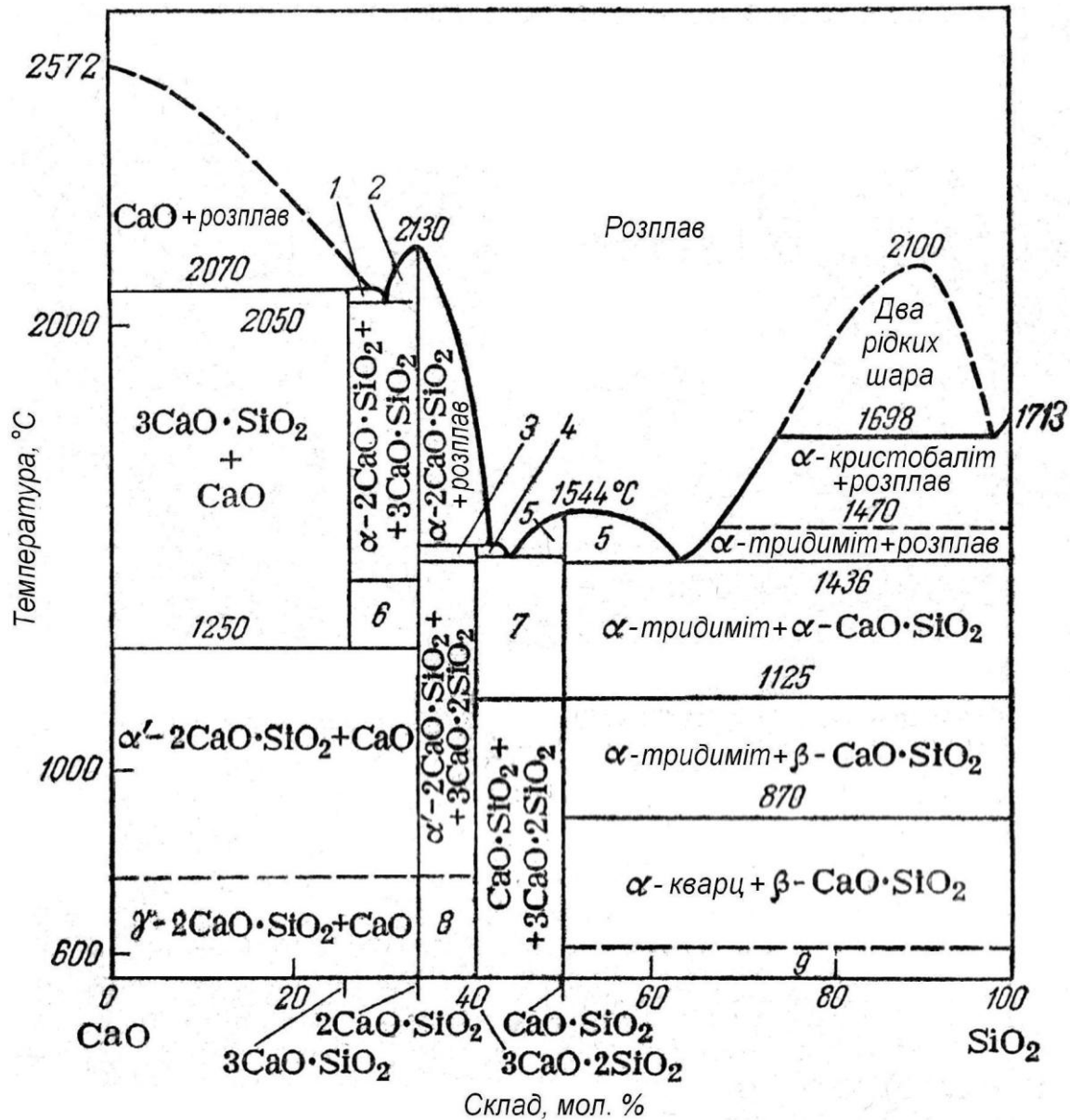


Рис. 6.46. Діаграма стану системи  $CaO - SiO_2$  [15; 21÷23]:

- На рисунку позначені цифрами поля: 1 –  $3CaO \cdot SiO_2$  + розплав;  
 2 –  $\alpha-2CaO \cdot SiO_2$  + розплав; 3 –  $3CaO \cdot 2SiO_2$  +  $\alpha-2CaO \cdot SiO_2$ ;  
 4 –  $3CaO \cdot 2SiO_2$  + розплав; 5 –  $\alpha-CaO \cdot SiO_2$  + розплав;  
 6 –  $\alpha-2CaO \cdot SiO_2$  +  $3CaO \cdot SiO_2$ ; 7 –  $\alpha-CaO \cdot SiO_2$  +  $3CaO \cdot SiO_2$ ;  
 8 –  $\gamma-2CaO \cdot SiO_2$  +  $3CaO \cdot 2SiO_2$ ; 9 –  $\beta$ -кварц +  $\beta-CaO \cdot SiO_2$

Вершина трикутника  $A$  відповідає 100 відсоткам компонента  $A$ , найближча до вершини  $A$  паралельна стороні  $BC$  лінія – 90 відсоткам компонента  $A$ , наступна – 80 відсоткам і т. д. Лінія  $BC$  відповідає 0 відсотків компонента  $A$ .

Аналогічно вершина  $B$  відповідає 100 відсоткам компонента  $B$ , найближча до вершини  $B$  паралельна стороні  $AC$  лінія – 90 відсоткам компонента  $B$ , наступна – 80 відсоткам і т. д. Лінія  $AC$  відповідає 0 відсотків компонента  $B$ . Аналогічним образом визначається концентрація компонента  $C$ .

Будь-яка точка на площі трикутника  $ABC$  однозначно визначає склад системи. Так, точці  $P$  на рис. 6.47 відповідає 20 відсоткам компонента  $A$ , 50 відсоткам компонента  $B$  і 30 відсоткам компонента  $C$ . У свою чергу кожен склад системи подається тільки однією точкою на площі трикутника.

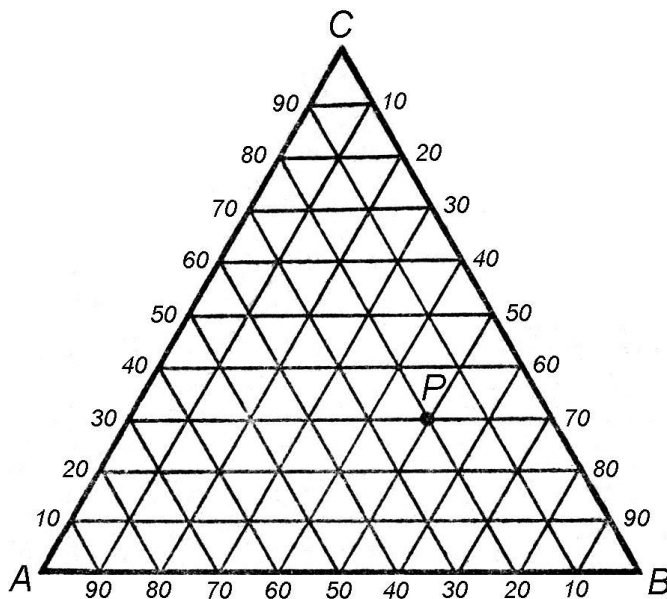


Рис. 6.47.  
Трикутна  
діаграма  
Гіббса [21; 22]

Діаграму станів трьохкомпонентної системи зображають за допомогою тригранної прямокутної призми, основою якої є рівносторонній трикутник Гіббса, а температура відкладається на осі, перпендикулярній трикутнику. Діаграма стану потрійної системи  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ , до якої відноситься портландцемент, подана на рис. 6.48, а.

На практиці звичайно користуються проекцією просторової діаграми на її основу у вигляді трикутної діаграми. Трикутна діаграма системи  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$  подана на рис. 6.48, б. В цій системі нараховується 15 хімічних сполук, з яких три є простими оксидами ( $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ ), десять – бінарними сполуками, у т.ч. мінерали клінкеру аліт  $C_3S$  ( $3CaO \cdot SiO_2$ ), беліт  $C_2S$  ( $2CaO \cdot SiO_2$ ) і трикальцієвий алюмінат  $C_3A$  ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ ), дві –

потрійними сполуками – анортит  $CaS_2$  (вапняковий шпат  $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) і геленіт  $C_2AS$  ( $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ).

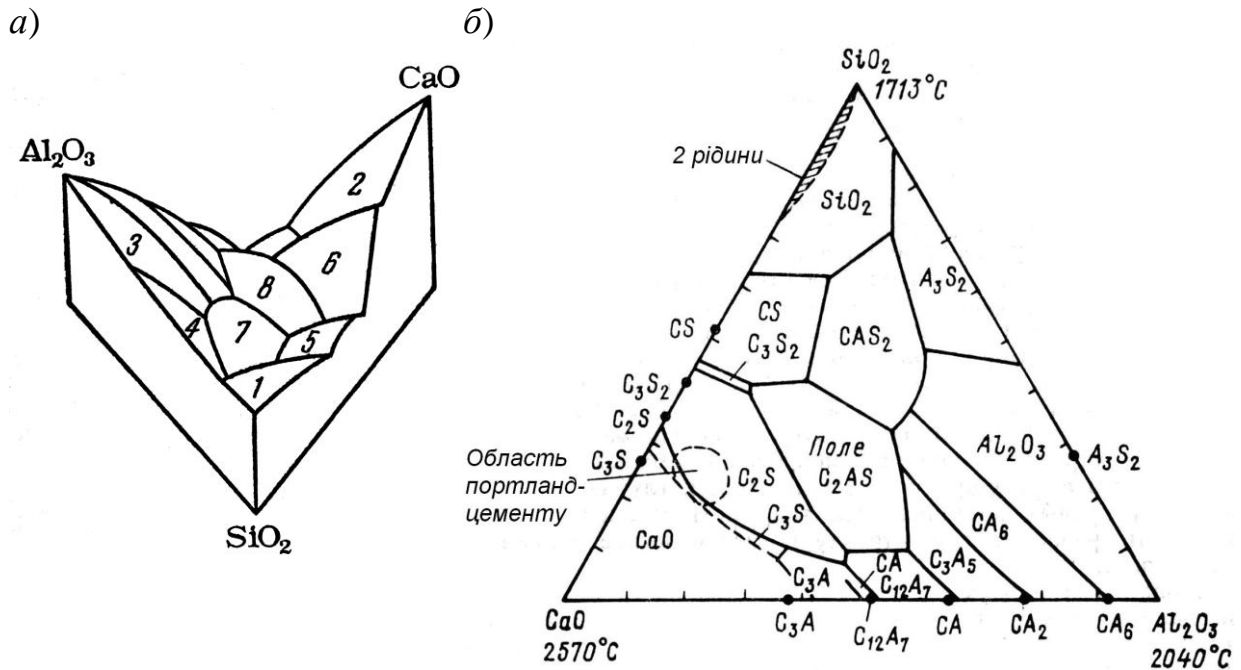


Рис.6.48. Діаграма стану системи  $CaO-Al_2O_3-SiO_2$  [15; 22÷23]:  
 а – просторова; б – трикутна

**6.2.4.6. Реологічні дослідження.** У будівництві застосовується значна кількість сумішей, що складаються з твердих дисперсних компонентів – заповнювачів, наповнювачів, в'язучих речовин, і рідкої фази – води, водних розчинів. Такими сумішами є бетонні і розчинні суміші, тампонажні та ін'єкційні розчини, тісто в'язучих речовин при їх стандартних випробуваннях, ґрунтувальні і фарбувальні склади, шлами цементного виробництва, керамічні маси та шлікери і т. п. Аналогічні суміші готують також на органічних в'язучих. У цьому випадку рідка фаза представлена смолами, маслами, розчинниками.

Такі будівельні суміші, як фізичні тіла, не є ані твердими, ані рідкими. З позиції фізико-хімічної механіки дисперсних систем вони є дисперсними системами з дисперсійним середовищем у вигляді води замішування – розчину електроліту (або смол, масел, розчинників) і дисперсною фазою у вигляді частинок в'язучих і продуктів їх гідратації, мінеральних добавок і наповнювачів, заповнювачів. Часто дисперсною фазою є ще й



бульбашки залученої або спеціально створеної газоподібної фази, наприклад, у пінобетонній суміші.

Дисперсні системи, за визначенням М. Рейнера [11], характеризуються фундаментальними реологічними властивостями однофазних середовищ (твердих тіл, рідин) – міцністю, пружністю, пластичністю, в'язкістю. При цьому реальні матеріали характеризуються всіма реологічними властивостями, вираженими різною мірою, тобто ці властивості є складними.

Реологічні властивості аналізують за допомогою реологічних моделей (п. 5.2.1). Фундаментальні властивості подають моделями ідеальних тіл (рис. 5.2), а складні властивості – комбінаціями вказаних простих тіл (рис. 5.3). Методи експериментального визначення фундаментальних реологічних властивостей і відповідні їм реологічні прилади наведені у табл. Г.1 дод Г.

Призначення будівельних сумішей – формування різних виробів і конструкцій (бетонних, залізобетонних, керамічних), нанесення на поверхні шарами певної товщини (будівельні розчини, ґрунтувальні і фарбувальні склади), заповнення ними порожнеч (монтажні, тампонажні, ін'єкційні розчини) і т. п. Здатність будівельних сумішей піддаватися відповідним способам транспортування, надання форми, ущільнення, нанесення і т. п., залежить від їх фундаментальних (складних) реологічних властивостей. Проте ці властивості піддаються вимірюванню технічно дуже складно, і у виробничих цілях технологічні властивості будівельних сумішей визначають і нормують за допомогою різних непрямих показників – рухливості і жорсткості бетонної суміші, рухливості розчинної суміші, умовної в'язкості тампонажного розчину і т.п. Методи визначення технологічних реологічних властивостей будівельних сумішей і відповідні їм прилади наведені у табл.Г.2 дод. Г.

#### ***6.2.5. Розроблення оригінальних методик досліджень і конструювання лабораторних установок***

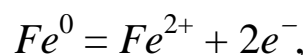
Для проведення експериментів з натурними моделями часто доводиться розробляти оригінальні методики досліджень і конструювати, виготовляти відповідні лабораторні установки. Ці

методики і установки повинні в лабораторних умовах якомога ближче моделювати явища і процеси, які відбуваються з реальними об'єктами. Установку слід конструювати так, щоб за можливості виділити досліджуваній процес або дію досліджуваних факторів, зводячи до мінімуму дію інших факторів або стабілізуючи їх.

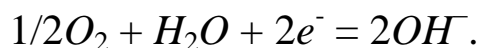
Розробку оригінальних методик досліджень і конструювання лабораторних установок розглянуто на прикладі дослідження карбонізації бетону під дією вуглекислого газу повітря, а також дії струмів витоку і блукаючих струмів на конструкції фундаментів будівель і споруд, розташованих поблизу електрифікованих залізничних колій.

**6.2.5.1 Дослідження карбонізації бетону** проводять за методикою, розробленою в Науково-дослідному інституті бетону і залізобетону «НИИЖБ» (м. Москва, Росія) [24].

Корозія арматурної сталі є електрохімічною і обумовлена електрохімічним процесом окислення заліза, який полягає в утворенні на поверхні арматури при її контакті з електролітичним середовищем анодних і катодних ділянок, на яких відбуваються, відповідно, анодний процес – окислення заліза:



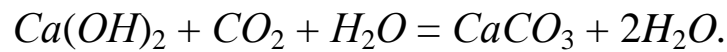
і катодний процес – відновлення кисню:



Вказаний електрохімічний процес протікає при  $pH \leq 11,8$ . При  $pH > 11,8$  залізо знаходиться у пасивному стані за рахунок утворення на поверхні анодних ділянок гідроксидних нерозчинних захисних плівок. Порочий електроліт портландцементного бетону за рахунок вмісту в цементному камені гідроксиду кальцію  $Ca(OH)_2$  має  $pH = 12 \div 13$ , тому він пасивує арматурну сталь, а захисний шар із щільного бетону без тріщин забезпечує надійний захист арматури.

Зниження  $pH$  і втрата бетоном захисних властивостей в повітряних умовах відбувається за рахунок його карбонізації – нейтралізації гідроксиду кальцію цементного каменю

вуглекислим газом повітря, який розчиняється у плівках конденсатної вологи на поверхні конструкції:



Карбонізація поширюється фронтом від поверхні всередину бетону і корозія арматури розпочинається, коли фронт карбонізації досягає до неї. Кінетика карбонізації, тобто її глибина  $x_{CO_2}$ , см, за час  $\tau$ , с визначається рівнянням

$$x_{CO_2} = \sqrt{\frac{2D^* \cdot c_{CO_2} \cdot \tau}{m_0}}, \quad (6.22)$$

де  $D^*$  – ефективний коефіцієнт дифузії  $CO_2$  у вже карбонізованому шарі бетону,  $cm^2/s$ ;

$c_{CO_2}$  – об'ємна концентрація вуглекислого газу у повітрі, відн.од;

$m_0$  – реакційна здатність бетону – максимальний об'єм  $CO_2$ , що може бути поглинутий одиницею об'єму бетону

$$m_0 = 22,4Cp_k f_k / 56, \quad (6.23)$$

де  $C$  – вміст цементу в одиниці об'єму бетону,  $g/cm^3$ ;

$p_k$  – вміст в цементі кальціймістких сполук у перерахунку на  $CaO$  у відносних одиницях за масою, для портландцементу  $\approx 0,6$ ;

$f_k$  – максимальний ступінь карбонізації бетону, рівний відношенню максимальної кількості зв'язуваного в карбонат  $CaO$  до його загальної кількості в цементі, для портландцементу  $\approx 0,6$ .

Метою експериментальних досліджень звичайно є визначення в залежності від показників складу бетону, вмісту добавки і т. п.:

1) ефективного коефіцієнта дифузії  $D^*$ ;

2) тривалості карбонізації  $\tau$  захисного шару бетону певної товщини  $x$ ;

3) глибини карбонізації  $x$  за час  $\tau$ .

Оскільки концентрація  $CO_2$  в атмосферному повітрі дуже низька – близько  $c_{CO_2}^{атм} = 0,03\% = 0,0003$ , карбонізація бетону відбувається з невеликою швидкістю, неприйнятною для експериментальних досліджень, які проводять при підвищеній концентрації  $CO_2$   $c_{CO_2}^{експ}$ .

В цьому випадку експериментально визначають глибину карбонізації  $x_{експ}$  за час  $\tau_{експ}$  при підвищеній концентрації  $CO_2$   $c_{CO_2}^{експ}$  і розраховують:

1) ефективний коефіцієнт дифузії

$$D^* = \frac{0,4 p_k f_k \alpha x_{експ}^2}{c_{CO_2} \tau_{експ}}; \quad (6.24)$$

2) тривалість карбонізації в атмосферних умовах  $\tau_{атм}$  захисного шару бетону товщиною  $x_{атм}$

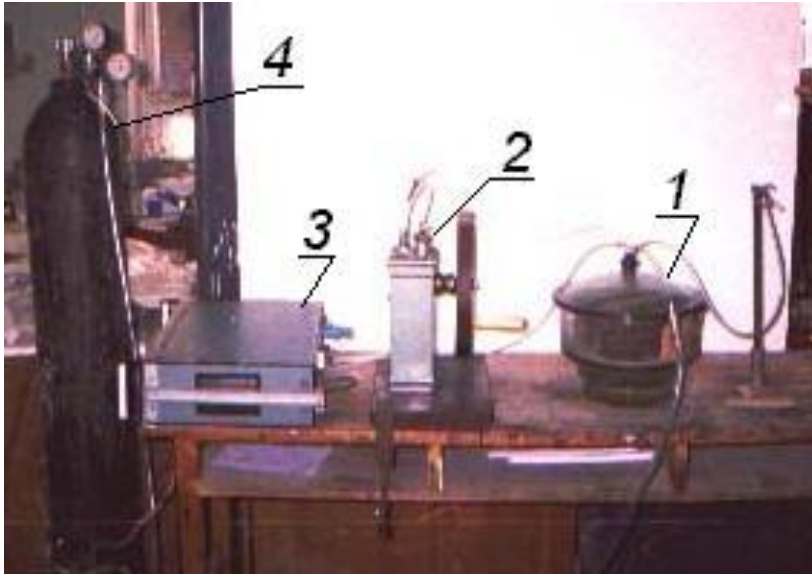
$$\tau_{атм} = \tau_{експ} \cdot \frac{c_{CO_2}^{експ}}{c_{CO_2}^{атм}} \cdot \frac{x_{атм}^2}{x_{експ}^2}; \quad (6.25)$$

3) глибину карбонізації бетону в атмосферних умовах  $x_{атм}$  за час  $\tau_{атм}$

$$x_{атм} = x_{експ} \cdot \sqrt{\frac{c_{CO_2}^{атм} \cdot \tau_{атм}}{c_{CO_2}^{експ} \cdot \tau_{експ}}}. \quad (6.26)$$

В УкрДАЗТ розроблено методику і виготовлено оригінальну лабораторну установку для вказаних досліджень (рис. 6.49).

а)



б)



Рис. 6.49. Дослідження карбонізації:

а – установка для дослідження швидкості карбонізації: 1 – камера з підвищеним вмістом  $CO_2$  для експозиції зразків; 2 – лабораторний вакуумний насос; 3 – газоаналізатор ГИАМ-14; 4 – балон з газовим редуктором, що містить  $CO_2$ ; б – відколи зразків, що піддалися карбонізації, оброблені розчином фенолфталеїну

Досліджували вплив на швидкість карбонізації бетону комплексної добавки. Склад бетону – пісок : цемент : вода=2,5 : 1 : 0,55; цемент – ПЦ II-А/Ш-400 ДСТУ Б В.2.7-32, пісок ДСТУ Б В.2.7-46 дуже дрібний  $M_{кр}=1,0$ , склад добавки замовником дослідження на розголошувався; твердіння – природне 28 діб. Зразки – балочки 160×40×40 мм – 6 шт.

Зразки із експериментального складу бетону з добавкою і контрольні із бетону без добавки витримують в камері з відносною вологістю повітря  $(75\pm 3)\%$ , температурою  $(20\pm 5)^\circ C$  до постійної маси, поміщують в герметичну камеру (рис.6.49, а) з об'ємною концентрацією  $CO_2$   $c_{CO_2}^{експ}=(10\pm 5)\%$ , відносною вологістю повітря  $(75\pm 3)\%$ , температурою  $(20\pm 5)^\circ C$ , витримують  $\tau_{експ}=7$  діб, видаляють із камери, розколюють, на відкол наносять 0,1% спиртовий розчин фенолфталеїну, вимірюють глибину карбонізації  $x_i$  – товщину шару бетону, що не зафарбувався у малиновий колір, на відколі кожної із шести половинок зразків-

балочок біля кожної із чотирьох граней (рис. 6.49, б), глибину карбонізації  $x_{експ}$  визначають як середнє арифметичне двадцяти чотирьох одержаних значень  $x_i$ . Таким чином одержують величину глибини карбонізації  $x_i$  для бетону з добавкою і контрольного без добавки, розраховують для них тривалість карбонізації захисного шару товщиною 10 мм за формулою (6.25).

Результати експериментального дослідження наведені у табл. 6.27, де  $\tau_{атм}$  визначені за формулою (6.25):

- для контрольного складу бетону без добавки:

$$\tau_{атм} = 7 \cdot \frac{10}{0,03} \cdot \frac{10^2}{2,7^2} = 32004 \text{доб} = 88 \text{р.}$$

- для експериментального складу з добавкою

$$\tau_{атм} = 7 \cdot \frac{10}{0,03} \cdot \frac{10^2}{0,9^2} = 288037 \text{доб} = 789 \text{р.}$$

Таблиця 6.27

Результати дослідження кінетики карбонізації бетону з комплексною добавкою

Склад бетону	Глибина карбонізації $x_{експ}$ , мм	Тривалість карбонізації захисного шару товщиною 10 мм в атмосферних умовах $\tau_{атм}$ , рр.
Контрольний без добавки	2,7	88
Експериментальний добавкою	0,9	789

Таким чином, встановлено, що комплексна добавка збільшує тривалість карбонізації захисного шару бетону товщиною 10 мм від 88 до 789 р. або у 9 разів і, відповідно, знижує швидкість карбонізації у 9 разів.

**6.2.5.2. Дослідження дії струмів витоку і блукаючих струмів на бетон** проводять за методикою, розробленою в УкрДАЗТ.

При проходженні рейковою колією поїзда з електровозом, електропоїзда, з рейок в землю стікає частина тягового струму – струм витоку (рис. 6.50). Цей струм розтікається углиб землі та по її поверхні (називається вже блукаючим струмом) і може натикати на конструкції близькорозташованих будівель. Аналіз схеми рис.6.50 показує, що за наявності різниці потенціалів між рейкою і цоколем, а також між цоколем і віддаленою точкою землі струм протікає через конструкції цоколя і фундаменту.

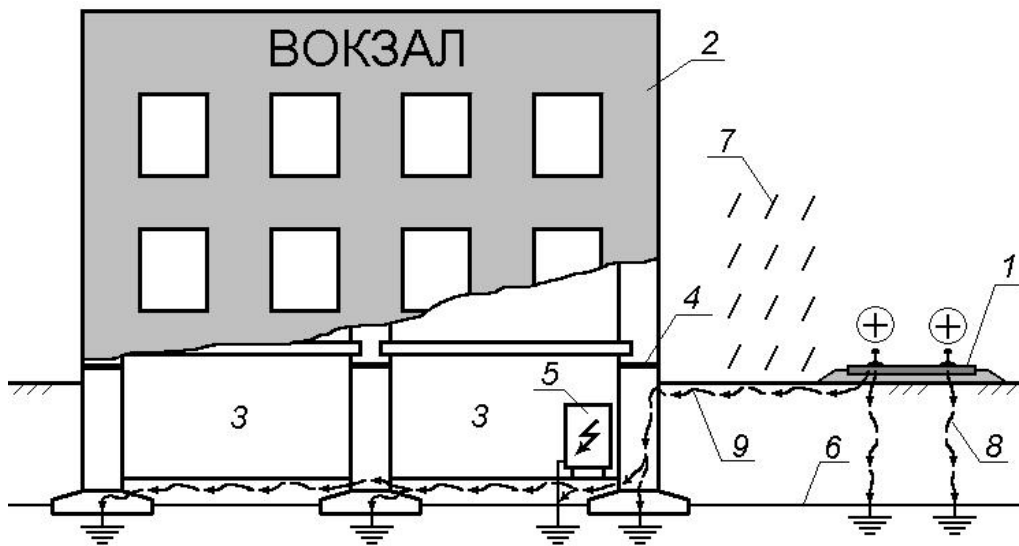


Рис. 6.50. Схема протікання струму через конструкції будівлі, розташованої біля електрифікованої постійним струмом залізничної колії:

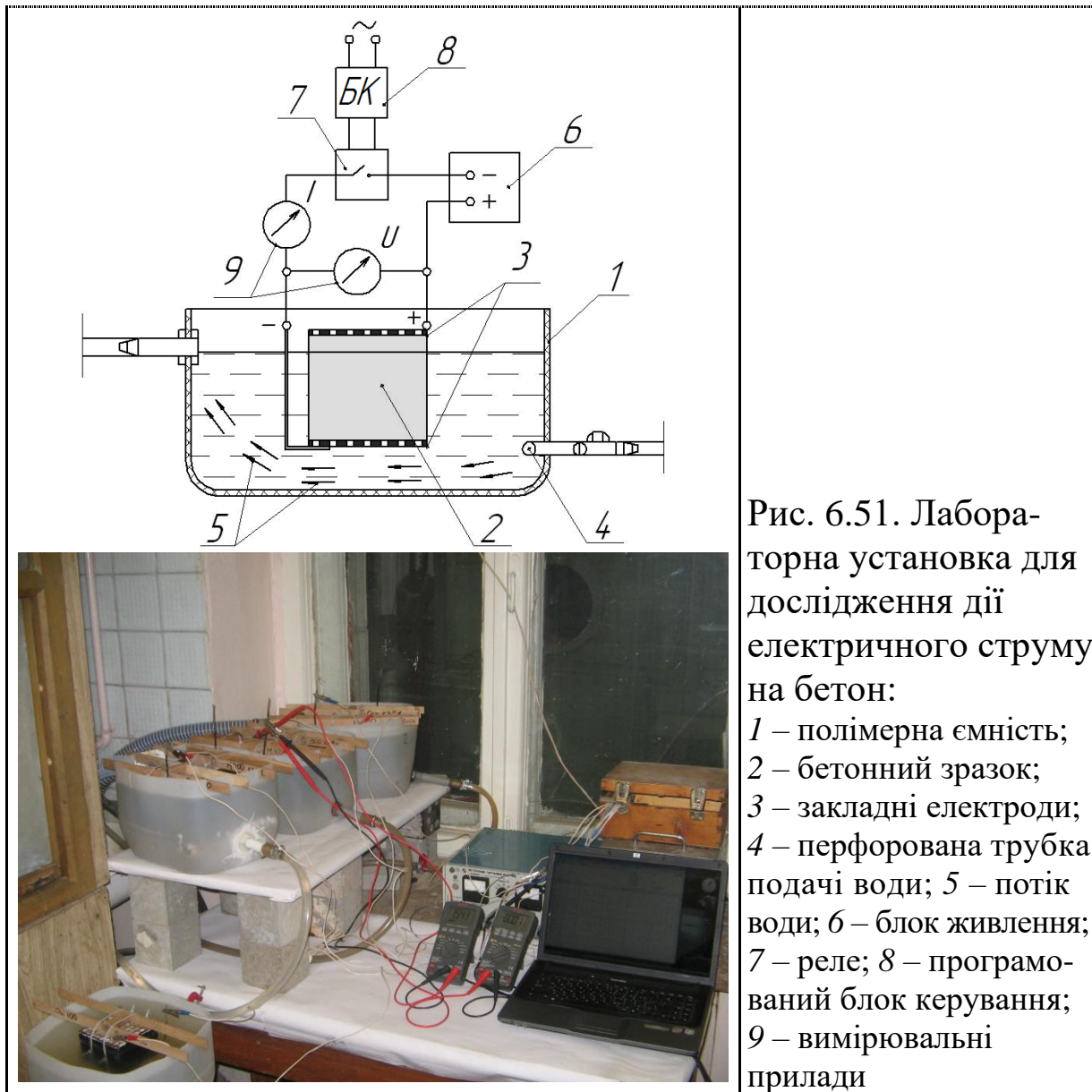
- 1 – електрифікована колія; 2 – будівля; 3 – сирий підвал; 4 – горизонтальна гідроізоляція; 5 – заземлене електроустаткування; 6 – рівень ґрунтових вод; 7 – атмосферні опади; 8 – блукаючий струм, що переважає в суху погоду; 9 – блукаючий струм, що переважає в сиру погоду

Відомо, що при стіканні з металевих конструкцій і з арматури залізобетонних конструкцій постійний електричний струм обумовлює електрокорозію сталі. Висунуто гіпотезу про електрокорозію бетону при протіканні крізь нього електричного струму. Метою експериментального дослідження є виявлення корозійного впливу електричного струму (постійного, змінного, циклічного згідно з графіком руху поїздів) на бетон, зокрема



визначення зміни міцності і водопроникності бетону, виявлення в цементному камені зменшення кількості продуктів гідратації цементу і виникнення продуктів корозії і т.п.

Розроблено лабораторну установку (рис. 6.51), яка складається із полімерної ємності 1 розміром 400×400 мм, висотою 250 мм.



Досліджують зразки-куби 2 з розміром ребра 100 мм. Бічні грані зразка на всю висоту покривають у два шари епоксидно-кам'яновугільним складом ЗС-3 і шаром парафіну, що виключає поверхневу провідність. Зразок підвішують до встановленої зверху ємності рамки так, щоб він на 1/9 висоти виступав з води.

На верхню і нижню грані зразка при його виготовленні накладають електроди 3 у вигляді сталевих пластин з 64 отворами діаметром 10 мм (сумарна площа отворів – 50 % загальної площі електрода, рис. 6.52). Під нижньою гранню зразка пропускають потік води 5, що входить через перфоровану трубку 4 в нижній частині ємності, виходить через отвір у верхній частині її протилежног боку, забезпечуючи найбільш інтенсивне відведення продуктів вилугування і моделюючи контакт з ґрунтовою водою. Накладні електроди підключають до блока живлення 6: верхній – до позитивного полюса, нижній – до негативного. Блок живлення автоматично вмикається та вимикається програмованим блоком керування 8 за допомогою реле 7, що забезпечує циклічне вмикання і вимикання напруги згідно з заданим режимом, що імітує рух поїздів ділянкою. Ця установка дозволяє випробовувати по два зразки. Для контролю використовують такі ж зразки-куби з бетону такого ж складу. На один контрольний зразок, поміщений в ємність, впливають тільки проточною водою, не надаючи електричної дії, а на другий контрольний зразок впливають тільки стоячою водою, не надаючи дії електрики і проточної води.

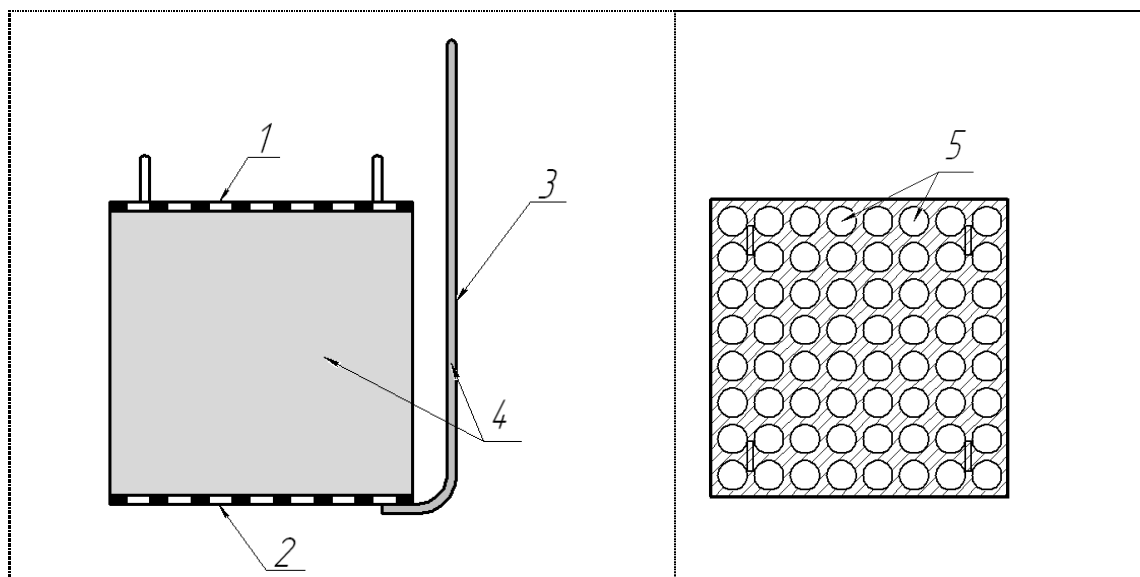


Рис. 6.52. Конструкція зразка і накладних електродів:  
 1 – електрод «+»; 2 – електрод «-»; 3 – випуск електрода «-» над поверхнею води; 4 – зразок, покритий складом ЗС-3 і парафіном; 5 – отвори в електроді

Показання струму, опору, напруги, що подається, і залишкової різниці потенціалів на електродах автоматично реєструються з дискретністю 2 с за допомогою цифрових мультиметрів Sanwa PC-510, інтерфейсу з ПК і програмного забезпечення Sanwa PC-Link (рис.6.51). Збережені в ПК дані додатково обробляють за допомогою програми MS Excel, будуючи графіки зміни вказаних величин протягом тривалого часу.

Після завершення тривалої циклічної електричної дії на досліджуваний зразок і відповідних дій на контрольні зразки із них видаляють накладні електроди і за методикою п. 6.2.2.7 досліджують безнапірну водопроникність бетону. Після закінчення дослідження безнапірної водопроникності з кожного зразка вирізають по вісім зразків-кубиків з розміром ребра 40 мм: чотири – з верхньої і чотири – з нижньої зон зразка і визначають їх міцність на стиск згідно з ГОСТ 10180 (п. 6.2.1.1). При цьому масштабний коефіцієнт, отриманий екстраполяцією даних табл.6.28, приймають рівним  $\alpha = 0,781$ . Із зруйнованих зразків відбирають цементний камінь і піддають фізико-хімічним дослідженням (п. 6.2.4).

#### **Приклад експериментального дослідження:**

- номінальний склад бетону зразків: портландцементу – 167, щебеню – 1310, піску – 667, води – 200 кг на 1 м<sup>3</sup> ( $B/C = 1,2$ );

- режим циклічної електричної дії на зразок: напруга – постійна 40 В; увімкнено – 10 хв, вимкнено – 8 хв; така циклічна електрична дія приблизно відповідає середньому потенціалу на рейках та інтервалам проходження поїздів, тобто встановленому режиму протікання струму витоку і блукаючого струму;

- тривалість досліду – 3600 год = 11500 циклів; така тривалість для інтенсивності руху 50 поїздів на добу відповідає 8 місяцям експлуатації бетонної або залізобетонної конструкції, через яку проходить струм витоку або блукаючий струм з електрифікованої залізничної колії.

Результати дослідження наведені у табл. 6.28, з якої видно, що дія циклічного електричного струму на бетон призвела до зниження його міцності з 13,6 до 11,2 МПа – на 18 %.

Таблиця 6.28

Результати дослідження впливу циклічного електричного струму на бетон

Дія на зразок	Міцність бетону $R$ , МПа	Безнапірна водо-проникність $W_{6в}$ , см/с
Стоячої води	13,6	$7,2 \cdot 10^{-6}$
Проточної води	13,2	$2,2 \cdot 10^{-6}$
Пульсуючого електричного струму і проточної води	11,2	$1,9 \cdot 10^{-6}$

Виконано фізико-хімічні дослідження, зокрема, рентгенофазовий аналіз та інфрачервону спектроскопію цементного каменю із зразків, що піддавали дії циклічного електричного струму і проточної води, тільки проточної води і тільки стоячої води. Шляхом порівняння та аналізу рентгенограм та ІЧ-спектрів встановлено, що внаслідок спільної дії циклічного електричного струму і потоку води у порівнянні з дією тільки води як проточної, так і стоячої, у цементному камені:

- відбулось вилуговування гідроксиду кальцію;
- внаслідок вилуговування суттєво зменшилась кількість клінкерних мінералів а, отже, негідратованих цементних часток – «клінкерний фонд»;
- зменшилась основність гідросилікатів кальцію;
- зменшилось відношення кількості кристалогідратів до кількості геля.

Таким чином, спільна дія циклічного електричного струму і проточної води спричиняє інтенсивне вилуговування цементного каменю, яке обумовлює зниження міцності бетону на 18 % і втрату ним захисних властивостей відносно арматури.

### 6.3. Проведення кількісного експерименту

Підготування експерименту полягає у розробленні його програми і матеріально-технічному забезпеченні і проводиться в такому порядку:

- 1) формулювання мети експерименту;

2) вибір і опрацювання методів експериментального дослідження, засобів вимірювань (вимірювальних приладів, випробувального обладнання), розроблення і виготовлення схем вимірювань та випробувань, лабораторних установок; засоби вимірювань повинні проходити метрологічну перевірку в установленому порядку;

3) складання плану експерименту: вибір і обґрунтування факторів і вихідних параметрів, границь і кроку зміни факторів, послідовності дослідів. План експерименту складають, виходячи з очікуваних за даними теоретичних (гіпотези) і пошукових досліджень результатів. При необхідності застосовують математичне планування експерименту, яке полягає у призначенні факторів таким чином, який дозволить провести математичну обробку результатів і одержати кореляційні залежності;

4) розроблення форми лабораторного журналу та його складання (на папері або в електронному вигляді, наприклад у форматі електронних таблиць Microsoft Excel).

Приклади лабораторних журналів наведені у табл. 6.29 і 6.30. На першій сторінці журналу наводять мету експерименту, коротку характеристику об'єкта і предмета дослідження, викладають методику експерименту, характеристику засобів вимірювань, схеми вимірювань, випробувань, лабораторних установок, або вказують на застосований стандартний метод з посиланням на відповідну стандартну методику, наводять фактори. Докладніше фактори, границю та крок їх зміни, вихідні параметри, послідовність експерименту зручно відбивати у табличній формі.

Для кожного фактора обирають кількість експериментальних точок та їх розташування в границях досліджуваної області. Звичайно обирають п'ять-сім дослідів. Бажано інтервали зміни факторів задавати постійними і визначати

$$\Delta x = (x_{max} - x_{min}) / (n - 1), \quad (6.27)$$

де  $x_{max}$ ,  $x_{min}$  – верхня і нижня границі зміни значення фактора;  
 $n$  – кількість дослідів у серії.

Таблиця 6.29

**Приклад оформлення журналу досліджень при однофакторному експерименті**

ЖУРНАЛ експериментальних досліджень Розпочато 01.06.2007, закінчено 31.08.2007									
Експеримент 15.06.2007									
Мета експерименту – визначення впливу вмісту добавки – прискорювача твердіння хлориду кальцію на ранню (12 год) міцність бетону.									
Метод дослідження: приготування бетонної суміші з різним вмістом добавки, виготовлення зразків – кубів з розміром ребра 100 мм, твердіння зразків, випробування зразків у віці 12 год за допомогою гідравлічного пресу з визначенням міцності на стиск за ГОСТ 10180.									
Зафіксовані фактори: склад бетону (на 1 м <sup>3</sup> : ШЦ – 1150, П – 555, Ц – 450, В – 145 кг/м <sup>3</sup> ; на заміс: ШЦ – 11,5, П – 5,55, Ц – 4,50, В – 1,45 кг); В/Ц – 0,32; температура твердіння – 20°С; тривалість твердіння – 12 год.									
Досліджуваний фактор $x$ – вміст добавки Д/Ц: $x_{min} = 0$ , $x_{max} = 5$ %, $\Delta x = 1$ %.									
Фактор $x$	Вміст хлориду кальцію $D$		Номер		Дата, час:		Руйнівна сила $P$ , кН	Результат $y$	Примітки
	Вміст хлориду кальцію $D/C$ , %	на 1 м <sup>3</sup> , кг	на заміс, г	серії зразків $v$	зразка	виготовлення зразків			
0	0	0	1	1.1 1.2	14.6.07: 8.10	14.6.07: 20.10	26000 27000	23,7	Контрольні зразки
1	4,5	4,5	2	2.1 2.2	8.20	20.20	31300 29500	27,1	
2	9,0	9,0	3	3.1 3.2	8.30	20.30	32200 34700	29,9	
3	13,5	13,5	4	4.1 4.2	8.40	20.40	34900 32500	30,1	
4	18,0	18,0	5	5.1 5.2	8.50	20.50	38500 35500	33,0	
5	22,5	22,5	6	6.1 6.2	9.00	21.00	33800 36500	31,4	

Таблиця 6.30

Приклад оформлення журналу досліджень при двофакторному експерименті

ЖУРНАЛ експериментальних досліджень Розпочато 10.01.2007, закінчено 29.12.2007								
Експеримент 18÷26.06.2007								
Мета експерименту – визначення впливу температури і тривалості (ізотермічної витримки) твердіння на міцність бетону після тепловологісної обробки.								
Метод дослідження: приготування бетонної суміші, виготовлення зразків – кубів з розміром ребра 100 мм, твердіння зразків у пропарювальній камері при різних температурах і тривалості, випробування зразків після тепловологісної обробки на гідравлічному пресі з визначенням міцності на стиск за ГОСТ 10180.								
Зафіксовані фактори: склад бетону ( $Щ=1150$ , $П=555$ , $Ц=450$ , $В=145$ кг/м <sup>3</sup> ); $В/Ц=0,32$ .								
Досліджувані фактори:								
- $x_1$ – температура ізотермічного прогріву: $x_{1min} = 20$ , $x_{1max} = 80$ °С, $\Delta x_2 = 20$ °С;								
- $x_2$ – тривалість ізотермічного прогріву: $x_{2min} = 4$ , $x_{2max} = 12$ год, $\Delta x_2 = 2$ год; крім ізотермічного прогріву загальний час твердіння включає: попередню витримку – 1 год; підйом температури зі швидкістю 20°С/год (для 20°С – 0; 40°С – 1 год; 60°С – 2 год; 60°С – 2 год); остигання зразків – 0,5 год, наприклад:								
1+5,5(1+4+0,5) – тривалість, год, відповідно: 1 – попередньої витримки; 5,5 – тепловологісної обробки; 1 – підйому температури; 4 – ізотермічного прогріву; 0,5 – остигання зразків								
Фактори		Номер		Дата, час:		Руйнів-на сила $P$ , кН	Результат у Міцність на стиск після ТВО $R_{ТВО}$ , МПа	Приміт-ки
$x_1$	$x_2$	серії зразків	зразка	виготовлення зразків	випробування зразків			
Температура, °С	Тривалість, год*	3	4	5	6	7	8	9
20	1+4,5 (0+4+0,5)	1	1.1	18.6.07:	18.6.07:	0	0	Конт-рольні серії зразків
			1.2	8.00	13.30	0		
	1+6,5 (0+6+0,5)	2	2.1	«	15.30	0	0	
			2.2			0		
	1+8,5 (0+8+0,5)	3	3.1	«	17.30	0	0	
			3.2			0		
	1+10,5 (0+10+0,5)	4	4.1	«	19.90	620	0,6	
			4.2			740		
	1+12,5 (0+12+0,5)	5	5.1	«	21.30	1130	1,1	
			5.2			1350		



Закінчення табл. 6.30

1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	1+5,5 (1+4+0,5)	6	6.1	20.6.07:	20.6.07:	3640	2,8	
			6.2	8.00	14.30	2600		
	1+7,5 (1+6+0,5)	7	7.1	«	16.30	8500	6,6	
			7.2			6300		
	1+9,5 (1+8+0,5)	8	8.1	«	18.30	10050	9,9	
			8.2			12100		
	1+11,5 (1+10+0,5)	9	9.1	«	20.30	14500	12,4	
			9.2			13300		
	1+13,5 (1+12+0,5)	10	10.1	«	22.30	16150	14,3	
			10.2			15900		
60	1+6,5 (2+4+0,5)	11	11.1	22.6.07:	22.6.07:	12900	12,1	
			11.2	8.00	15.30	14200		
	1+8,5 (2+6+0,5)	12	12.1	«	17.30	18000	16,5	
			12.2			19000		
	1+10,5 (2+8+0,5)	13	13.1	«	19.30	24300	20,4	
			13.2			21400		
	1+12,5 (2+10+0,5)	14	14.1	«	21.30	24500	23,1	
			14.2			27250		
	1+14,5 (2+12+0,5)	15	15.1	«	23.30	29050	24,8	
			15.2			26500		
80	1+7,5 (3+4+0,5)	16	16.1	25.6.07:	25.6.07:	24800	22,0	
			16.2	8.00	16.30	24500		
	1+9,5 (3+6+0,5)	17	17.1	«	18.30	28000	25,9	
			17.2			30000		
	1+11,5 (3+8+0,5)	18	18.1	«	20.30	32000	29,2	
			18.2			33400		
	1+13,5 (3+10+0,5)	19	19.1	«	22.30	35000	31,9	
			19.2			36500		
	1+15,5 (3+12+0,5)	20	20.1	«	26.6.07:	39000	33,6	
			20.2		0.30	36300		

При проведенні однофакторного експерименту всі фактори крім одного стабілізують.

Проведення експерименту:

1) згідно з планом, проводять досліди, їх результати заносять в журнал (табл. 6.29, 6.30);

2) результати вимірювань піддають обробці, оцінюють їх точність, відкидаючи недостовірні результати (п.6.3.1);

3) будують графіки залежностей виходу  $y$  від факторів  $x$  (пп. 6.3.2), аналізують їх, у т. ч. при необхідності піддають кореляційному і регресійному аналізу з визначенням функцій вигляду  $y = f(x)$  (п. 6.3.3), роблять висновки.

### 6.3.1. Забезпечення точності вимірювань

В експериментальних дослідженнях обов'язковою умовою забезпечення їх достовірності є забезпечення точності вимірювань.

*Вимірювання* – процес кількісного визначення фізичної величини за допомогою технічних засобів. Наукові основи вимірювань і забезпечення їх точності вивчає *метрологія*.

*Непрямі вимірювання* – визначення вимірюваної величини розрахунковим шляхом за результатами вимірювання функціонально пов'язаних з нею інших величин, наприклад:

- об'єму куба  $V$  за результатами вимірювань довжини його ребер  $l$  –  $V = l^3$ , м<sup>3</sup>;

- густини матеріалу за результатами визначення маси  $m$  та об'єму  $V$  зразка –  $\rho = m/V$ , кг/м<sup>3</sup>;

- границі міцності бетону на стиск  $R$  за величинами руйнівної сили  $P$ , кгс, і площі перерізу зразка  $S$ , см<sup>2</sup>, –  $R = P/S$ , кгс/см<sup>2</sup>;

- електричного опору провідника  $R$  за результатами вимірювання напруги  $U$  і сили струму  $I$  –  $R = U/I$ , Ом.

*Абсолютні вимірювання* – прямі вимірювання в одиницях вимірюваних величин, наприклад, абсолютна вологість ґрунту  $W$ , %.

*Відносні вимірювання* – вимірювання величин, що є відношенням до однойменної еталонної величини, наприклад, відносна вологість ґрунту  $W/W_T$ , де  $W_T$  – абсолютна вологість границі текучості ґрунту.

Вимірювання класифікують на три класи:

- особливо точні – еталонні з максимально можливою точністю; в експериментальних дослідженнях в будівництві і на транспорті не застосовуються;

- високоточні – похибка не повинна перевищувати заданих допустимих значень; застосовуються в особливо відповідальних експериментальних дослідженнях, а також для контролю та повірки засобів вимірювань;

- технічні – точність, обумовлена засобами вимірювань.

*Абсолютна погрішність (похибка)* вимірювання  $\Delta x$  – алгебраїчна різниця між дійсним  $x$  і виміряним  $x_i$  значеннями досліджуваної величини

$$\Delta x = |x_i - x|. \quad (6.28)$$

*Відносна погрішність (похибка)* вимірювання

$$\varepsilon = \pm(\Delta x/x) \cdot 100 \%. \quad (6.29)$$

*Точність вимірювання* – ступінь наближення вимірювання до дійсного значення величини, характеризується абсолютною або відносною погрішністю.

*Достовірність вимірювань* – ступінь довіри до їх результатів, відповідності виміряних значень досліджуваної величини її дійсному значенню. В загальному випадку достовірність – безсумнівна відповідність встановлених фактів дійсності.

Для підвищення точності вимірювань слід намагатись знижувати погрішності (похибки).

Загальна погрішність вимірювання складається із *систематичних  $\varepsilon_1$ , випадкових  $\varepsilon_2$ , грубих  $\varepsilon_3$  погрішностей*

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3. \quad (6.30)$$

### **6.3.1.1. Виключення систематичних погрішностей.**

*Систематичні погрішності* – такі, що при повторних вимірюваннях залишаються постійними (або змінюються за відомим законом). Вони можуть бути постійними (звичайно в один бік), змінними – такими, що збільшуються або зменшуються в ході експерименту.

Групи систематичних погрішностей:

1 – інструментальні, що виникають внаслідок несправності засобів вимірювань – неточності шкали, зносу вузлів і деталей – люфтів, тертя;

2 – обумовлені неправильним встановленням і налагодженням засобів вимірювань;

3 – обумовлені впливом середовища – зміною температури, вологості, тиску, вібрацією і поштовхами, магнітними і електричними полями;

4 – суб'єктивні, обумовлені індивідуальними фізіологічними, психофізіологічними, антропологічними особливостями дослідника;

5 – методологічні, обумовлені застосуванням необґрунтованого методу дослідження – спрощеного, з недостатньою кількістю повторювань.

Систематичні погрішності слід обов'язково виключати або враховувати шляхом внесення поправки (при відомому значенні погрішності).

Погрішності 1÷5 груп слід намагатися виключати з експерименту шляхом ремонту, регулювання і перевірки засобів вимірювання, виключенням впливу середовища. Погрішності 1÷3 груп можливо виключити в ході експерименту.

Один із ефективних методів їх визначення – метод заміщення: замість досліджуваного об'єкта вимірюють еталонний, заздалегідь виміряний з великою точністю. Різниця між виміряною і еталонною величиною характеризує погрішність вимірювального засобу.

**6.3.1.2. Врахування випадкових погрішностей.** *Випадкові погрішності* – такі, що виникають випадково при повторних вимірюваннях. Не можуть бути виключені як систематичні, але повинні обов'язково враховуватись. Основний принцип визначення і врахування випадкових погрішностей – повторення дослідів.

Врахування випадкових погрішностей ґрунтується на нормальному законі розподілу

$$f(x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right]; \quad (6.31)$$

$$f(\Delta x_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta x_i^2}{2\sigma^2}\right), \quad (6.32)$$

де  $x_i$  – вимірюване значення величини  $x$ ;

$f(x_i)$  – густина розподілу вимірюваних значень величини  $x$ ;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне результатів вимірювань;

$\Delta x_i$  – погрішність кожного вимірювання величини  $x$ ;

$f(\Delta x_i)$  – густина розподілу погрішностей вимірювання величини  $x$ ;

$\sigma^2, \sigma$  – дисперсія і середнє квадратичне відхилення, відповідно – основні характеристики розподілу результатів вимірювань  $x_i$ .

Середнє арифметичне при нескінченно великій кількості вимірювань дорівнюється істинному значенню вимірюваної величини

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6.33)$$

де  $n$  – кількість вимірювань – звичайно вважають, що при  $n > 30$  значення  $\bar{x}$  достатньо наближається до істинного значення величини.

Дисперсія характеризує розкид значень вимірюваної величини навколо середнього арифметичного

$$\sigma^2 = \frac{1}{1-n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (6.34)$$

Середнє квадратичне відхилення (стандарт) також характеризує розкид значень вимірюваної величини навколо середнього арифметичного

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1-n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (6.35)$$

Мінливість одержуваних результатів вимірювань характеризує коефіцієнт варіації

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% . \quad (6.36)$$

Чим більші значення дисперсії, стандарту і коефіцієнта варіації, тим більший розкид вимірювань.

Графічне відображення закону розподілу випадкових похибок є кривою нормального (гаусевого) розподілу (рис. 6.53).

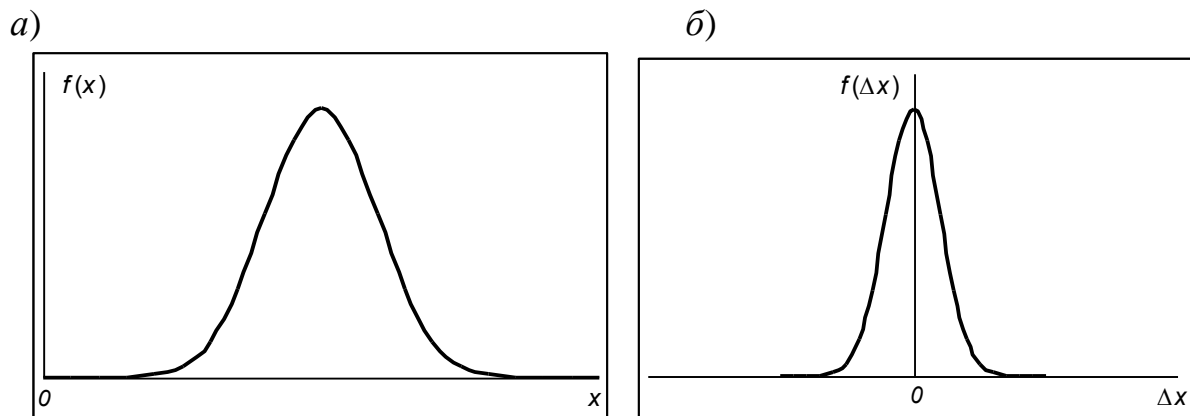


Рис. 6.53. Крива нормального розподілу:

*a* – вимірної величини  $x$ ; *б* – погрішності вимірювання  $\Delta x$

Нормальний закон відбиває дві властивості:

- симетрії випадкових помилок – випадкові помилки зустрічаються як у бік збільшення, так і у бік зменшення однаково часто;

- розподілу – малі за абсолютною величиною помилки зустрічаються частіше, ніж великі.

Відхилення середнього арифметичного від істинної величини  $(x - \bar{x})$  визначити неможливо, але з вірогідністю  $p$  математична статистика дозволяє винайти інтервал значень середнього арифметичного  $\bar{x} \pm \Delta x$ , в який потрапляє величина  $x$ .

Інтервал від  $\bar{x} - \Delta x$  до  $\bar{x} + \Delta x$  є довірчим інтервалом,  $\Delta x$  – погрішність середнього арифметичного, а  $p$  – довірчою вірогідністю.

Величина  $\Delta x$  дорівнює

$$\Delta x = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (6.37)$$

де  $t$  – коефіцієнт Стьюдента, визначений за емпіричною табл. 6.31.

З довірчою вірогідністю  $p$  істинне значення величини  $x$  міститься в довірчому інтервалі  $(\bar{x} - \Delta x) \leq x \leq (\bar{x} + \Delta x)$ .

Погрішність окремого вимірювання дорівнює

$$\Delta x_i = t \cdot \sigma. \quad (6.38)$$

Отже, точність визначення середнього арифметичного перевищує точність окремого вимірювання у  $\sqrt{n}$  разів.

Для збільшення точності вимірювання у два рази слід збільшити кількість дослідів (вимірювань) у чотири рази.

Таблиця 6.31

Значення коефіцієнтів Стьюдента  $t$

Кількість вимірів $n$	Значення $t$ з довірчою вірогідністю		
	0,95	0,99	0,999
1	2	3	4
2	12,71	63,66	632,62
3	4,30	9,93	31,60
4	3,18	5,84	12,94
5	2,78	4,60	8,61
6	2,57	4,03	6,86
7	2,45	3,71	5,96
8	2,37	3,50	5,41
9	2,31	3,36	5,04
10	2,26	3,25	4,78
11	2,23	3,17	4,59
12	2,20	3,11	4,44
13	2,18	3,06	4,32



Продовження табл. 6.31

1	2	3	4
14	2,16	3,01	4,22
15	2,15	2,98	4,14
16	2,13	2,95	4,07
17	2,12	2,92	4,02
18	2,11	2,90	3,97
19	2,10	2,88	3,92
20	2,09	2,86	3,88
21	2,09	2,85	3,85
40	2,02	2,70	3,55
60	2,00	2,66	3,46
120	1,98	2,62	3,37
$\infty$	1,96	2,58	3,29

**6.3.1.3. Виключення грубих погрешностей.** *Грубі погрешності* – найбільші за значенням випадкові погрешності.

Грубі погрешності обумовлені:

- неправильним відрахунком за шкалою вимірювань;
- помилками при записі результатів досліджень в журнал, уведеними у ПК;
- маніпуляціями з приладами або їх вузлами – перестановленням, заміною блоків, перевіркою;
- несправністю приладів;
- раптово зміненими умовами експерименту.

Значення вимірюваної величини, які найбільш відхиляються і які відповідають грубим погрешностям, повинні виключатися статистичними методами. При виявленні грубих погрешностей результат вимірювання слід відкинути, а дослід повторити.

Так, одна груба похибка із 25 вимірювань і менше здатна істотно вплинути на результат.

Якщо одне із виміряних значень  $x_i$  істотно відрізняється від інших, його слід виключити. Найпростіший спосіб – правило трьох сигм. Згідно з цим правилом, відкиданню підлягають всі результати, які не входять в інтервал  $\bar{x} \pm 3\sigma$ , або ті, для яких

$$|x_i - \bar{x}| > 3\sigma. \quad (6.39)$$

Більш точним є спосіб на основі критерію Романовського. Згідно з цим способом, виключенню підлягають результати, для яких

$$|x_i - \bar{x}| > t_k \sigma, \quad (6.40)$$

де  $t_k$  – коефіцієнт, що визначається за табл. 6.32 в залежності від потрібної довірчої вірогідності і кількості дослідів (вимірювань).

Таблиця 6.32

Значення коефіцієнтів  $t_k$  для виключення грубих похибок

Кількість вимірів $n$	Значення $t$ з довірчою вірогідністю		
	0,95	0,99	0,999
2	15,56	77,96	779,7
3	4,97	11,46	36,5
4	3,56	6,53	14,46
5	3,04	5,04	9,43
6	2,78	4,36	7,41
7	2,62	3,96	6,37
8	2,51	3,71	5,73
9	2,43	3,54	5,31
10	2,37	3,41	5,01
11	2,33	3,31	4,79
12	2,29	3,23	4,62
13	2,26	3,17	4,48
14	2,24	3,12	4,37
15	2,22	3,08	4,28
16	2,20	3,04	4,20
17	2,18	3,01	4,13
18	2,17	2,98	4,07
20	2,145	2,932	3,979
40	2,048	2,742	3,602
60	2,018	2,683	3,942
100	1,994	2,639	3,409
$\infty$	1,960	2,576	3,291

**6.3.1.4 Порівняння точності вимірювань, проведених різними методами.** Порівняння точності вимірювань величини двома різними методами виконується шляхом порівняння їх дисперсій за допомогою критерію Фішера. Якщо виконується умова

$$\sigma_1^2 / \sigma_2^2 \leq F, \quad (6.41)$$

де  $F$  визначають за табл. 6.33 в залежності від кількості вимірювань кожним з методів, то вважають, що розходження між дисперсіями є випадковим, а точність вимірювання методів приблизно однакова.

Таблиця 6.33

Значення критерію Фішера  $F$  при довірчій вірогідності 0,95

$n_2 \backslash n_1$	2	3	4	5	6	7	13	25	$\infty$
2	164,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	249,9	249,0	254,3
3	18,5	19,2	19,2	19,3	19,3	19,3	19,4	19,5	19,5
4	10,1	9,6	9,3	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,5
5	7,7	6,9	6,6	6,4	6,3	6,2	5,9	5,8	5,6
6	6,6	5,8	5,4	5,2	5,1	5,0	4,7	4,5	4,4
7	6,0	5,1	4,8	4,5	4,4	4,3	4,0	3,8	3,7
8	5,6	4,7	4,4	4,1	4,0	3,9	3,6	3,4	3,2
9	5,3	4,5	4,1	3,8	3,7	3,6	3,3	3,1	2,9
10	5,1	4,3	3,9	3,6	3,5	3,4	3,1	2,9	2,7
11	5,0	4,1	3,7	3,5	3,3	3,2	2,9	2,7	2,5
12	4,8	4,0	3,6	3,4	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4
13	4,8	3,9	3,5	3,3	3,1	3,0	2,7	2,5	2,3
14	4,7	3,8	3,4	3,2	3,0	2,9	2,6	2,4	2,2
15	4,6	3,7	3,3	3,1	3,0	2,9	2,5	2,3	2,1
16	4,5	3,7	3,3	3,1	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1
17	4,5	3,6	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,2	2,0
18	4,5	3,6	3,2	3,0	2,8	2,7	2,4	2,2	2,0
19	4,4	3,6	3,2	2,9	2,8	2,7	2,3	2,1	1,9
20	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,9
21	4,4	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,3	2,1	1,8
40	4,1	3,2	2,9	2,6	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5
60	4,0	3,2	2,8	2,5	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
120	3,9	3,1	2,7	2,5	2,3	2,2	1,8	1,6	1,3
$\infty$	3,8	3,0	2,6	2,4	2,2	2,1	1,8	1,5	1,0

Якщо умова (6.41) не виконується, точність методів істотно відрізняється – метод з більшою дисперсією є менш точним.

### 6.3.2. Побудова графіків залежностей

**6.3.2.1. Особливості побудови графіків за експериментальними точками.** Результати експерименту, подані у табличній формі, не дозволяють досить наочно характеризувати залежність результату від факторів. Більш зручними є графіки залежностей (функцій)  $y = f(x)$ . Графічне зображення дає найбільш наочне уявлення цієї дії, дозволяє краще зрозуміти її фізичну сутність, виявити характер функціональної залежності, встановити наявність мінімуму і максимуму функції.

Для графічного зображення результатів експерименту, як правило, застосовують систему прямокутних координат. Для побудови графіка функції  $y = f(x)$  на систему координат наносять точки з координатами  $(x_1; y_1), (x_2; y_2), \dots (x_i; y_i), \dots (x_n; y_n)$ . Перед побудовою графіка необхідно знати хід (протікання) процесу. Як правило, якісні закономірності і форма графіка досліднику орієнтовно відомі із теоретичних досліджень.

Якщо експериментальні точки з'єднати прямими відрізками, то буде одержана ламана (рис. 6.55). Звичайно функції мають плавний характер. Тому при графічному зображенні результатів дослідів точки на графіку слід намагатись з'єднувати плавною лінією так, щоб вона по можливості проходила поблизу всіх експериментальних точок (рис. 6.54). Приклад побудови графіка залежності за даними табл.6.29 наведений на рис.6.55.

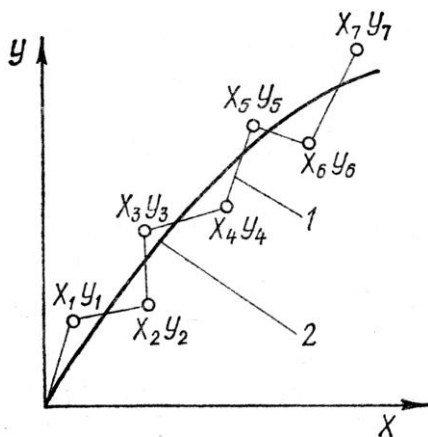


Рис. 6.54. Побудова графіку залежності  $y = f(x)$ : 1 – ламана лінія за результатами вимірювань; 2 – плавна крива

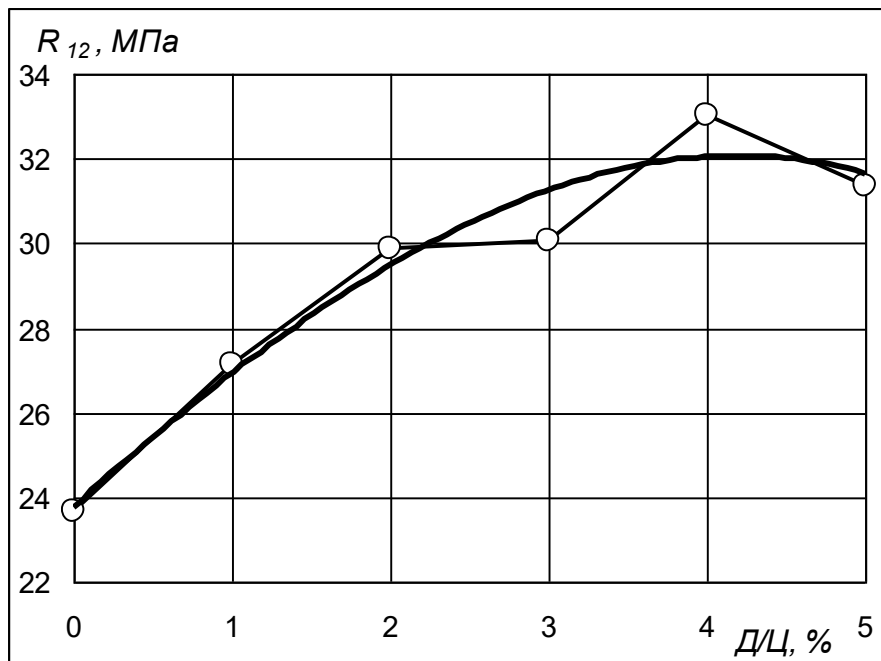


Рис. 6.55. Графік залежності міцності бетону на стиск через 12 год твердіння у природних умовах  $R_{12}$  від вмісту добавки – прискорювача твердіння  $Д/Ц$ , %, побудований за даними табл. 6.29

Часто спостерігається різке відхилення декількох точок від кривої або її різке викривлення (рис. 6.56÷6.59). Іноді це може бути обумовлене погрішностями вимірювань, особливо тоді, коли дані вимірювань попередньо не досліджувались на наявність грубих помилок. Якщо експеримент повторили би із застосуванням засобів більш високої точності, то одержали б менше погрішностей, а ламана лінія більш відповідала би плавній кривій. В цьому випадку необхідно повторити досліди в діапазоні різкого відхилення точок (рис. 6.57).

Якщо попереднє вимірювання не виявилось помилковим і відхилення повторюється (рис. 6.57÷6.59), необхідно до цього інтервалу поставитись дуже уважно. Часто таке відхилення обумовлене фізичною сутністю залежності, процесу, явища. У таких випадках потрібно проаналізувати цю сутність і лише якщо вона не дає підстав вважати наявним «стрибок» функції, таке різке відхилення можливо пояснювати грубою погрішністю.

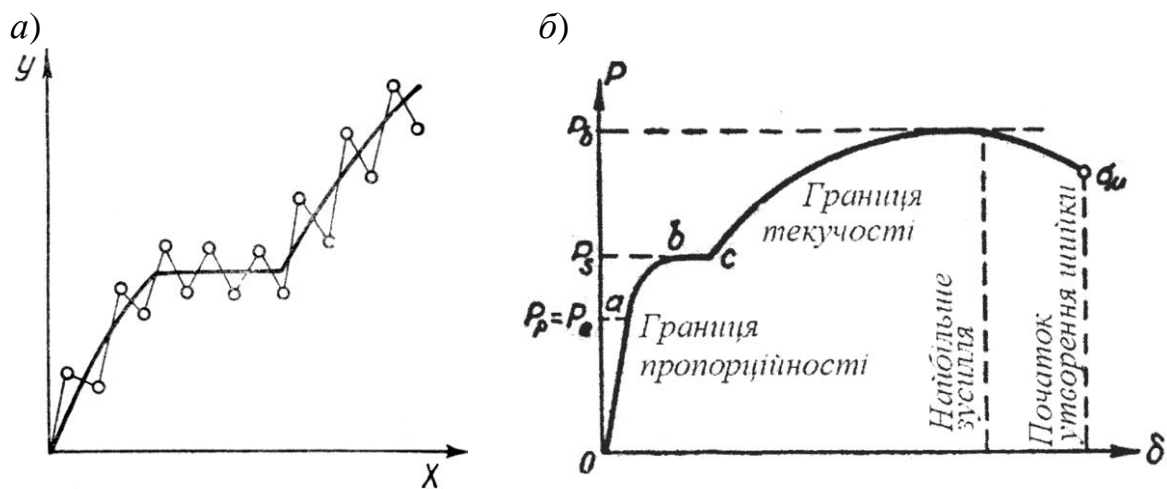


Рис. 6.56. Графік функції  $y = f(x)$  при наявності «площадки»:  
 а – побудова графіка за експериментальними даними;  
 б – діаграма розтягу зразка сталі

Якщо такий «стрибок» має пояснення, необхідно особливо ретельно з'єднувати точки кривою, не допускаючи їх загального «осереднення» плавною кривою, яке може призвести до того, що «стрибок» або «перелам» функції підміниться погрішностями вимірювань. Наприклад, площадка на діаграмі розтягу зразка сталі (рис. 6.56, б) пояснюється деформацією пластичної течії сталі  $\delta$  при постійному зусиллі  $P$  при досягненні ним значення границі текучості  $P_s$ .

На рис. 6.57 наведено експериментальні точки залежності міцності цементного каменю на стиск  $R$  від водоцементного відношення  $V/C$ . Відомий закон водоцементного відношення стверджує, що міцність залежить від водоцементного відношення обернено пропорційно, отже, від кривої слід очікувати вигляду гіперболи, якій відповідає права гілка кривої від значення  $V/C=0,23$ , а точки з  $V/C < 0,23$  можна вважати погрішністю експерименту. Проте, аналіз фізико-хімічного процесу твердіння цементу показує, що при значеннях  $V/C < 0,23$  має місце дефіцит води для хімічної реакції гідратації і фізико-хімічного процесу структуроутворення. Отже, крива має вигляд, як на рис. 6.57, з максимумом міцності при значенні  $V/C=0,23$ , яке є оптимальним, і двома спадними гілками – правою, що відповідає надлишку води, і лівою, що відповідає дефіциту води.

На рис. 6.58 наведено залежність міцності цементно-піщаного розчину на стиск  $R$  від коефіцієнта розсуву зерен піску цементним тістом  $\mu$ , а на рис. 6.59 – залежність міцності бетону на стиск  $R$  від коефіцієнта розсуву зерен щебеню цементно-піщаним розчином  $\alpha$ . Як бачимо, ці залежності так же, як і  $R = f(V/C)$  (рис. 6.57), мають екстремальний характер з максимумами міцності при певних оптимальних значеннях коефіцієнтів розсуву  $\mu_{opt}$  і  $\alpha_{opt}$ . Такі максимуми міцності пояснюються тим, що при забезпеченні оптимальних значень коефіцієнтів розсуву  $\mu_{opt}$  і  $\alpha_{opt}$  в структурі розчину і бетону в середньому утворюється найбільш щільна упаковка часток цементу між зернами піску і зерен піску – між зернами щебеню, відповідно (рис. 6.60, б). Ліва спадна гілка обумовлена неможливістю потрапляння ЧМ в зазор між СЕ (рис. 6.60, а), права спадна гілка – утворенням нещільної упаковки ЧМ в зазорі між СЕ (рис. 6.60, в). Причому на рис. 6.58 два характерних «піки» при  $\mu_{opt} = 2,4$  і  $1,2$  пояснюються утворенням між зернами піску щільних упаковок часток цементу фракцій 50 і 30 мкм, відповідно.

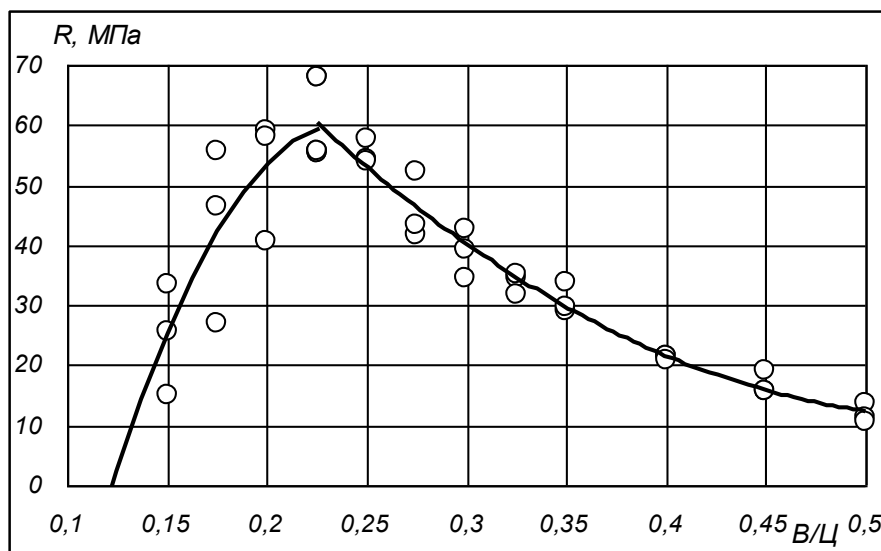


Рис.6.57. Залежність від водоцементного відношення  $V/C$  міцності на стиск  $R$  цементного каменю із портландцементу ПЦ ІІ-А/Ш-400 на 28 добу твердіння



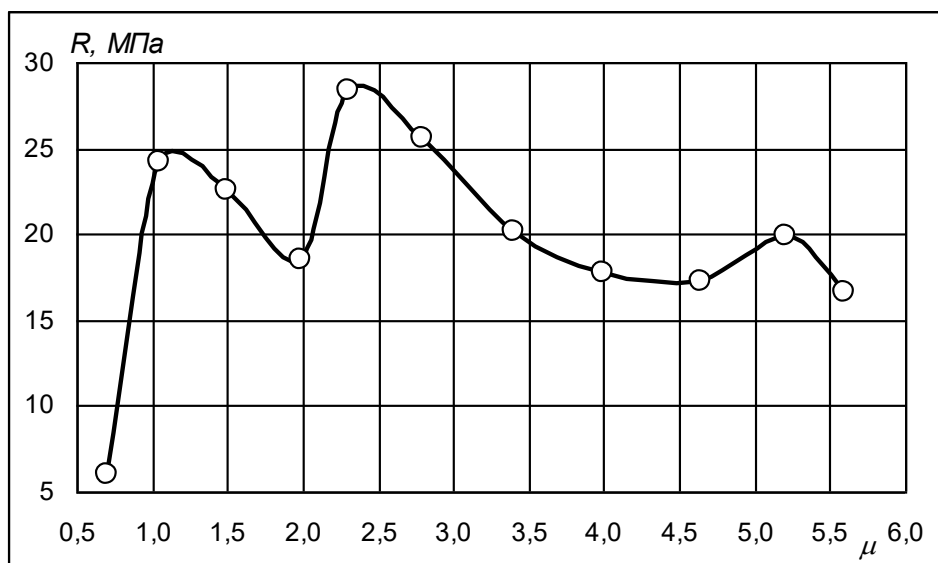


Рис. 6.58. Залежність від коефіцієнта розсування зерен піску цементним тістом  $\mu$  міцності на стиск  $R$  цементно-піщаного розчину на 28 добу твердіння. Портландцемент ПЦ II-А/Ш-400; пісок дуже дрібний;  $B/C = 0,45$

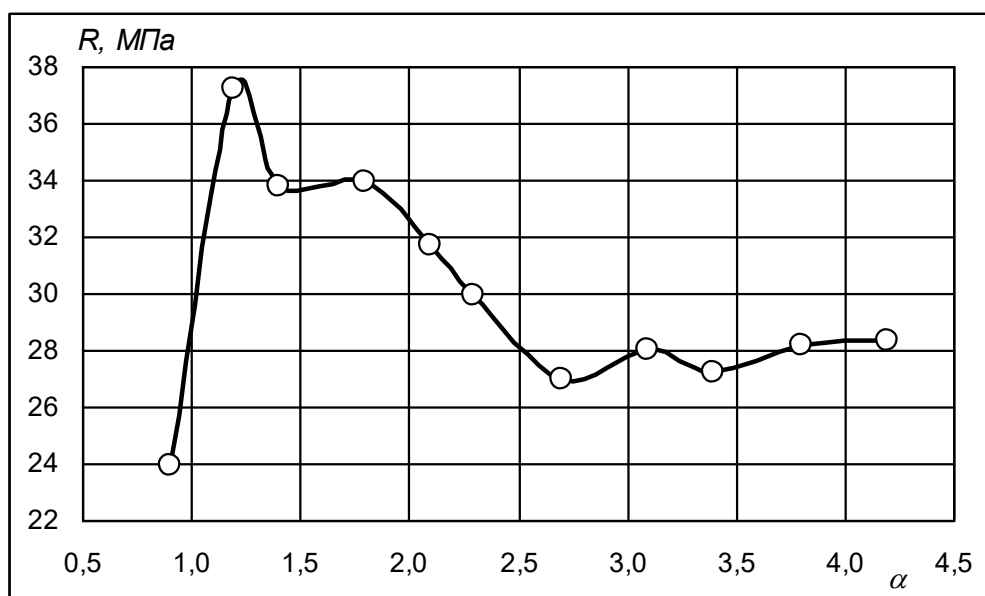


Рис. 6.59. Залежність від коефіцієнта розсування зерен щебеню цементно-піщаним розчином  $\alpha$  міцності на стиск  $R$  бетону на 28 добу твердіння. Портландцемент ПЦ II-А/Ш-400; пісок дуже дрібний; щебінь фракції 5÷10 мм;  $\mu = 2,5$ ;  $B/C = 0,45$

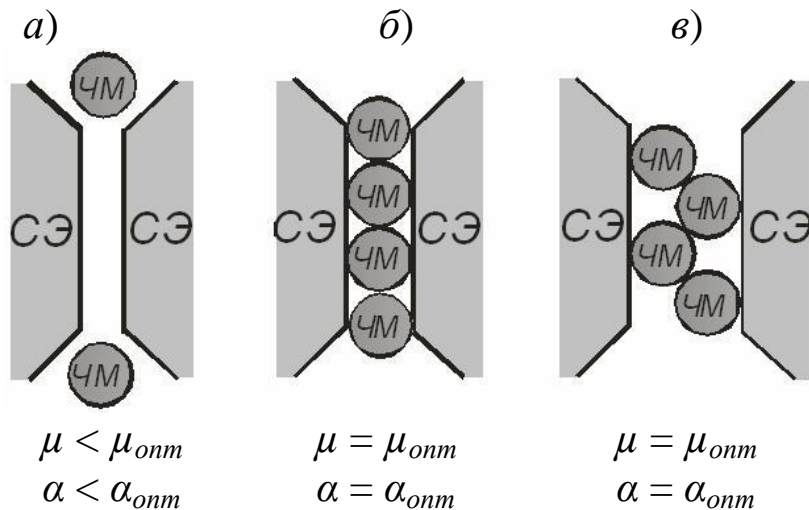


Рис. 6.60. Структура прошарку із часток матриці ЧМ (цементу або піску) між структуроутворюючими елементами СЭ (зернами піску або щебеню) при різних фактичних величинах коефіцієнтів розсуву зерен піску  $\mu$  або щебеню  $\alpha$

Часто доводиться графічно відображати результати двофакторного експерименту з двома незалежними змінними:  $y = f(x, z)$ . У цьому випадку застосовують спосіб розділення змінних. Одній з величин  $z$  у границях інтервалу вимірювань  $z_1 \div z_n$  задають декілька значень. Для двох інших змінних  $x$  і  $y$  (при  $z = \text{const}$ ) будують графіки  $y = f_1(x)$ . В результаті на одному графіку одержують серію кривих  $y = f_1(x)$  для різних значень  $z$  (рис. 6.61). Приклад побудови такого графіка за даними табл.6.30 наведений на рис. 6.62.

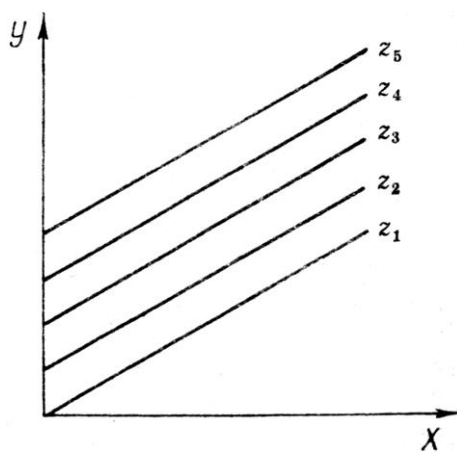


Рис. 6.61. Графічне відображення функції  $y = f(x, z)$

Залежність від двох факторів також може бути відбита за допомогою поверхні у прямокутній просторовій системі координат (рис. 6.63) або її проекції на прямокутну систему координат – *факторну площину* з відповідними ізолініями та ізополями результату (рис. 6.64).

Якщо необхідно графічно відобразити результати трьохфакторного (або більше) експерименту з трьома (або більше) незалежними змінними  $y = f(x, z, u)$ , то будують серію графіків типу попередніх (рис. 6.54÷6.59), але кожен з них при  $u_1, \dots, u_n = \text{const}$ . Наприклад, на серії графіків рис.6.65 наведено залежність міцності на стиск штучного каменю із кислототривкого цементу (діабазового порошку, рідкого скла і кремнійфтористого натрію) від трьох факторів: вмісту кремнійфтористого натрію  $KФН/PC$ , вмісту мінеральної добавки шлаку  $Ш/(Д+Ш)$  і вологості зразка (0 – у сухому стані, 5 % – у водонасиченому стані).

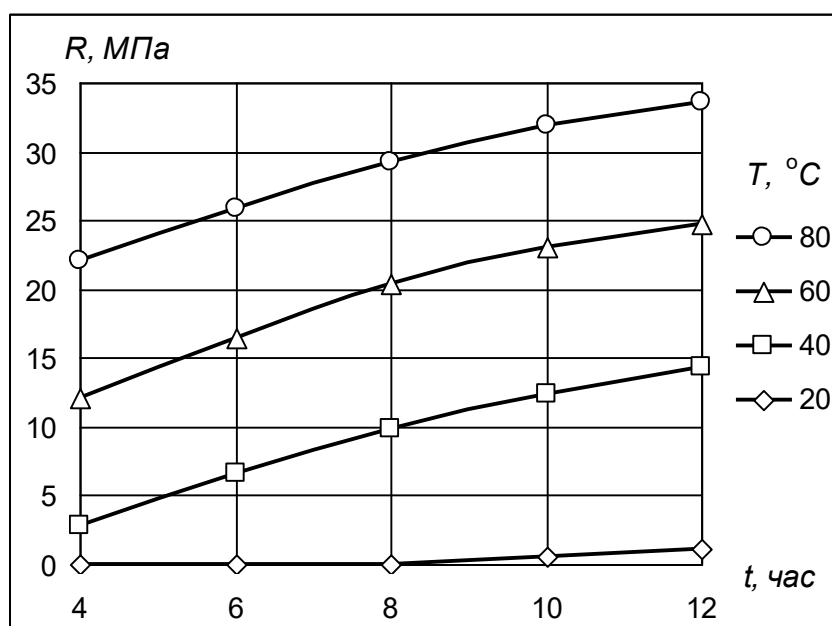


Рис.6.62. Графіки залежності міцності бетону  $R$  від тривалості тепловологісної обробки (ізотермічної витримки)  $t$  при різних температурах ізотермічної витримки, побудовані за даними табл. 6.30

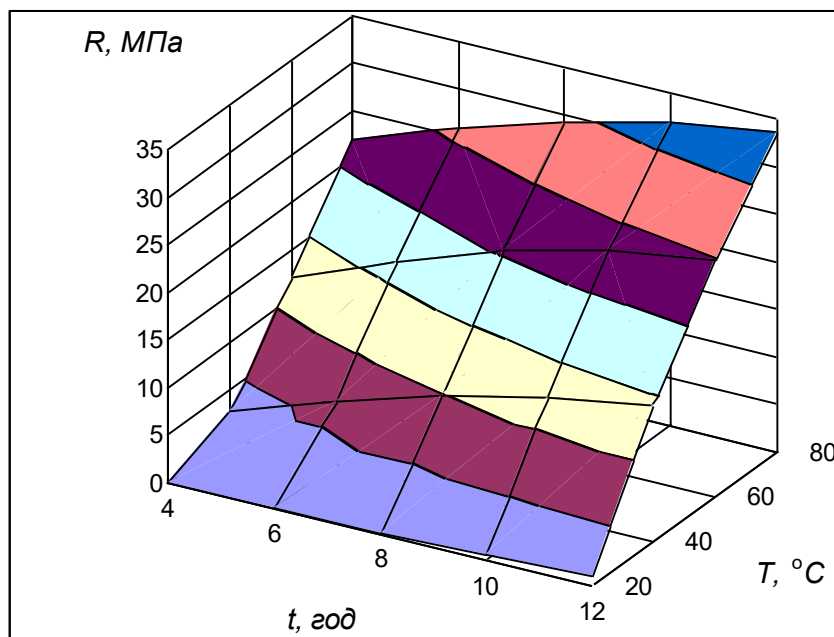


Рис. 6.63. Поверхня залежності міцності бетону  $R$  від тривалості тепловологісної обробки (ізотермічної витримки)  $t$  і температури ізотермічної витримки  $T$ , °С, побудована за даними табл. 6.30

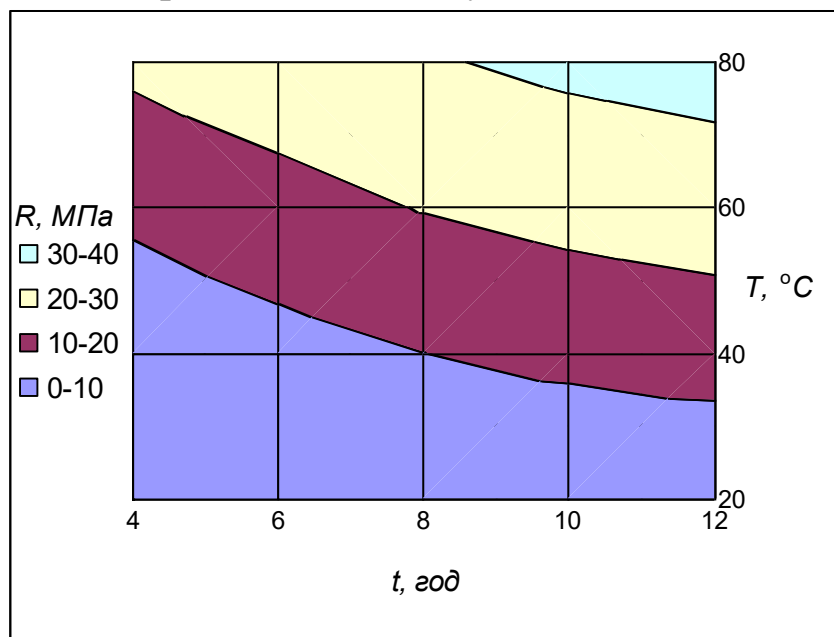


Рис. 6.64 Діаграма у вигляді проекції на прямокутну систему координат поверхні залежності міцності бетону  $R$  від тривалості тепловологісної обробки (ізотермічної витримки)  $t$  і температури ізотермічної витримки  $T$ , °С, побудована за даними табл. 6.30

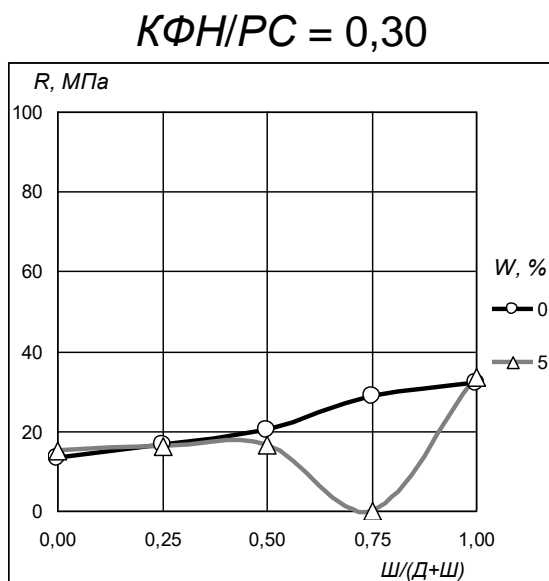
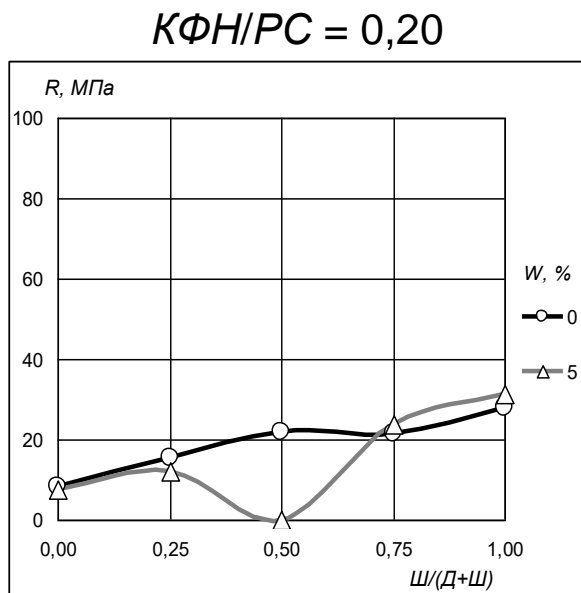
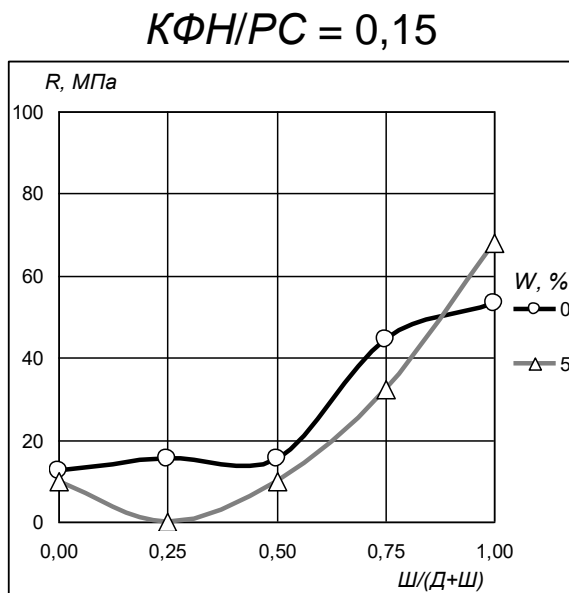
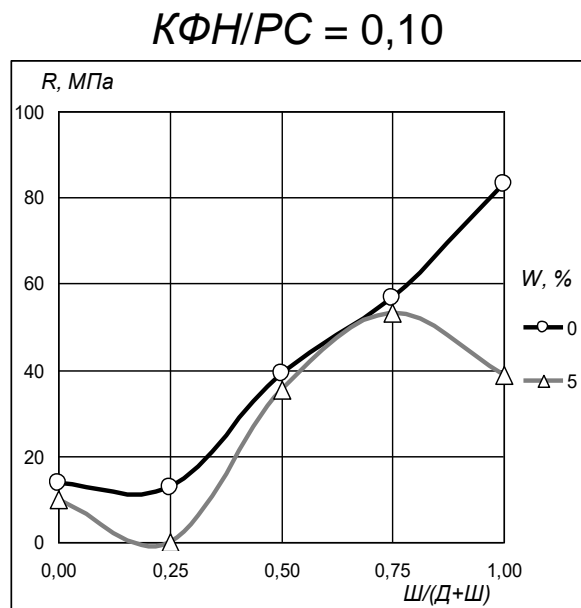
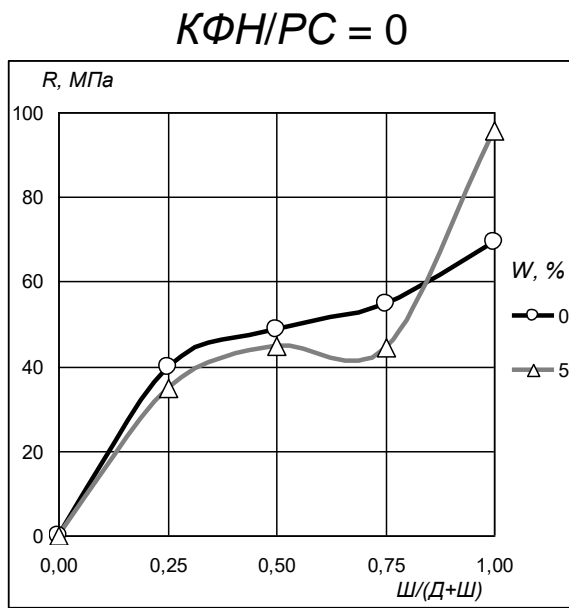


Рис. 6.65. Залежність міцності на стиск  $R$  штучного каменю із кислототривкого цементу (діабазового порошку, рідкого скла і отверджувача – кремнійфтористого натрію) від вмісту кремнійфтористого натрію  $K\Phi H/PC$ , вмісту мінеральної добавки шлаку  $\frac{\text{Ш}}{\text{Д}+\text{Ш}}$  і вологості зразка (0 – у сухому стані, 5 % – у водонасиченому стані)

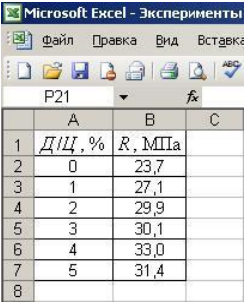
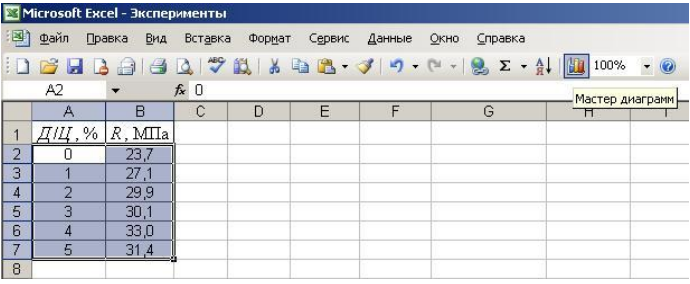
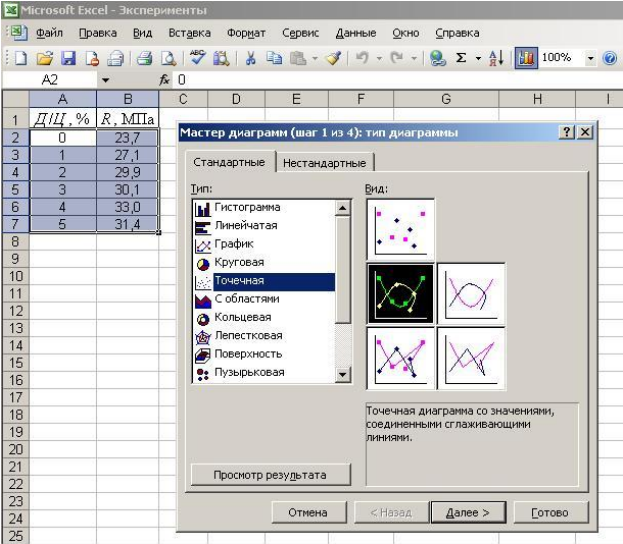
### 6.3.2.2. Побудова графіків залежностей за допомогою ПК.

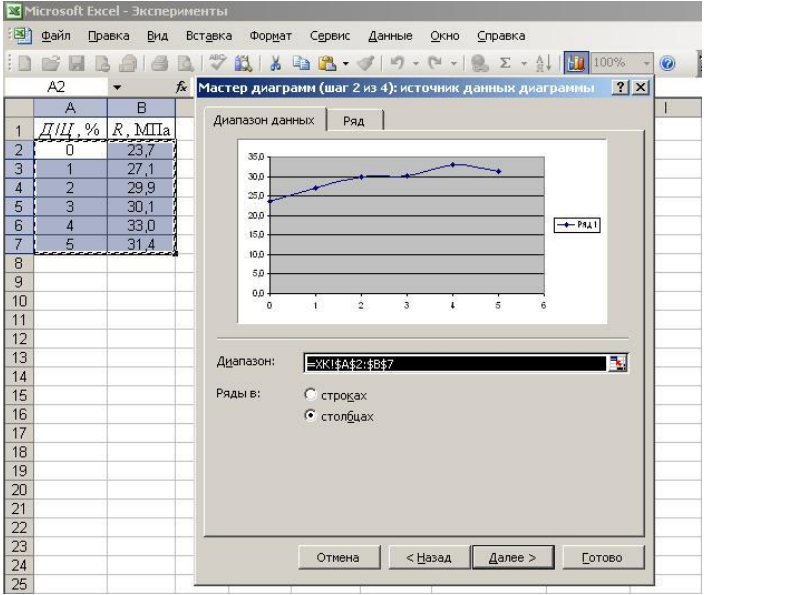
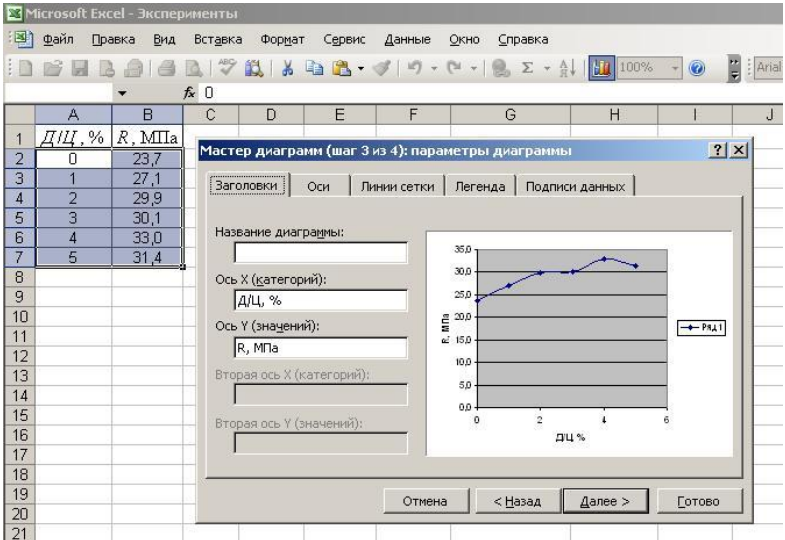
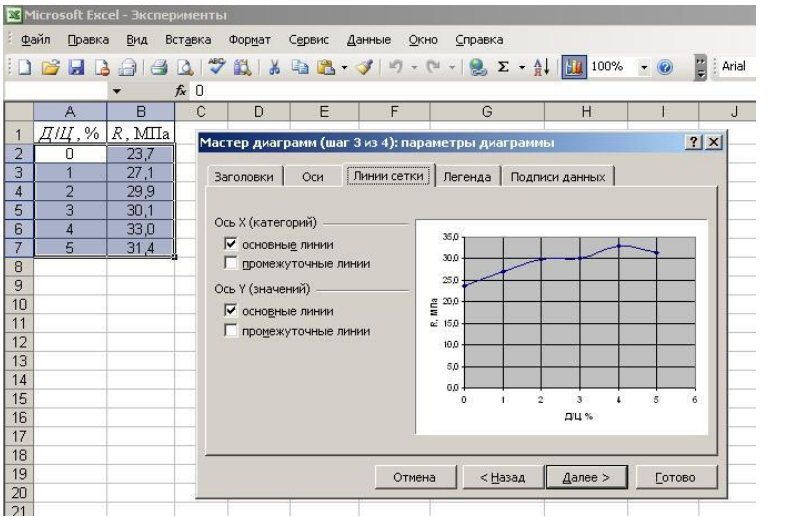
Для побудови графіків залежностей, у т. ч. просторових – «поверхонь», зручно застосовувати персональний комп'ютер ПК і програму «Майстер діаграм», вбудовану в програму електронних таблиць Microsoft Excel.

Порядок побудови графіка залежності вигляду  $y = f(x)$  на прикладі результатів експерименту табл. 6.29 наведений у табл. 6.34.

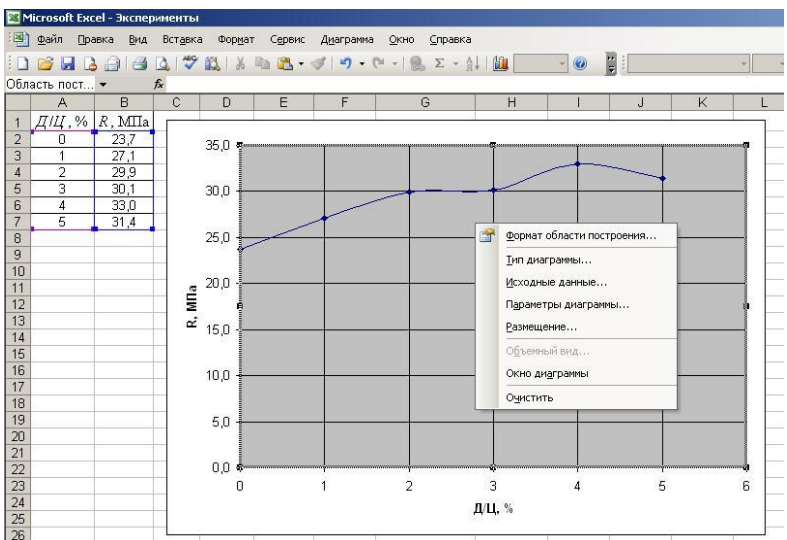
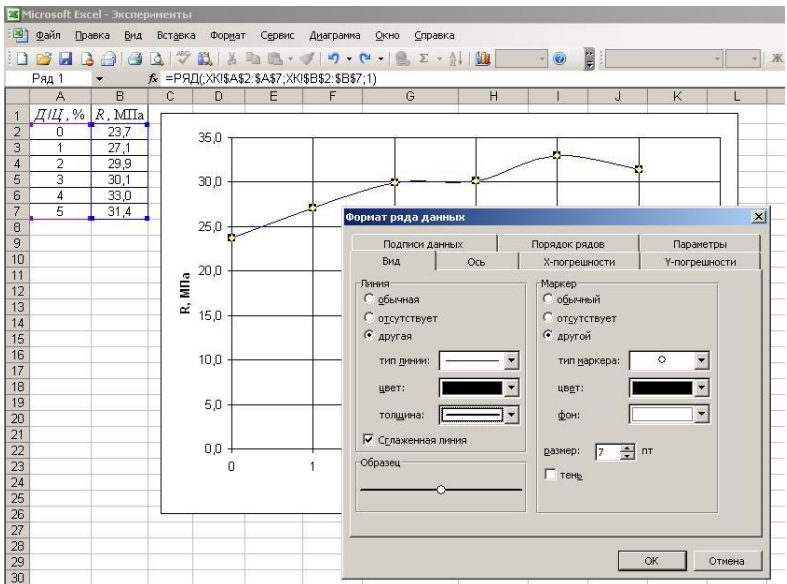
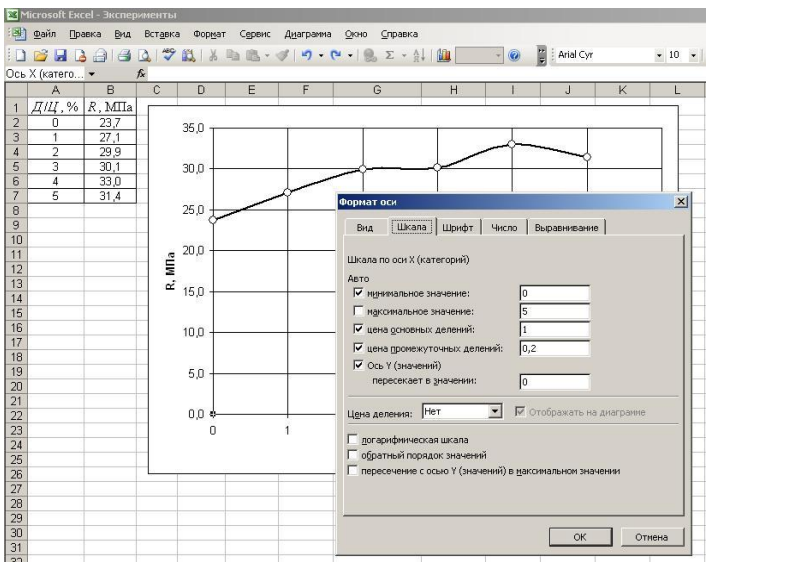
Таблиця 6.34

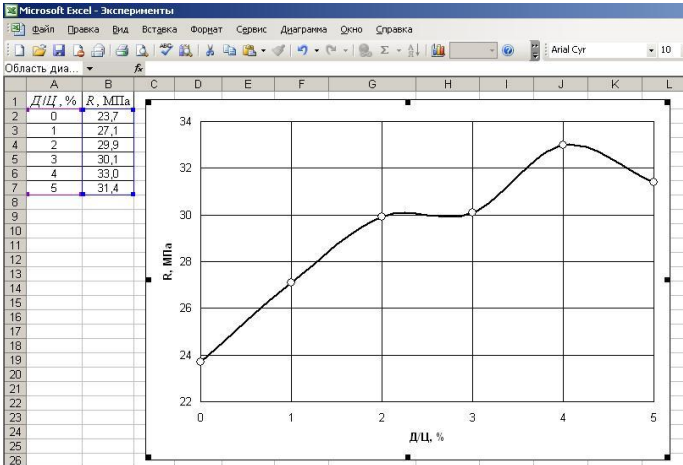
Порядок побудови графічної залежності вигляду  $y = f(x)$  за допомогою ПЕОМ і програми електронних таблиць Microsoft Excel

	Дії	Вигляд на моніторі ПЕОМ
1	2	3
1	Відкрити програму Microsoft Excel, створити новий файл і увести експериментальні дані в електронну таблицю у вигляді двох колонок. Наприклад, дані табл.6.29 потрібно увести у наведеному вигляді	
2	Виділити дві колонки даних і на панелі інструментів «Стандартна» натиснути (клацнути лівою кнопкою миші) значок «Майстер діаграм»	
3	У вікні «Майстер діаграм», що з'явилося, в закладці «Стандартні» вказати тип – «Точкова», вид – «Точкова діаграма зі значеннями, з'єднаними лініями, що згладжують», або інший потрібний тип і вид графічної залежності, і натиснути «Далі»	

1	2	3
4	<p>У вікні, що з'явилося, натиснути кнопку «Далі»</p>	
5	<p>У вікні, що з'явилося, у закладці «Заголовки» увести у віконця «Вісь X (категорій)» і «Вісь Y (значень)» відповідні назви осей</p>	
6	<p>У закладці «Лінії сітки» у рядку «Вісь X (категорій)» встановити галочку напроти надпису «основні лінії», у закладці «Легенда» зняти галочку з пункту «Додати легенду» і натиснути «Готово»</p>	



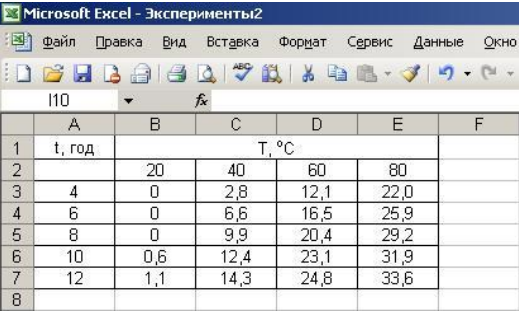
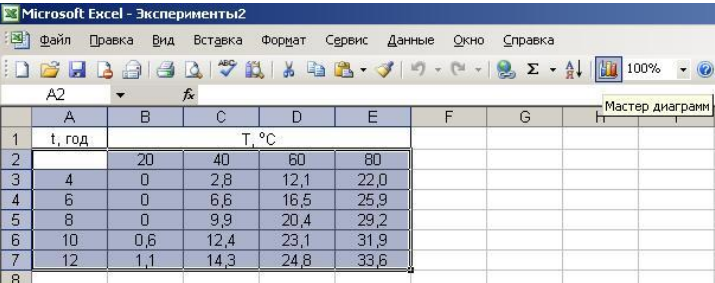
1	2	3
7	<p>На графіку, що з'явився, клацнути правою кнопкою миші по полю графіка і за допомогою пункту «Формат області побудови» меню, що випадає, налагодити вигляд поля графіка</p>	
8	<p>Подвійним клацанням лівою кнопкою миші по лінії графіка викликати вікно «Формат рядів даних» і налагодити вигляд кривої – колір і вигляд лінії, маркера (точки)</p>	
9	<p>Подвійним клацанням лівою кнопкою миші по осях викликати вікно «Формат осей» і налагодити вигляд кожної осі, шкалу (встановити мінімальне значення, максимальне значення, ціну поділки), число (кількість цифр після коми), послідовно заходячи у відповідні закладки вікна</p>	

1	2	3
10	<p>Графік готовий. Його можна виділити клацанням лівою кнопкою миші і за допомогою пункту меню «Файл» – «Попередній перегляд» – «Друк» роздрукувати на папері або скопіювати у буфер і вставити в текстовий файл (графік рис.6.55 побудований таким же чином за цими ж вихідними даними)</p>	

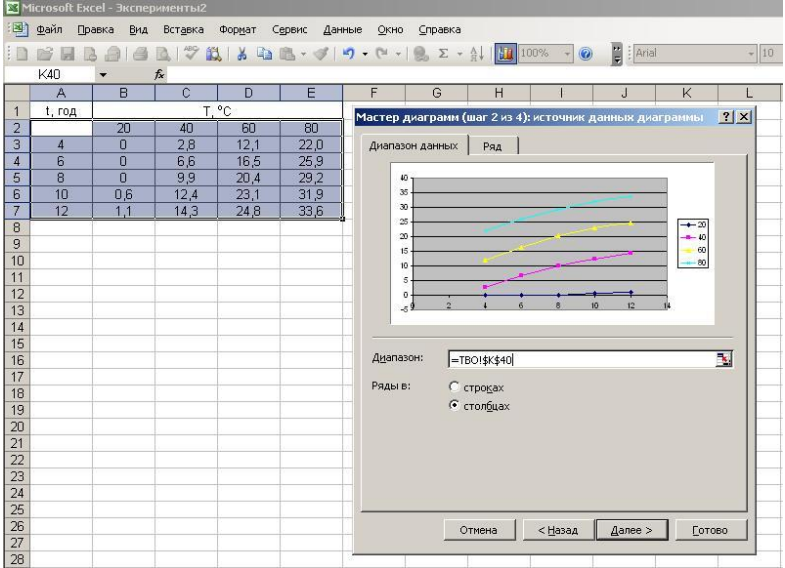
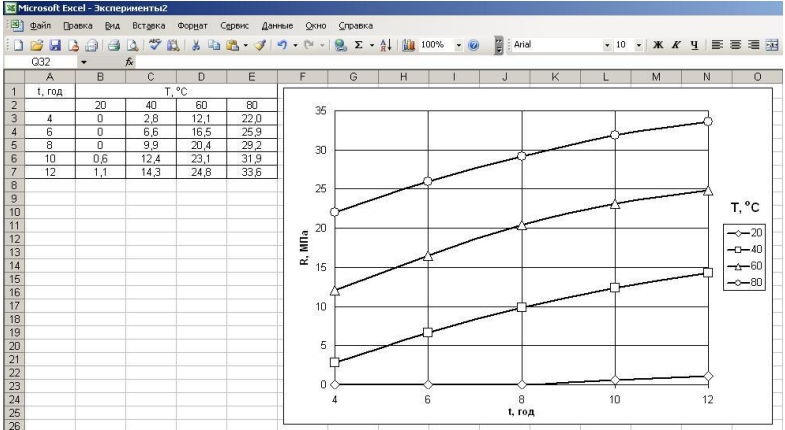
Порядок побудови графіка залежності від двох змінних вигляду  $y = f(x, z)$  у вигляді серії кривих (рис. 6.62), поверхні (рис. 6.63) або її проекції на систему координат (рис. 6.64) на прикладі результатів експерименту табл.6.30 наведений у табл. 6.35÷6.37.

Таблиця 6.35

Порядок побудови графічної залежності від двох змінних вигляду  $y = f(x_1, x_2)$  за допомогою ПЕОМ і програми електронних таблиць Microsoft Excel

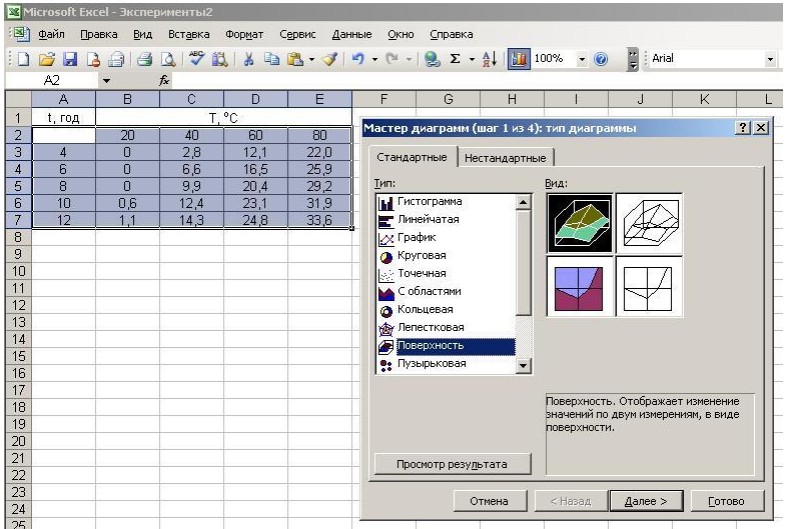
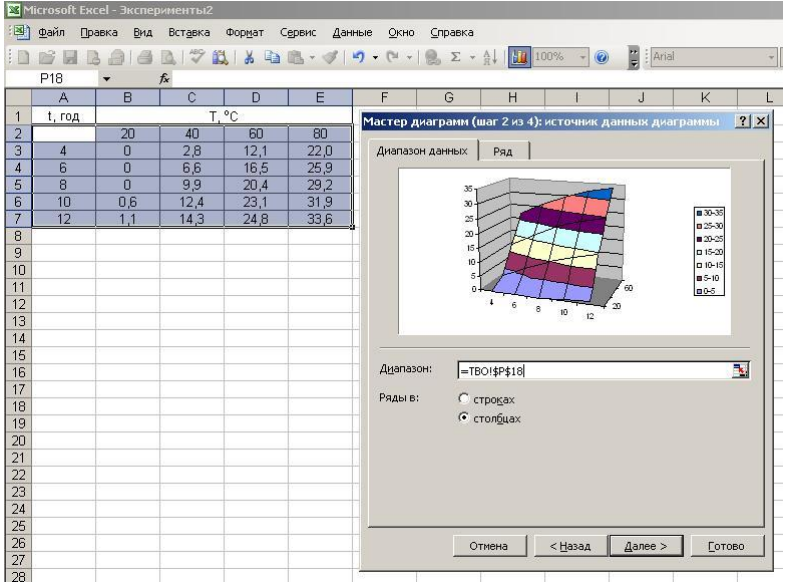
	Дії	Вигляд на моніторі ПЕОМ
1	2	3
1	<p>Відкрити програму Microsoft Excel, створити новий файл і увести експериментальні дані в електронну таблицю. Наприклад, дані табл. 6.30 потрібно увести у наведеному вигляді, причому клітинка 2А повинна залишитись незаповненою</p>	
2	<p>Виділити вихідні дані наведеним чином і на панелі інструментів «Стандартна» натиснути значок «Майстер діаграм»</p>	

Закінчення табл. 6.35

1	2	3
3	Обрати вид діаграми «Точкова діаграма зі значеннями, з'єднаними лініями, що згладжують» так, як вказано у п. 3 табл. 6.34	Як у п. 3 табл. 6.34
4	У вікні, що з'явилося, натиснути кнопку «Далі»	
5	Налагодити вигляд графічної залежності так, як вказано у пп. 5÷9 табл. 6.34	Як у пп.5÷9 табл.6.34
6	Графік готовий. Його можна роздрукувати на папері або вставити в текстовий файл так, як вказано у п. 10 табл. 6.34 (графік рис. 6.62 побудований таким же чином за цими ж вихідними даними)	

Таблиця 6.36

Порядок побудови графічної залежності від двох змінних  $y = f(x_1, x_2)$  у вигляді поверхні за допомогою ПК і електронних таблиць Microsoft Excel

№ п/п	Дії	Вигляд на моніторі ПЕОМ
1	2	3
1	Увести дані в електронну таблицю, виділити їх і викликати «Майстер діаграм» так, як вказано у п. 1,2 табл. 6.35	Як у п. 1,2 табл. 6.35
2	У вікні «Майстер діаграм», що з'явилося, в закладці «Стандартні» вказати тип – «Поверхня», вид – «Поверхня. Відбиває зміну значень за двома вимірами у вигляді поверхні», або інший потрібний вид графічної залежності, і натиснути кнопку «Далі»	
3	У вікні, що з'явилося, натиснути кнопку «Далі»	
4	Налагодити вигляд графічної залежності так, як вказано у пп. 5÷9 табл. 6.34	Як у пп.5÷9 табл.6.34

Закінчення табл.6.36

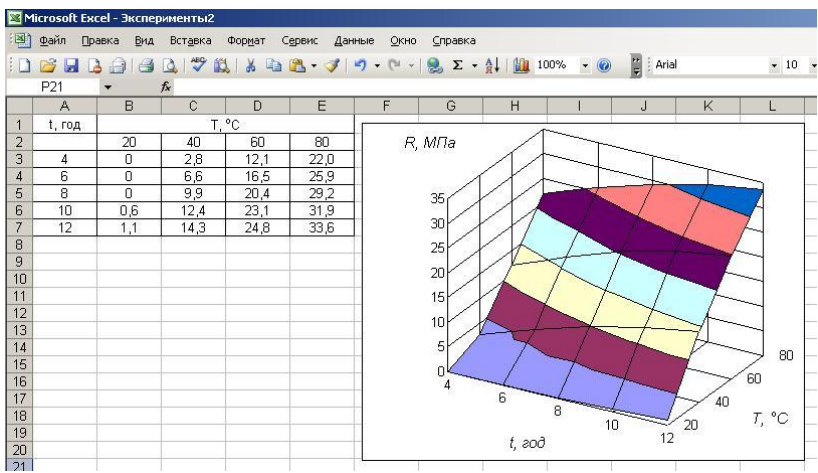
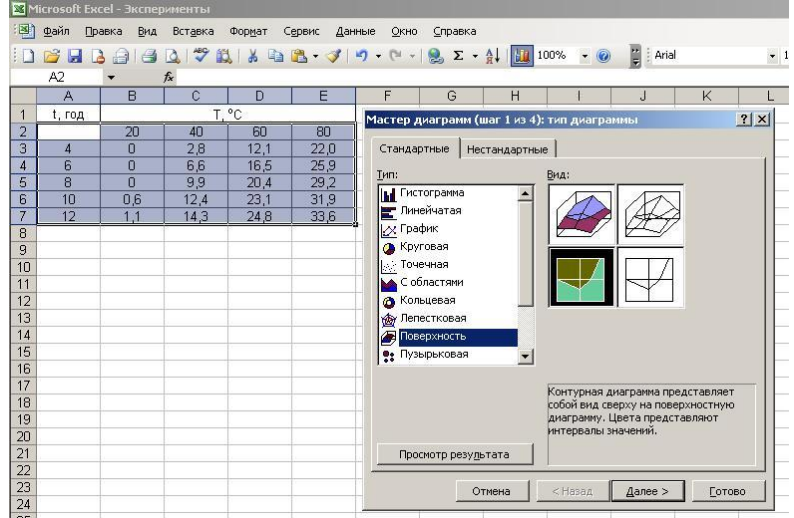
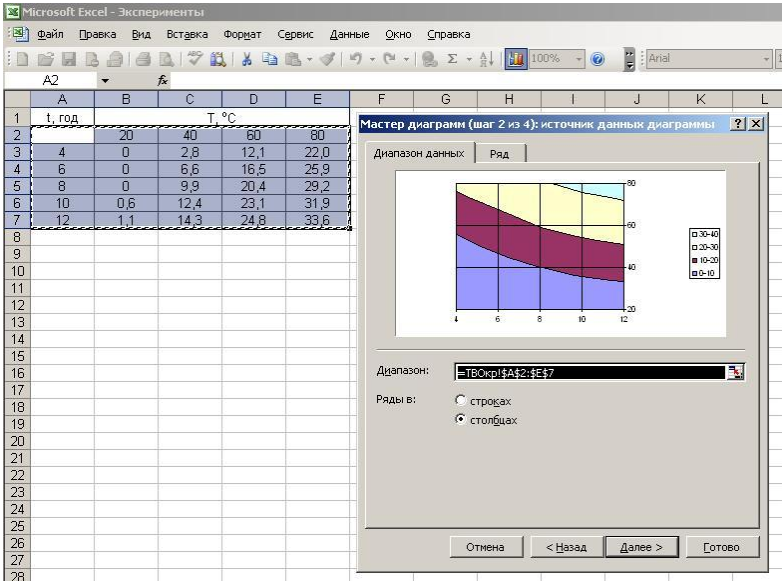
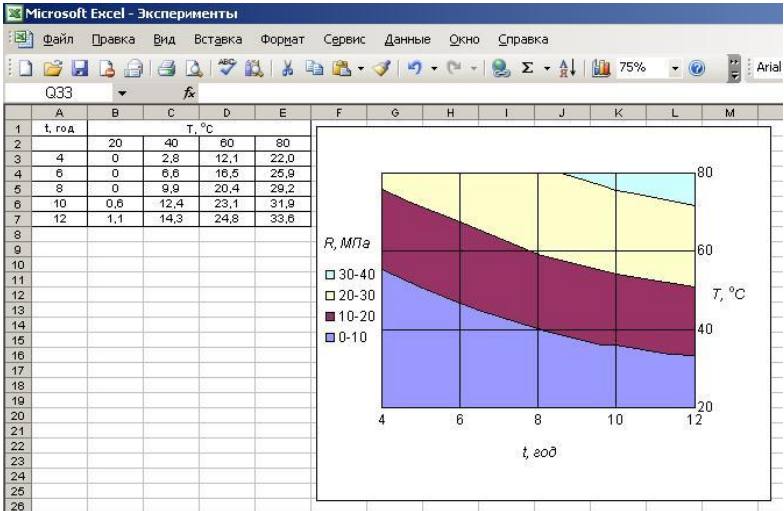
1	2	3
5	Графік готовий. Його можна роздрукувати на папері або вставити в текстовий файл так, як вказано у п. 10 табл. 6.34 (графік рис. 6.63 побудований таким же чином за цими ж вихідними даними)	

Таблица 6.37

Порядок побудови графічної залежності від двох змінних  $y = f(x_1, x_2)$  у вигляді проекції поверхні на систему координат за допомогою ПК і електронних таблиць Microsoft Excel

№ п/п	Дії	Вигляд на моніторі ПЕОМ
1	2	3
1	Увести дані в електронну таблицю, виділити їх і викликати «Майстер діаграм» так, як вказано у п.1,2 табл.6.35	Як у п.1,2 табл.6.35
2	У вікні «Майстер діаграм», що з'явилося, в закладці «Стандартні» вказати тип – «Поверхня», вид – «Контурна діаграма являє собою вид зверху на поверхневу діаграму. Кольори являють інтервали значень», або інший потрібний вид графічної залежності, і натиснути кнопку «Далі»	



1	2	3
3	У вікні, що з'явилося, натиснути кнопку «Далі»	
4	Налагодити вигляд графічної залежності так, як вказано у пп. 5÷9 табл. 6.34	Як у пп.5÷9 табл.6.34
5	Графік готовий. Його можна роздрукувати на папері або вставити в текстовий файл так, як вказано у п.10 табл. 6.34 (графік рис. 6.64 побудований таким же чином за цими ж вихідними даними)	

### 6.3.3. Підбір емпіричних формул

Результати експериментів, подані у вигляді таблиць і графіків, неможливо безпосередньо аналізувати математичними методами, наприклад, для оптимізації складу бетону з метою одержання максимальної міцності – визначення такого складу (вмісту компонента), який забезпечить максимальну міцність. Неможливо також таблиці і графіки застосовувати в сучасних

комп'ютерних технологіях. Наприклад, при призначенні вмісту добавки в залежності від потрібної міцності бетону за допомогою комп'ютерної програми остання повинна виконати розрахунок за формулою вигляду  $D/C = f(R)$ . Отже, в результаті експериментальних досліджень часто виникає необхідність за даними таблиці або графіка одержати емпіричну формулу – математичну модель у вигляді функції.

Математичні моделі застосовують для розв'язання таких техніко-економічних завдань:

- оцінювальних – кількісної оцінки впливу  $x$  на  $y$ ;
- інтерполяційних – визначення  $y$  всередині дослідженої області  $x$ ;
- екстраполяційних – визначення  $y$  за межами дослідженої області  $x$ ;
- оптимізаційних: максимізація або мінімізація  $y$  – визначення  $x$ , які забезпечать максимальне або мінімальне значення  $y$ ;
- управлінських: мінімізація  $x$  при фіксованому  $y$  – визначення мінімальних  $x_i$ , які забезпечать певне  $y$ ; управління  $y$  в певних границях значень – визначення границь значень  $x$ , які забезпечать  $y$  у визначених границях.

Математичні моделі одержують шляхом кореляційного і регресійного аналізу експериментальних даних.

*Кореляційний аналіз* – встановлення наявності залежності між факторами і результатом з виявленням можливості побудови її математичної моделі у вигляді функції.

*Регресійний аналіз* – знаходження функції, яка найбільш достовірно відбиває фактичну залежність. Ця функція є *рівнянням регресії* (назва відноситься до полінома). Рівняння регресії знаходять шляхом апроксимації.

*Апроксимація* – математична процедура знаходження рівняння регресії, зокрема, його коефіцієнтів.

### **6.3.3.1. Визначення можливості підбору емпіричної формули.**

Визначення можливості підбору емпіричної формули здійснюють шляхом кореляційного аналізу. Для кореляційного аналізу результатів однофакторного експерименту



експериментальні точки  $(x_1, y_1) \dots (x_i, y_i) \dots (x_n, y_n)$  наносять на прямокутну систему координат (рис.6.66).

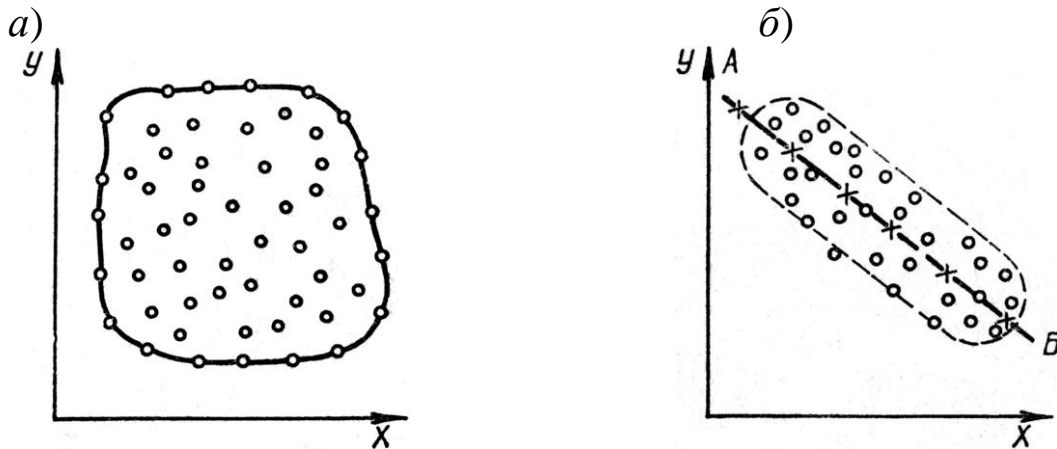


Рис. 6.66. Графічне зображення експериментальних даних з виявлення залежності  $y$  від  $x$ : а – відсутність кореляції (залежності немає); б – наявна кореляція, залежність може бути виражена математично

За розташуванням експериментальних точок роблять попередній висновок про наявність *кореляції* – залежності, зв'язку між  $y$  та  $x$ . Якщо точки розташовані так, як вказано на рис. 6.66, а, кореляція відсутня, як на рис. 6.66, б – кореляція наявна і залежність може бути виражена математично. За розташуванням експериментальних точок визначають можливий вид функції. Це може бути лінійна (рис. 6.66, б), параболічна (рис. 6.67, а, б), ступенева (рис. 6.67, в÷д), експоненційна (рис.6.68, а), логарифмічна (рис.6.68, б), тригонометрична функція.

Більш точно про наявність і тісноту кореляції судять шляхом визначення і оцінки коефіцієнта кореляції (п. 6.3.3.5).

До 80 % залежностей може бути подано лінійними рівняннями вигляду

$$y = a_0 + a_1x, \quad (6.42)$$

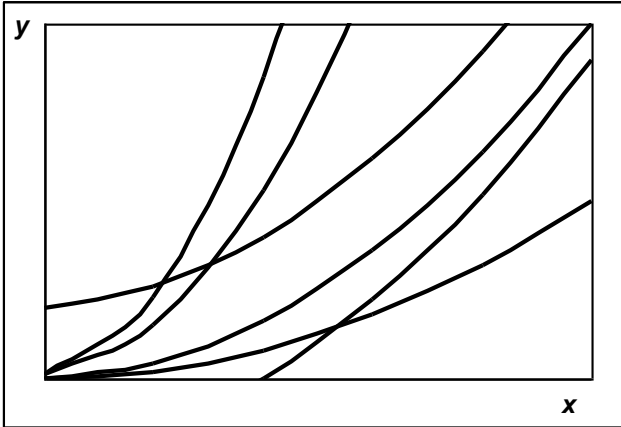
а практично до 100 % – квадратним рівнянням (рівнянням параболи або поліномом 2-го ступеня)

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2, \quad (6.43)$$

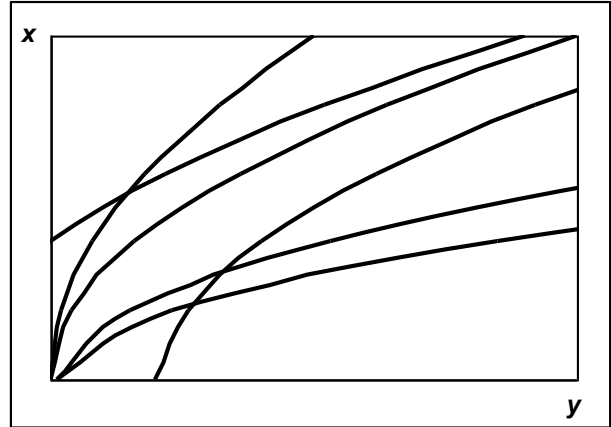
або поліномами більших ступенів

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (6.44)$$

а)

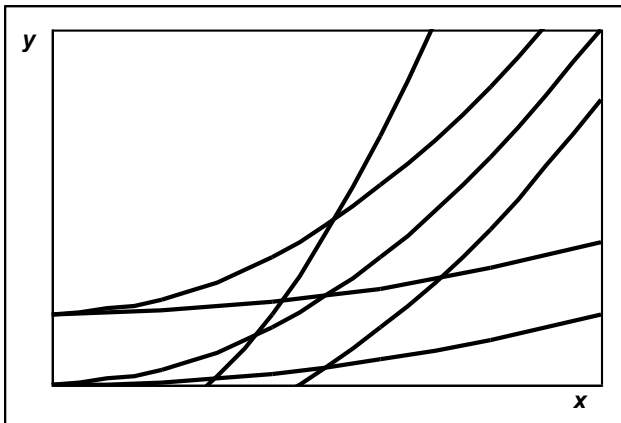


б)



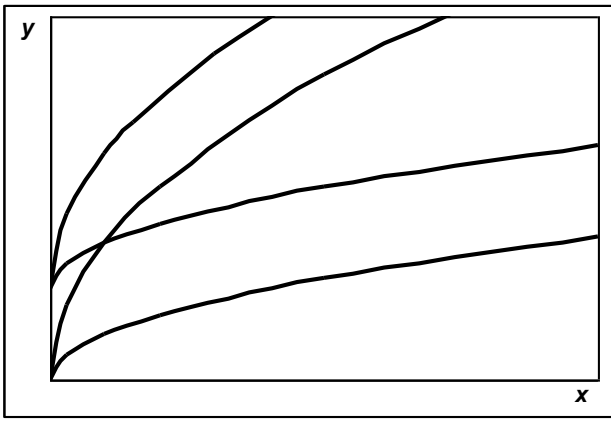
$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

в)



$$y = ax^n + b \text{ (при } n > 1\text{)}$$

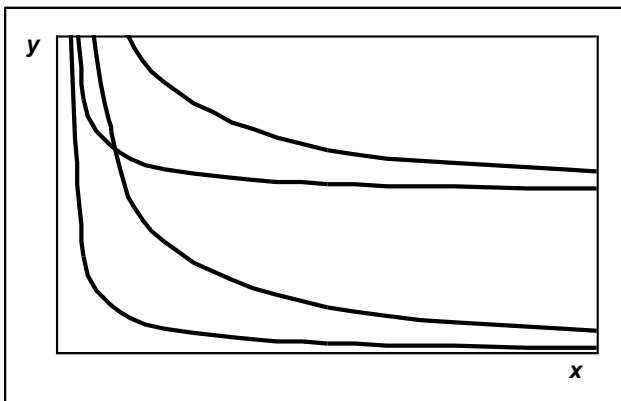
г)



$$y = ax^n + b \text{ (при } 0 < n < 1\text{)}$$

або  $y = a^n\sqrt{x} + b$

д)



$$y = ax^n + b \text{ (при } n < 0\text{)} \text{ або } y = a/x^n + b$$

Рис. 6.67. Зовнішній вигляд графіків залежностей та їх формули: а, б – параболічної; в÷д – ступеневої

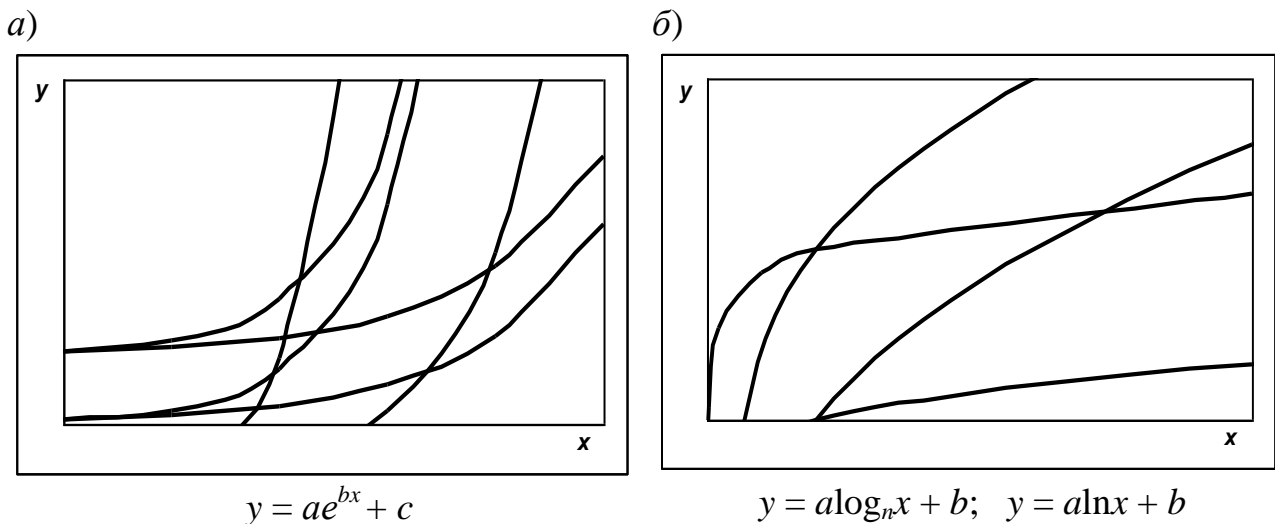


Рис. 6.68. Зовнішній вигляд графіків залежностей та їх формули:  
*a* – експоненційної; *б* – логарифмічної

Регресійний аналіз полягає у виборі виду рівняння – (6.42), (6.43), (6.44) або іншого і визначенні його коефіцієнтів  $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$ . Після (або в процесі) одержання математичної моделі (рівняння) обов’язково перевіряється її адекватність – ступінь відповідності експериментальним даним (п. 6.3.3.5).

**6.3.3.2 Підбір емпіричних формул лінійної і параболічної залежностей за графіком.** Найпростішим способом приблизно емпіричну формулу лінійної залежності або параболічної знаходять за її графіком. Для цього на прямокутну систему координат наносять експериментальні точки і проводять пряму таким чином, щоб всі точки максимально наближувались до неї.

Для лінійної залежності на побудованій прямій визначають координати двох довільних точок  $(x_1; y_1)$  і  $(x_2; y_2)$ . Коефіцієнти рівняння прямої (6.42) знаходять за формулами

$$a_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad (6.45)$$

$$a_0 = y_1 - a_1 x_1. \quad (6.46)$$

Для параболи на побудованій кривій визначають координати трьох довільних точок  $(x_1; y_1)$ ,  $(x_2; y_2)$  і  $(x_3; y_3)$ . Коефіцієнти квадратного рівняння (6.43) знаходять за формулами

$$a_2 = \frac{y_3 - \frac{x_3(y_2 - y_1) + x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1}}{x_3(x_3 - x_2 - x_1) + x_1 x_2}; \quad (6.47)$$

$$a_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - a_2(x_1 + x_2); \quad (6.48)$$

$$a_0 = \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1} + a_2 x_1 x_2. \quad (6.49)$$

Розглянемо приклад знаходження лінійного рівняння. Одержано експериментальні дані залежності активності цементу  $R$  від вмісту мінеральної добавки  $D/C$  (табл. 6.38). Наносимо експериментальні точки на прямокутну систему координат: по осі абсцис –  $x$  ( $D/C$ , %), по осі ординат –  $y$  ( $R$ , МПа, рис. 6.69). На одержаній прямій визначаємо дві довільні точки з координатами  $(0;40)$ ;  $(50;15)$ . Підставляємо ці координати у рівняння 6.45 і 6.46:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{15 - 40}{50 - 0} = \frac{25}{50} = 0,5, \\ a_0 &= 40 - 0,5 \cdot 0 = 40. \end{aligned}$$

Рівняння 6.42 для цієї залежності набуде вигляду

$$y = -0,5x + 40.$$

Таблиця 6.38

Експериментальні дані про залежність активності цементу  $R$  від вмісту мінеральної добавки  $D/C$

$x$ ( $D/C$ , %)	$y$ ( $R$ , МПа)
0	40
10	37
20	30
30	25
40	18
50	15

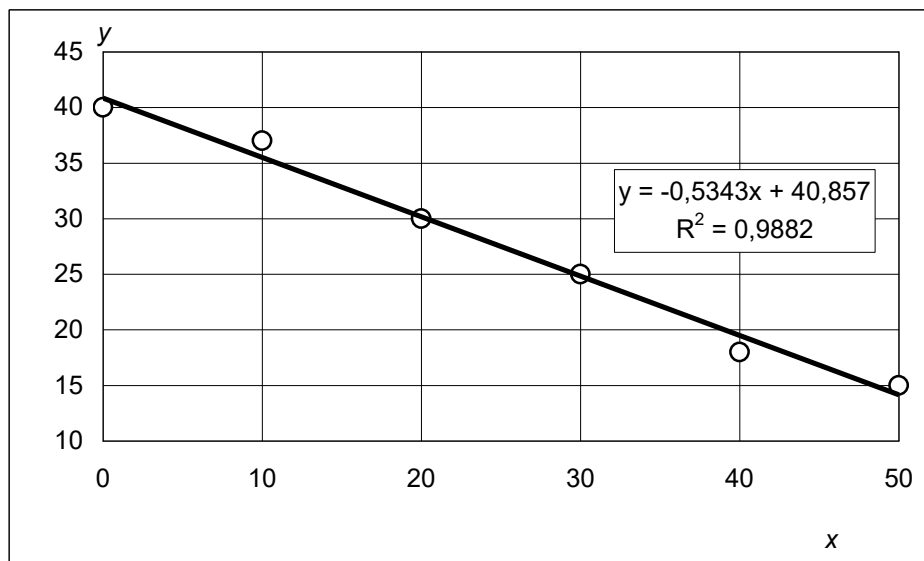


Рис.6.69. Лінійна залежність  $y$  від  $x$  за даними табл. 6.37

**6.3.3.3 Підбір емпіричних формул лінійної і параболічної залежностей методом найменших квадратів (регресійний аналіз).** Більш точно, ніж у п. 6.3.3.2, визначають коефіцієнти рівняння 6.42 методом найменших квадратів (МНК). Метод полягає в тому, що  $a_0$  і  $a_1$  повинні бути підбрані таким чином, щоб вони забезпечували мінімум суми квадратів відхилень значень дослідних даних  $y_i$  від відповідних значень, розрахованих за рівнянням  $y = f(x) - f(x_i)$ :

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \rightarrow \min, \quad (6.50)$$

де  $y_i$  – експериментальне значення виходу;

$f(x_i)$  – розрахункове значення виходу;

$i$  – порядковий номер досліду (експериментальної точки);

$n$  – кількість дослідів (експериментальних точок).

Коефіцієнти лінійного рівняння знаходять за формулами

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}; \quad (6.51)$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (6.52)$$

Коефіцієнти квадратного рівняння (6.43) можуть бути розраховані при розв'язанні системи рівнянь

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n y_i &= a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2; \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i &= a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3; \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i &= a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4. \end{aligned} \quad (6.53)$$

Знайдемо за 6.51 і 6.52 коефіцієнти  $a_0$  і  $a_1$  рівняння 6.42 для експериментальних даних залежності активності цементу  $R$  від вмісту мінеральної добавки  $D/C$  (табл. 6.10):

$$a_1 = \frac{6 \cdot (0 \cdot 40 + 10 \cdot 37 + 20 \cdot 30 + 30 \cdot 25 + 40 \cdot 18 + 50 \cdot 15) - (0 + 10 + 20 + 30 + 40 + 50) \cdot (40 + 37 + 30 + 25 + 18 + 15)}{6 \cdot (0^2 + 10^2 + 20^2 + 30^2 + 40^2 + 50^2) - (0 + 10 + 20 + 30 + 40 + 50)^2},$$

$$a_1 = -0,534;$$

$$a_0 = \frac{(40 + 37 + 30 + 25 + 18 + 15) - (-0,534) \cdot (0 + 10 + 20 + 30 + 40 + 50)}{6},$$

$$a_0 = 40,85.$$

Рівняння 6.42 для цих експериментальних даних набуде вигляду:

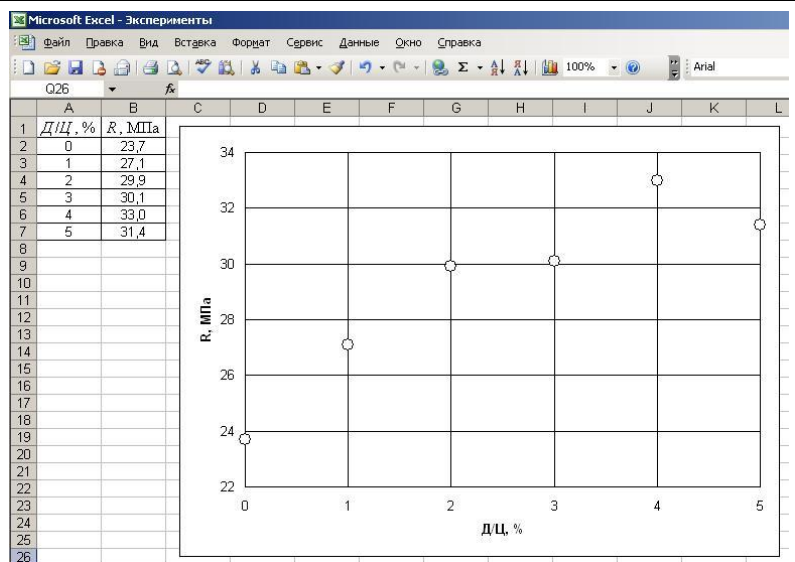
$$y = -0,534x + 40,85.$$

**6.3.3.4. Підбір емпіричних формул за допомогою ПК.** Рівняння лінійної, логарифмічної, поліноміальної, ступеневої, експоненціальної залежності за експериментальними даними можна одержати за допомогою ПК і програми «Майстер діаграм», вбудованої в програму електронних таблиць Microsoft Excel. Для цього потрібно, щоб при інсталяції пакета програм Microsoft Office, зокрема програми Microsoft Excel, була встановлена надбудова «Пакет аналізу».

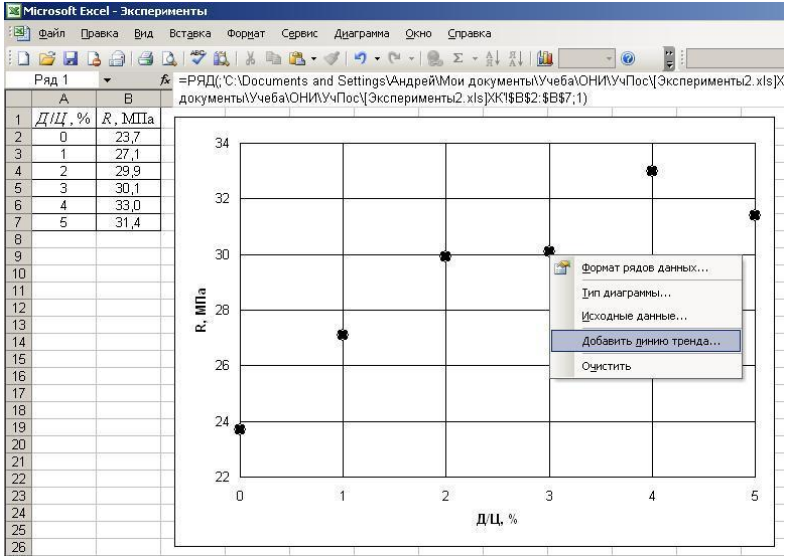
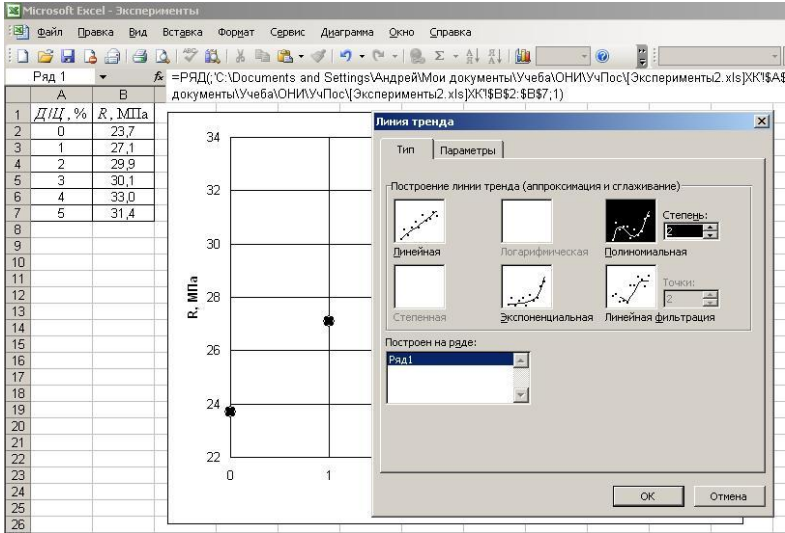
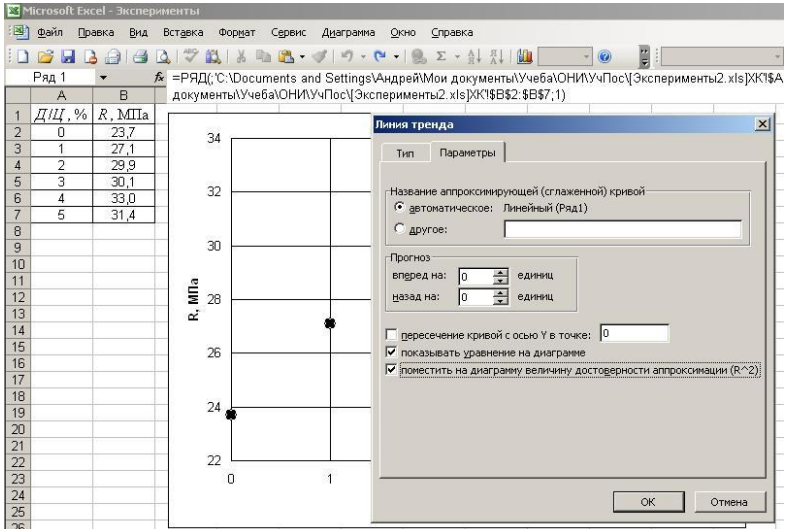
Порядок підбору емпіричної формули, зокрема, параболічної залежності (полінома 2-го ступеня), на прикладі вихідних даних табл. 6.29 наведений у табл. 6.39.

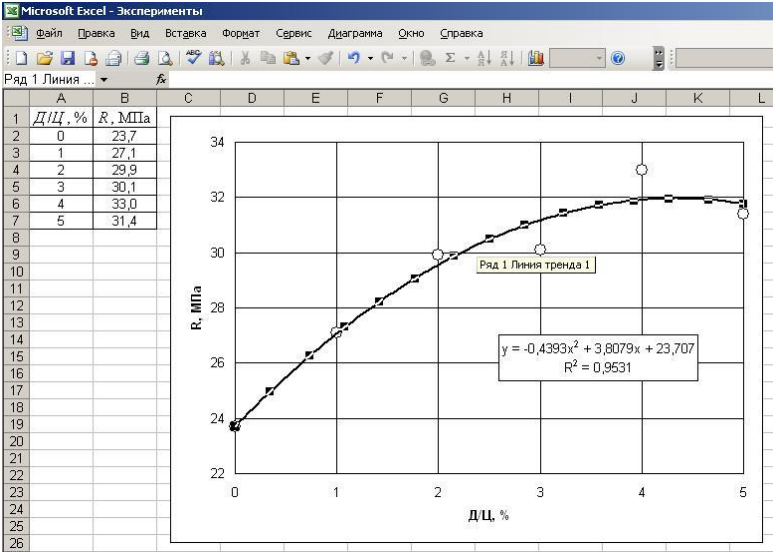
Таблиця 6.39

Порядок підбору емпіричної формули за допомогою ПК і програми електронних таблиць Microsoft Excel

	Дії	Вигляд на моніторі ПЕОМ														
1	2	3														
1	За допомогою «Майстра діаграм» побудувати графік залежності експериментальних значень у від х у порядку, наведеному в табл. 6.34	 <p>The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a scatter plot. The x-axis is labeled 'ДЦ, %' and ranges from 0 to 5. The y-axis is labeled 'R, МПа' and ranges from 22 to 34. There are six data points plotted as open circles. The data points correspond to the following table:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ДЦ, %</th> <th>R, МПа</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>23,7</td></tr> <tr><td>1</td><td>27,1</td></tr> <tr><td>2</td><td>29,9</td></tr> <tr><td>3</td><td>30,1</td></tr> <tr><td>4</td><td>33,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>31,4</td></tr> </tbody> </table>	ДЦ, %	R, МПа	0	23,7	1	27,1	2	29,9	3	30,1	4	33,0	5	31,4
ДЦ, %	R, МПа															
0	23,7															
1	27,1															
2	29,9															
3	30,1															
4	33,0															
5	31,4															



1	2	3
2	<p>Клацнути правою кнопкою миші по будь-якій точці графіка та у меню, що з'яви-лось, натиснути «додати лінію тренда»</p>	
3	<p>У вікні, що з'явилося, у закладці «Тип», віконці «Побудова лінії тренда (апроксимація і згладжування)» обрати із «лінійна», «логарифмічна», «поліноміальна», «ступенева», «експоненційна». Для «поліноміальної» вказати «Ступінь» (від 2 до 6)</p>	
4	<p>Натиснути закладку «параметри», де встановити галочки на «вказувати рівняння на діаграмі» і «помістити на діаграму величину достовірності апроксимації (<math>R^2</math>)»</p>	

1	2	3																								
5	<p>На графіку з'являються рівняння регресії, величина достовірності апроксимації <math>R^2</math> і крива, що відповідає рівнянню регресії (крива на рис. 6.4 одержана таким же чином за цими ж вихідними даними)</p>	 <table border="1" data-bbox="609 376 766 526"> <thead> <tr> <th>Ряд</th> <th>А</th> <th>В</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Д.Ц., %</td> <td>R, МПа</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>23,7</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>27,1</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2</td> <td>29,9</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>3</td> <td>30,1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>4</td> <td>33,0</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>5</td> <td>31,4</td> </tr> </tbody> </table>	Ряд	А	В	1	Д.Ц., %	R, МПа	2	0	23,7	3	1	27,1	4	2	29,9	5	3	30,1	6	4	33,0	7	5	31,4
Ряд	А	В																								
1	Д.Ц., %	R, МПа																								
2	0	23,7																								
3	1	27,1																								
4	2	29,9																								
5	3	30,1																								
6	4	33,0																								
7	5	31,4																								
6	<p>Послідовно одержуючи рівняння регресії, величину <math>R^2</math> і криву для типів «лінійна», «логарифмічна», «поліноміальна» різних ступенів, «ступенева», «експоненційна», як остаточне рівняння регресії обрати те, для котрого <math>R^2</math> має значення більше, ніж 0,72 і найбільш близьке до 1</p>																									

Аналогічним чином одержано рівняння лінійної залежності за даними табл. 6.37 – на рис. 6.70 наведено графік, величину достовірності апроксимації  $R^2 = 0,9882$  і рівняння

$$y = -0,5343x + 40,857.$$

**6.3.3.5. Перевірка адекватності моделей.** Взаємозв'язок, або кореляція між фактором  $x$  і результатом  $y$  оцінюється кількісно коефіцієнтом кореляції. Для лінійної залежності коефіцієнт кореляції між  $y$  і  $x$  дорівнює, за [1],

$$R_{yx} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \cdot \left[ n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}. \quad (6.54)$$

В загальному випадку квадрат коефіцієнту кореляції між  $y$  і  $x$  (коефіцієнт детермінації), відповідний певній моделі  $y = f(x)$ , дорівнює, за [5],

$$R^2 \equiv 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (6.55)$$

де  $y_i$  – експериментальне значення  $y$ ;

$f(x_i)$  – значення  $y$ , визначене для  $x_i$  за рівнянням  $y = f(x)$ ;

$\bar{y}$  – середнє арифметичне експериментальних значень  $x$ .

Для лінійних, логарифмічних, поліноміальних, ступеневих, експоненційних залежностей коефіцієнт кореляції може бути визначений за допомогою ПК і програми «Майстер діаграм» електронних таблиць Microsoft Excel (п.п. 6.3.3.4, табл. 6.39). Визначена таким чином «величина достовірності апроксимації  $R^2$ » є квадратом коефіцієнта кореляції.

Коефіцієнт кореляції кількісно характеризує тісноту зв'язку між фактором  $x$  і результатом  $y$  (табл. 6.40).

Коефіцієнт кореляції є одночасно й показником адекватності одержаного рівняння (математичної моделі) експериментальним даним – «достовірності апроксимації». Коефіцієнт кореляції  $R$ , рівний 0, характеризує відсутність залежності  $y$  від  $x$  (рис. 6.66, а), а рівний 1 характеризує

функціональну залежність  $y$  від  $x$ , відповідну підбраному рівнянню. Вважають, що практичне значення мають моделі, які характеризуються  $R^2 \geq 0,5$  і  $R \geq 0,7$  [5].

Таблиця 6.40

Характеристики кореляції між фактором  $x$  і результатом  $y$   
(шкала Чеддока) [5]

Кількісна міра зв'язку $R^2$	Коефіцієнт кореляції $R$	Якісна характеристика зв'язку
0	0	залежність відсутня
0,1÷0,3	0,316÷0,548	слабка кореляція
0,3÷0,5	0,548÷0,707	помірна кореляція
0,5÷0,7	0,707÷0,837	помітна кореляція
0,7÷0,9	0,837÷0,949	висока кореляція
0,9÷0,99	0,949÷0,995	дуже висока кореляція
1	1	функціональна залежність

Більш точно адекватність одержаної теоретичної моделі експериментальним даним виконують за допомогою критерію Фішера. Модель вважають адекватною, якщо виконується умова

$$\frac{\sigma_{ad}^2}{\sigma_{\epsilon}^2} < K_{\phi}, \quad (6.56)$$

де  $\sigma_{ad}^2$  – дисперсія адекватності:

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (f(x_i) - y_i)^2}{n - d}, \quad (6.57)$$

де  $d$  – кількість параметрів рівняння  $y = f(x)$ , у т. ч. вільний член;  
 $\sigma_{\epsilon}^2$  – дисперсія відтворюваності – середнє арифметичне дисперсій визначення всіх експериментальних точок:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2. \quad (6.58)$$

**6.3.3.6. Підбір емпіричних формул багатofакторних моделей.** Залежності, одержані в результаті двофакторного експерименту, звичайно описують поліномами другого порядку вигляду

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2, \quad (6.59)$$

а залежності, одержані в результаті багатofакторного експерименту – поліномами більших порядків

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i < j} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n a_{ii} x_i^2 + \dots \quad (6.60)$$

Графіки поліномів другого порядку мають вигляд поверхні над факторною площиною або її проєкції на ній (рис. 6.70). Поліноми більших порядків не можуть бути представлені одним графіком – лише у вигляді серії графіків двофакторних залежностей при фіксованих значеннях інших факторів, як вказано у п. 6.3.2.

При двофакторних і багатofакторних експериментах для розв’язання завдання дослідження з потрібною точністю і одночасно з мінімальною достатньою кількістю факторів і дослідів застосовують *математичне планування експерименту*. Регресійний аналіз проводять за допомогою ПК і спеціального програмного забезпечення. В даному посібнику методика математичного планування експерименту і регресійного аналізу двофакторних і багатofакторних залежностей не наводиться. При необхідності його проведення рекомендується звернутись до спеціальної літератури [25; 26].

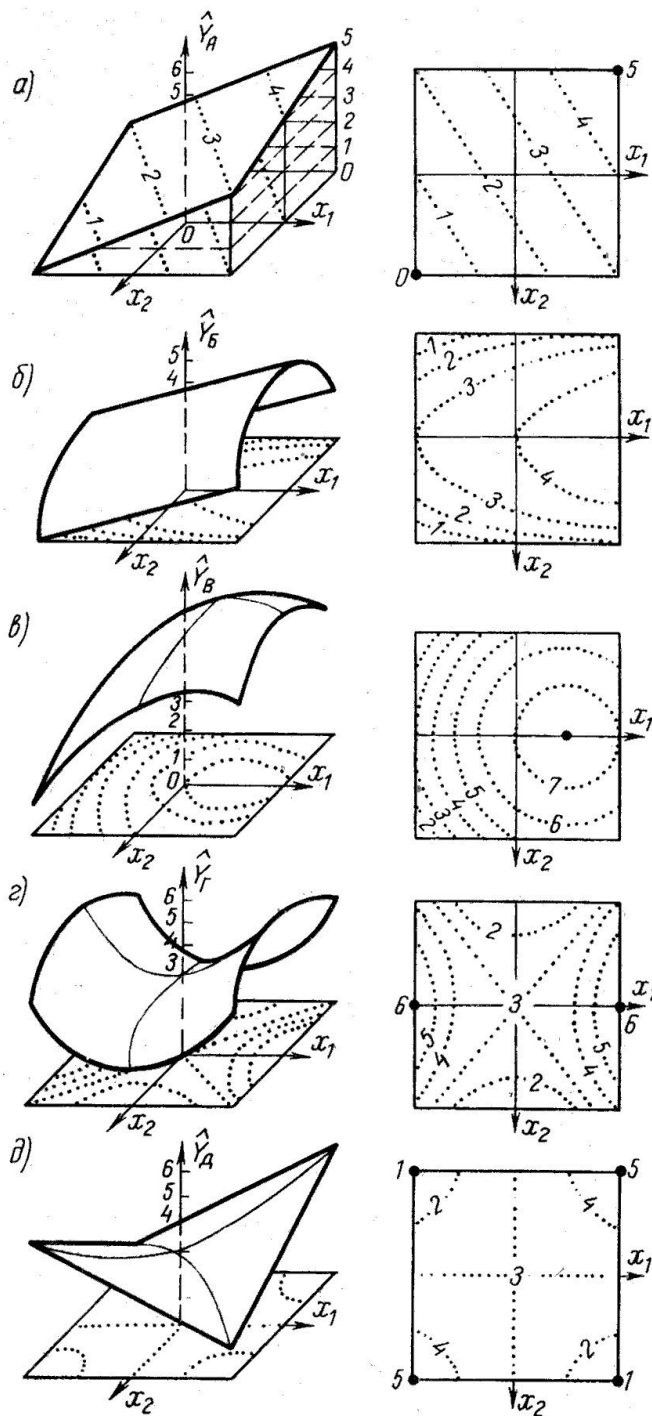


Рис. 6.70. Поверхні другого порядку (6.32) та їх проєкцій на факторну площину:

*a* – площина

( $a_{11} = a_{22} = a_{12} = 0$ );

*б* – параболічний циліндр

( $a_{11} = a_{12} = 0$ );

*в* – еліптичний параболоїд

( $a_{11} < 0; a_{22} < 0$ );

*г* – гіперболічний параболоїд – сідло

( $a_{11} > 0; a_{22} > 0$ );

*д* – гіперболічний параболоїд

( $a_{11} = a_{22} = 0; a_{12} \neq 0$ )

### Контрольні запитання

1. Що таке експеримент?
2. Що таке активний і пасивний експеримент?
3. Що таке дослід?
4. Що таке фактор?
5. У чому полягає однофакторний та багатфакторний експеримент?

6. Навести приклад однофакторного експерименту.
7. Що таке метод експериментального дослідження?
8. Якими бувають методи експериментального дослідження?
9. Які методи фізико-механічних випробувань матеріалів ви знаєте?
10. У чому полягає сутність методів визначення міцності матеріалу на стиск?
11. Які стандартні розміри та форма зразків для визначення міцності бетону на стиск?
12. Які розміри зразка, що приймається за базовий, при всіх видах випробувань бетону на міцність?
13. Які ви знаєте лабораторні прилади та обладнання для визначення міцності бетону?
14. Які ви знаєте фізичні методи досліджень матеріалів ?
15. У чому полягають методи визначення корозійної стійкості бетону?
16. Які є фізико-хімічні методи досліджень?
17. Що таке петрографічні дослідження?
18. Який принцип роботи сканувального електронного мікроскопа?
19. У якому фізико-хімічному методі аналізу досліджують смуги поглинання?
20. У якому фізико-хімічному методі аналізу досліджують дифракційні максимуми (лінії)?
21. У якому фізико-хімічному методі аналізу досліджують ендо- та екзо ефекти?
22. Які ви знаєте оригінальні методики досліджень корозії бетону та лабораторні установки для цього?
23. Що таке вимірювання ? Навести класифікацію вимірювань.
24. Як визначається абсолютна погрішність вимірювань?
25. Що таке точність вимірювання?
26. Що таке систематичні погрішності та на які групи вони поділяються?
27. Що таке випадкові погрішності та як вони визначаються та враховуються?
28. Як визначається дисперсія, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації і для чого?



### Задача 1

Побудувати графік лінійної залежності  $y$  від  $x$  за наведеними в таблиці за варіантами експериментальними даними і винайти рівняння цієї залежності:

- а) графік побудувати на папері, рівняння винайти за графіком, а також методом найменших квадратів;
- б) побудувати графік і винайти рівняння за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel;
- в) порівняти рівняння, знайдені трьома методами.

$x$	у для варіанта									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
0	0,9	3,0	5,3	7,3	6,9	0,0	9,0	53,2	0	305
1	1,0	3,2	5,4	7,8	6,5	1,5	10,2	54,1	15	318
2	1,0	3,5	4,5	7,6	6,0	3,9	10,3	44,8	39	345
3	1,7	4,5	4,6	7,7	6,0	7,5	17,2	45,8	75	422
4	1,5	4,0	4,1	8,0	5,9	8,9	16,2	40,0	89	400
5	2,3	4,2	3,2	8,5	5,2	9,8	22,8	31,4	98	420
6	2,1	5,3	3,1	8,2	5,0	13,8	21,4	31,0	138	490
7	2,1	5,3	2,2	8,7	4,8	15,6	24,0	21,9	156	530
8	3,4	5,0	2,1	9,1	4,2	17,5	32,1	21,1	175	500
9	3,0	5,2	1,8	9,0	4,4	19,4	32,4	17,8	194	520
10	3,2	5,5	1,7	9,2	4,0	23,5	33,0	16,4	235	550

### Задача 2

Побудувати графік параболічної залежності  $y$  від  $x$  за наведеними в таблиці за варіантами експериментальними даними і винайти рівняння цієї залежності:

- а) графік побудувати на папері, рівняння винайти за графіком;
- б) побудувати графік і винайти рівняння за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel;
- в) порівняти рівняння, знайдені двома методами.

$x$	у для варіанта									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
0	42	114	60	15	142	52	24	34	240	353
10	36	120	57	18	136	46	30	37	237	346
20	31	127	50	25	131	41	37	47	230	342
30	27	131	45	30	127	37	42	49	225	337
40	20	136	38	37	120	30	46	55	218	330
50	14	142	35	40	114	24	53	61	215	324

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Грушко И.М., Сиденко В.М. Основы научных исследований. – Харьков: Вища школа, 1983. – 224 с.
2. Основы научных исследований / И.М. Глущенко, А.Е. Пинскер, О.И. Полянчиков, А.И. Трикило. – К.: Вища школа, 1983. – 158 с.
3. Большая советская энциклопедия. – Научн. изд-во «Большая российская энциклопедия», 2004. – На 3-х компакт-дисках.
4. Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия. – ООО «Кирилл и Мефодий», 2005. – На 10 компакт-дисках.
5. Википедия: Свободная энциклопедия / <http://ru.wikipedia.org>.
6. Кочетов В.А. Римский бетон (из истории строительства и строительной техники Древнего Рима). – М.: Стройиздат, 1991. – 111 с.
7. Лопатто А.Э. Из истории развития строительных конструкций: L, M, Q, N. – К.: Будівельник, 1990. – 160 с.
8. Уайт Э., Робинсон Б. Архитектура: Формы, конструкции, детали: Иллюстр. справочник / Пер. с англ. Е. Нетесовой. – М.: Астрель, АСТ., 2003. – 111 с.
9. Мировая архитектура. – С.Пб.: Кристалл, 2002. – 96 с.
10. Древнерусская архитектура. – С.Пб.: Кристалл, 2002. – 96 с.
11. Рейнер М. Реология / Пер. с англ. Н.И. Малинина. – М.: Наука, 1965. – 223 с.
12. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
13. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов / Под ред. О.П. Мчедлова-Петросяна. – М.: Стройиздат, 1986. – 408 с.
14. Гаррелс Р. Минеральные равновесия. – М.: Мир, 1962. – 306 с.
15. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 304 с.
16. Методы исследования цементного камня и бетона / Под ред. З.М. Ларионовой. – М.: Стройиздат, 1970. – 159 с.

17. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1981. – 335 с.

18. Горшков В.С., Тимашев В.В. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1963. – 288 с.

19. Хигерович М.И., Меркин А.П. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. школа, 1968. – 192 с.

20. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цементного камня и бетона: Избранные труды. – Харьков: Факт, 2002. – 183 с.

21. Киреев В.А. Курс физической химии. – М.: Химия, 1975. – 776 с.

22. Кузнецова Т.В., Кудряшов И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высш. школа, 1989. – 384 с.

23. Справочник по химии цемента / Ю.М.Бутт, Б.В. Волконский, Л.Г. Судакас и др.; Под ред. Б.В. Волконского и Л.Г. Судакаса. – Л.: Стройиздат, 1980. – 224 с.

24. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссль; Под ред. Ф.М. Иванова. – М.: Стройиздат, 1990. – 320 с.

25. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

26. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии. – К.: Вища школа, 1980. – 264 с.

27. Вища атестаційна комісія України / <http://www.vak.org.ua>

28. ГОСТ 15.101-80 Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок проведения научно-исследовательских работ. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 11 с.

29. Тампонач обводненних горних порід: Справочное пособие / Э.Я. Кипко, Ю.А. Полозов, О.Ю. Лушникова и др. – М.: Недра, 1989. – 318 с.

## Додаток А

**Зміст навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень»** для студентів, що навчаються за навчальними планами ОКР «бакалавр» за спеціальністю «Промислове та цивільне будівництво» (спеціалізація «Реконструкція та утримання будівель залізничного транспорту») і спеціальністю «Залізничні споруди і колійне господарство» (спеціалізація «Технічна експлуатація споруд залізничного транспорту»)

### **А.1. Теми і короткий зміст лекцій для студентів денної форми навчання**

#### **1. Вступ. Загальні відомості про науку**

Терміни і визначення понять. Науки і наукові спеціальності.

#### **2. Історичний нарис розвитку науки**

Наука і техніка. Будівництво: наука, будівельні матеріали, конструкції, будівлі, споруди.

#### **3. Наукові заклади і науково-педагогічні кадри**

Види наукових закладів. Науково-педагогічні кадри. Наукові заклади України. Українська державна академія залізничного транспорту. Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

#### **4. Науково-дослідні роботи**

Види науково-дослідних робіт. Порядок проведення і зміст науково-дослідних робіт. Кваліфікаційні науково-дослідні роботи. Винахідницька діяльність і патентування винаходів.

#### **5. Теоретичні дослідження**

Методи теоретичних досліджень. Модель об'єкта, явища, процесу. Фізичні, математичні, натурні моделі. Розрахункові експерименти. Термодинамічний метод досліджень твердіння в'язучих і корозії. Анкетування.

#### **6. Експериментальні дослідження**

Загальні поняття і визначення. Методи експериментальних досліджень. Фізико-механічні випробування. Фізичні методи досліджень матеріалів. Дослідження безнапірної водопроникності бетону. Корозійні випробування.

## **7. Фізико-хімічні методи досліджень**

Мікроскопічний аналіз. Диференційний термічний аналіз. Рентгенофазовий аналіз. Інфрачервона спектроскопія. Діаграми стану фізико-хімічних систем.

## **8. Розроблення оригінальних методик досліджень і конструювання лабораторних установок**

Дослідження карбонізації бетону. Дослідження дії струмів витоку і блукаючих струмів на бетон.

## **9. Проведення кількісного експерименту**

Забезпечення точності вимірювань. Побудова графіків залежностей. Підбір емпіричних формул за графіком. Побудова графіків залежностей та підбір емпіричних формул за допомогою ПК. Перевірка адекватності моделей.

## **А.2. Завдання для контрольної роботи для студентів заочної форми навчання**

### **Варіант 1**

1. Наука та її розвиток протягом історії людства.
2. Наукові заклади і наукові підрозділи у закладах вищої освіти.
3. Види науково-дослідних робіт за призначенням і джерелами фінансування.
4. Теоретичні дослідження.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 2**

1. Форми наукових знань і розвитку науки.
2. Кваліфікаційні рівні, наукові ступені і звання, посади у наукових і освітніх закладах.
3. Структура науково-дослідної роботи.
4. Чисельні експерименти.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 3**

1. Об'єкт, предмет, мета і методи досліджень.
2. Підготовка наукових кадрів, вища атестаційна комісія.
3. Кваліфікаційні науково-дослідні роботи.
4. Методи експериментальних досліджень.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 4**

1. Наука та її розвиток протягом історії людства.
2. Наукові заклади і наукові підрозділи у закладах вищої освіти.
3. Винахідницька діяльність і патентування винаходів.
4. Методи визначення фізико-механічних властивостей матеріалів.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 5**

1. Форми наукових знань і розвитку науки.
2. Кваліфікаційні рівні, наукові ступені і звання, посади у наукових і освітніх закладах.
3. Структура науково-дослідної роботи.
4. Планування експерименту, обробка експериментальних даних і одержання математичних моделей.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 6**

1. Об'єкт, предмет, мета і методи досліджень.
2. Підготовка наукових кадрів, вища атестаційна комісія.
3. Кваліфікаційні науково-дослідні роботи.
4. Фізико-хімічні методи досліджень.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 7**

1. Наука та її розвиток протягом історії людства.
2. Наукові заклади і наукові підрозділи у закладах вищої освіти.
3. Види науково-дослідних робіт за призначенням і джерелами фінансування.

4. Термодинамічний метод досліджень твердіння і корозії.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 8**

1. Форми наукових знань і розвитку науки.
2. Кваліфікаційні рівні, наукові ступені і звання, посади у наукових і освітніх закладах.
3. Структура науково-дослідної роботи.
4. Методи визначення фізико-механічних властивостей матеріалів.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 9**

1. Об'єкт, предмет, мета і методи досліджень.
2. Підготовка наукових кадрів, вища атестаційна комісія.
3. Кваліфікаційні науково-дослідні роботи.
4. Чисельні експерименти
- 5 Задачі А.1 і А.2.

### **Варіант 10**

1. Наука та її розвиток протягом історії людства.
2. Наукові заклади і наукові підрозділи у закладах вищої освіти.
3. Винахідницька діяльність і патентування винаходів.
4. Фізико-хімічні методи досліджень.
5. Задачі А.1 і А.2.

### **Задача А.1**

Побудувати графік лінійної залежності  $y$  від  $x$  за наведеними в таблиці за варіантами експериментальними даними і винайти рівняння цієї залежності:

- а) графік побудувати на папері, рівняння винайти за графіком, а також методом найменших квадратів;
- б) побудувати графік і винайти рівняння за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel;
- в) порівняти рівняння, винайдені трьома методами.



x	у для варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	53,1	304	0	0,0	9,1	7,4	6,8	0,8	5,2	2,9
1	54,1	318	15	1,5	10,2	7,8	6,5	1,0	5,4	3,2
2	44,8	345	39	3,9	10,3	7,6	6,0	1,2	4,5	3,4
3	45,8	422	75	7,4	17,2	7,7	6,1	1,7	4,6	4,5
4	40,0	403	89	8,9	16,3	8,0	5,9	1,5	4,1	4,0
5	31,4	421	98	9,8	22,8	8,5	5,2	2,3	3,2	4,2
6	31,0	489	138	13,8	21,4	8,2	5,0	2,1	3,1	5,3
7	21,9	530	156	15,6	24,0	8,7	4,8	2,1	2,2	5,4
8	21,1	501	175	17,5	32,1	9,1	4,2	3,4	2,1	5,0
9	17,8	520	194	19,4	32,4	9,0	4,4	3,0	1,8	5,2
10	16,4	550	235	23,5	33,0	9,2	4,0	3,2	1,7	5,5

### **Задача А.2**

Побудувати графік параболічної залежності  $y$  від  $x$  за наведеними в таблиці за варіантами експериментальними даними і виписати рівняння цієї залежності:

а) графік побудувати на папері, рівняння виписати за графіком;

б) побудувати графік і виписати рівняння за допомогою електронних таблиць Microsoft Excel;

в) порівняти рівняння, виписані двома методами.

x	у для варіанта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	241	52	351	24	113	142	14	35	42	61
10	237	46	345	30	120	136	18	37	37	58
20	230	42	342	37	128	131	25	47	31	50
30	225	37	337	42	131	127	31	50	27	44
40	217	30	331	46	137	120	37	55	20	38
50	215	23	323	53	142	114	39	61	15	36





























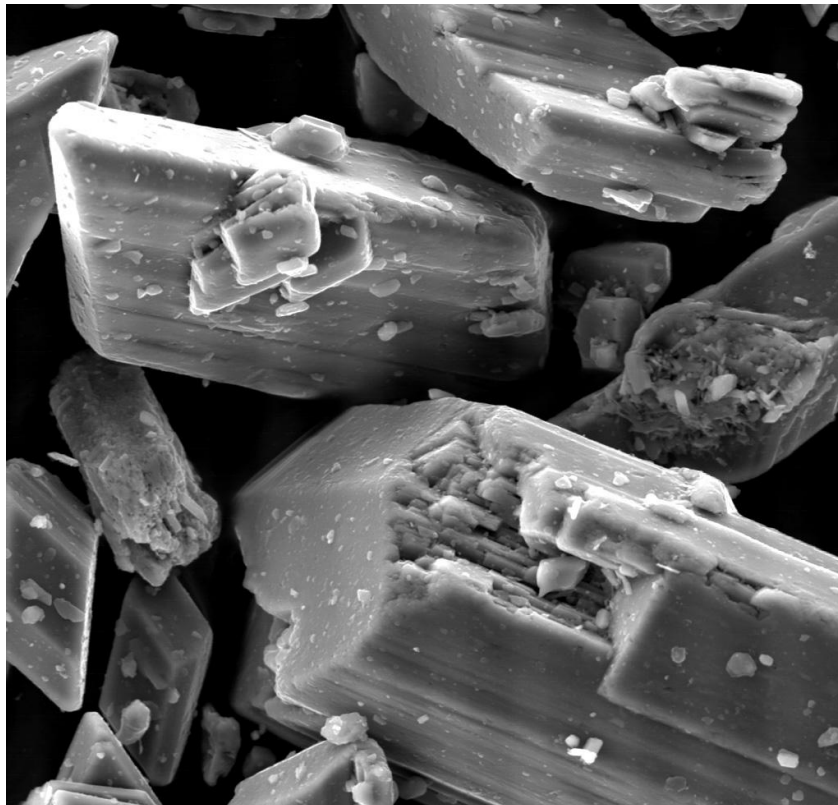








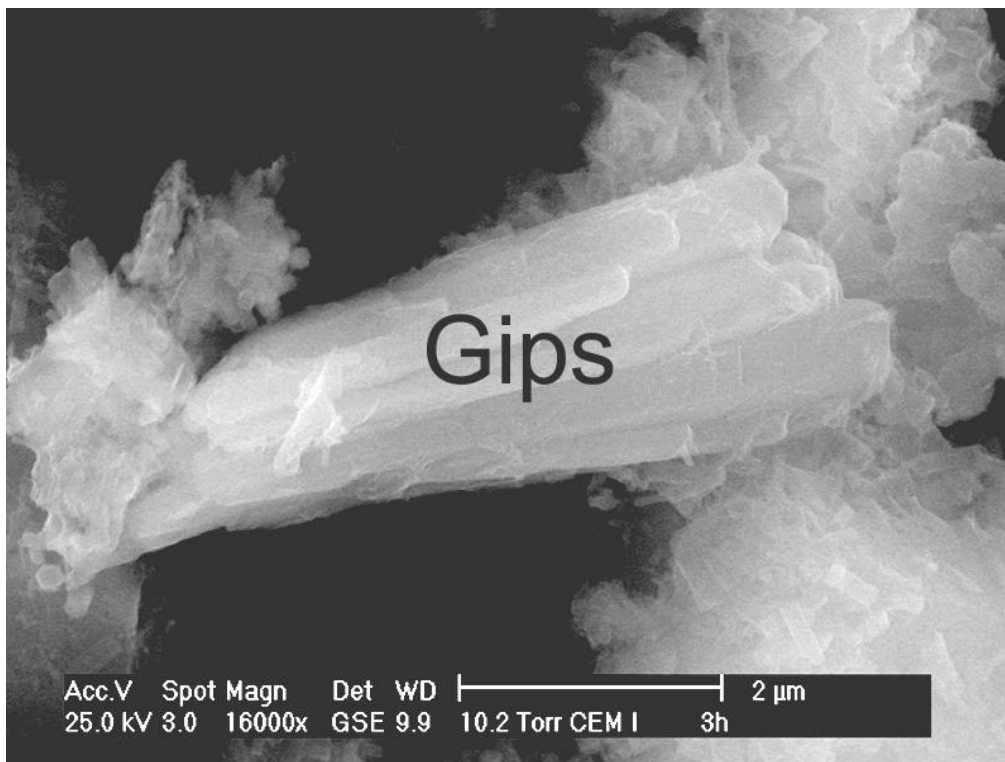




Gips ungemahlen (1k)

30µm

Рис. В.1. Гіпс природний: СЕМ (М. Müller, Н.-В. Fischer)



Acc.V Spot Magn Det WD |-----| 2 µm  
25.0 kV 3.0 16000x GSE 9.9 10.2 Torr CEM I 3h

Рис.В.2. Гіпс як продукт твердіння гіпсового в'язучого:  
СЕМ (J.Stark, В.Мöser, F.Bellmann, С.Рößler)



Рис. В.3. Портландит в цементному камені: вугільна репліка;  
ПЕМ;  $\times 80000$ , 1 см = 125 нм

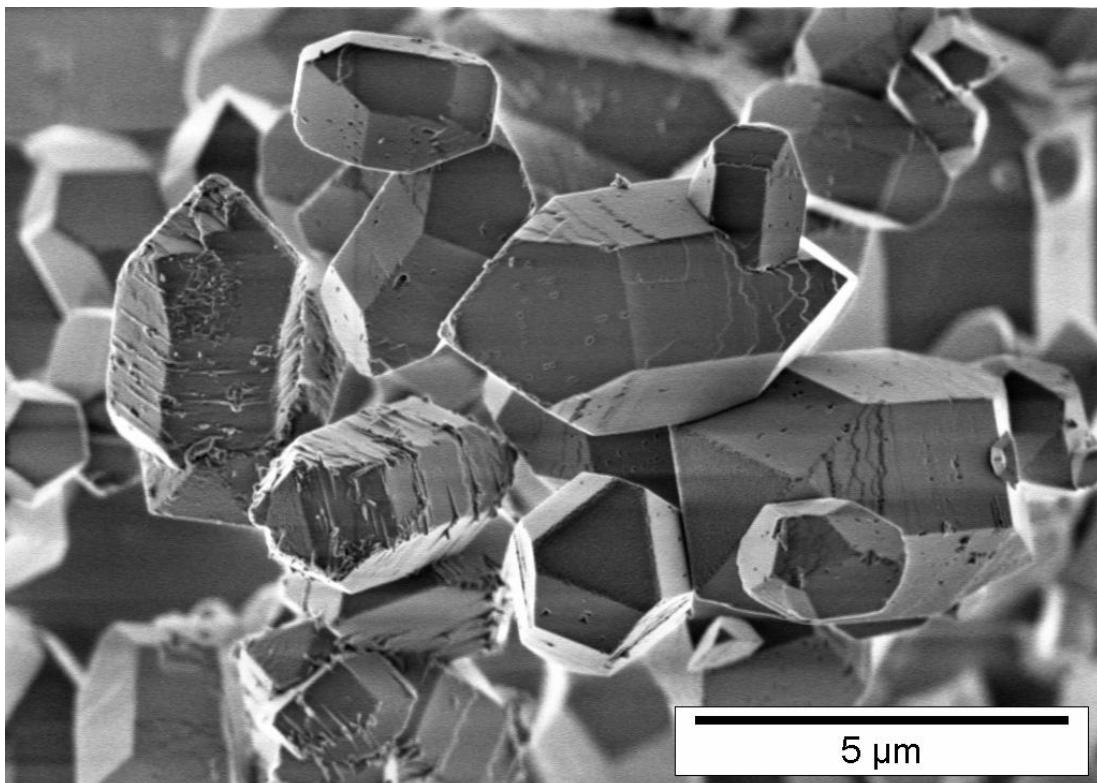


Рис. В.4. Портландит: СЕМ (М.Аrnold, R.Trettin)



Рис. В.5. Портландит: СЕМ (J. Stark, B. Möser, F. Bellmann, C. Rößler)

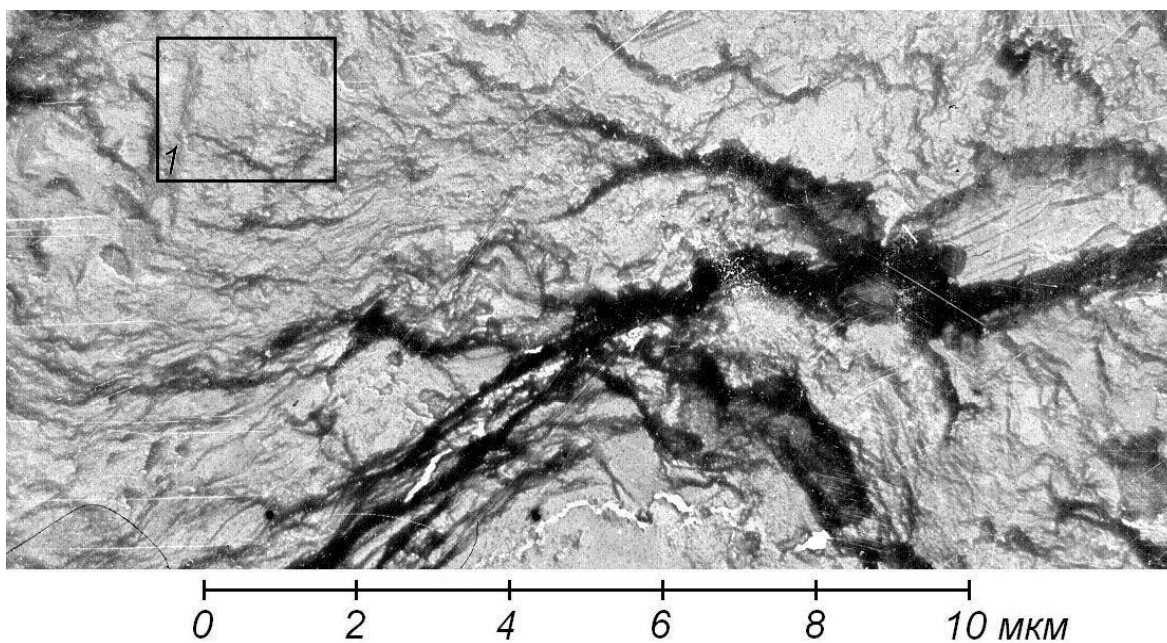


Рис. В.6. Продукти гідратації портландцементу в цементному камені: вугільна репліка; ПЕМ

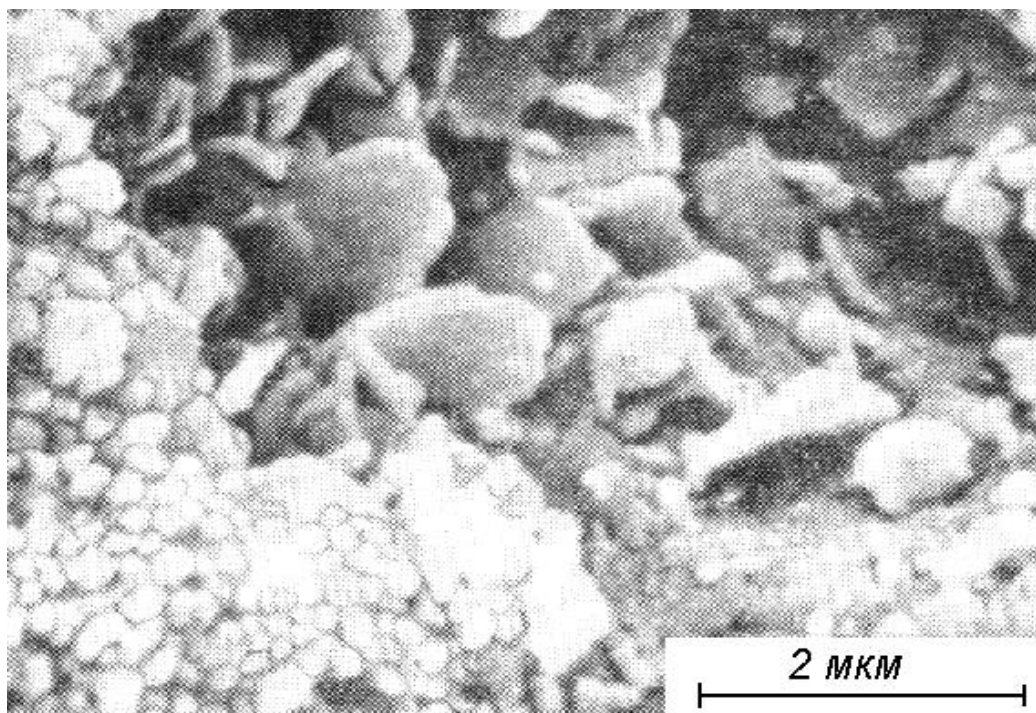


Рис. В.7. Продукти гідратації портландцементу: внизу ліворуч – гідросилікатий гель, зверху праворуч – портландит: СЕМ (В. Лах, Я. Буреш)

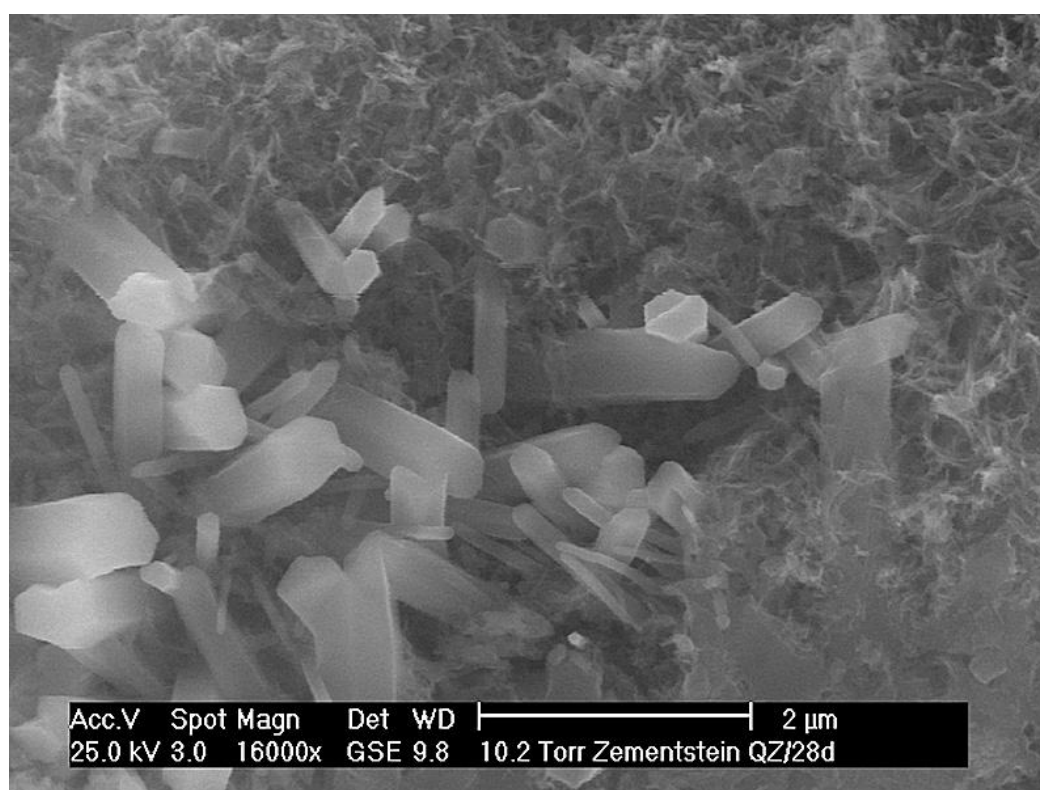


Рис. В.8. Продукти гідратації портландцементу: внизу ліворуч – портландит, зверху праворуч – гідросилікатий гель: СЕМ (І. Харченко, А. Панченко, J. Stark, Н.-В. Fischer)



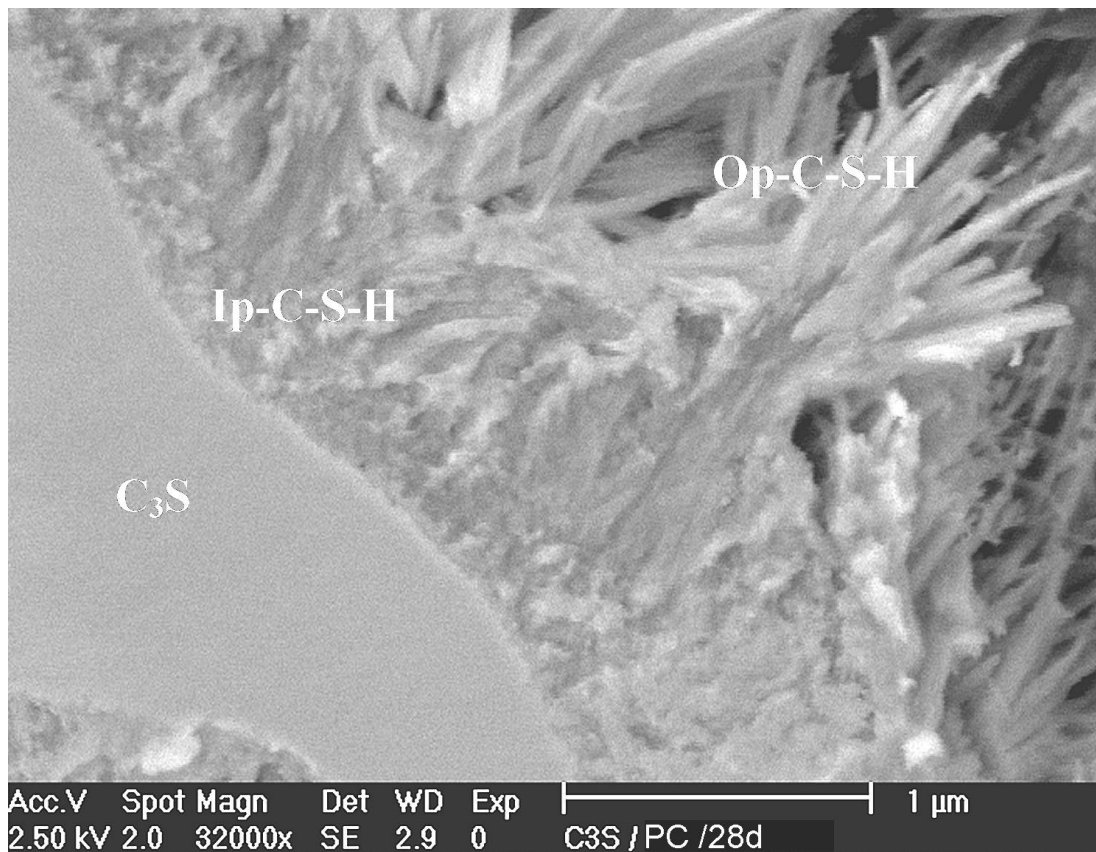


Рис. В.9. Гідросилікатний гель на поверхні частки  $C_3S$ : Ip-C-S-H – «внутрішній» гель; Op-C-S-H – «зовнішній» гель: CEM (C. Rößler)

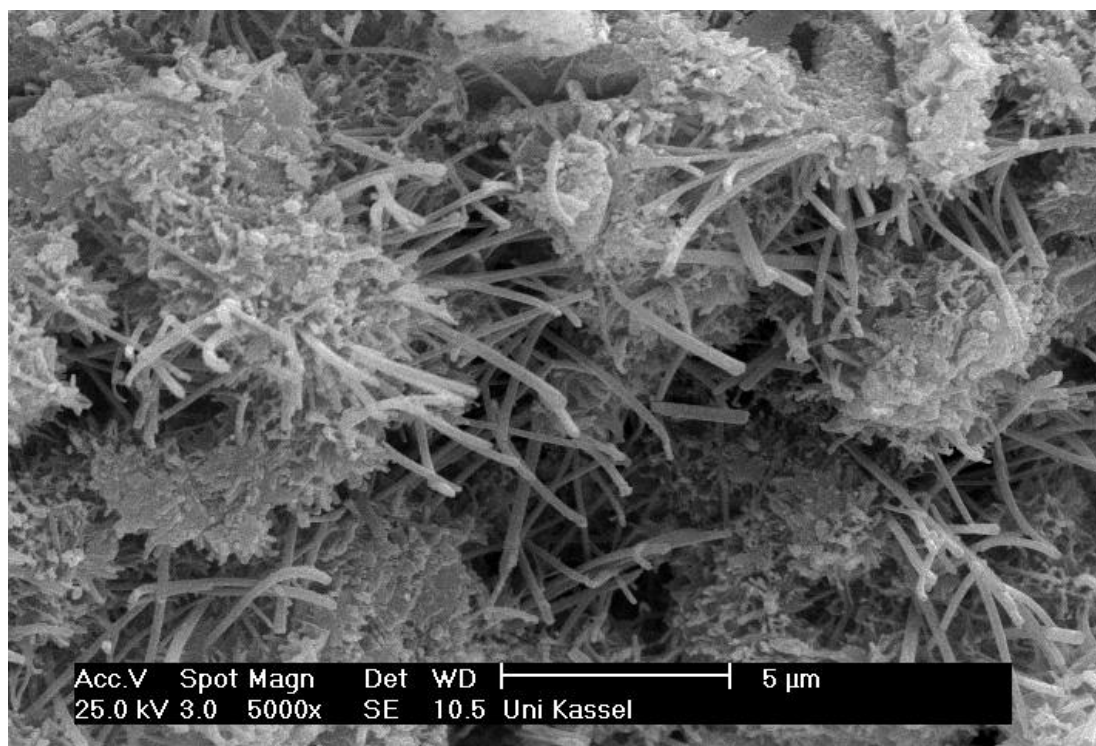


Рис. В.10. Гідросилікатний гель: CEM (R. Krelaus, M. Schmidt, M. Gehrke, B. Middendorf)

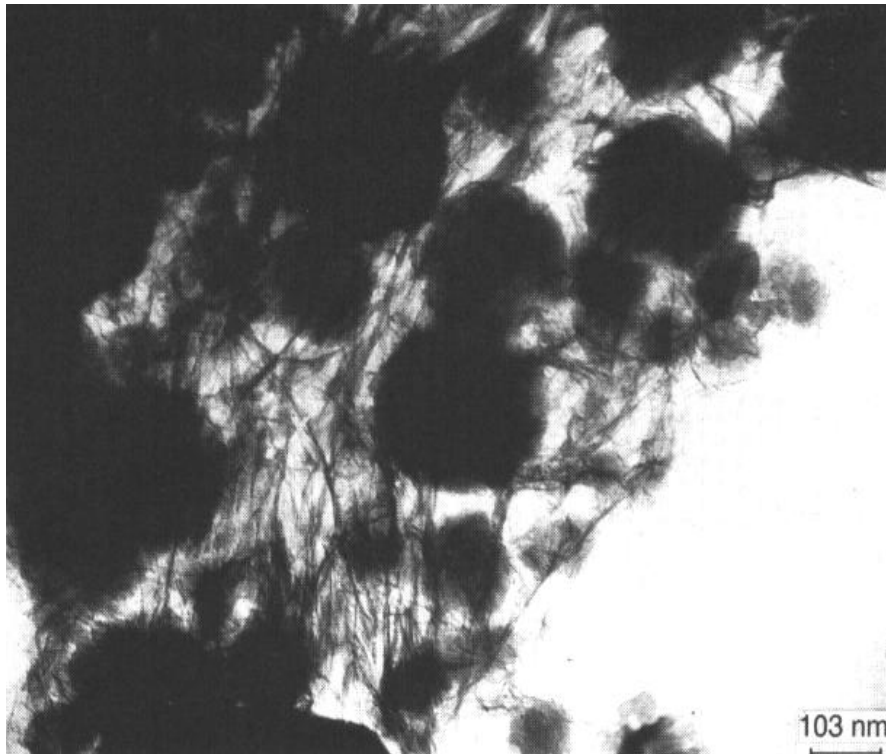


Рис. В.11. Гідросилікатний гель: СЕМ [R. Trettin]

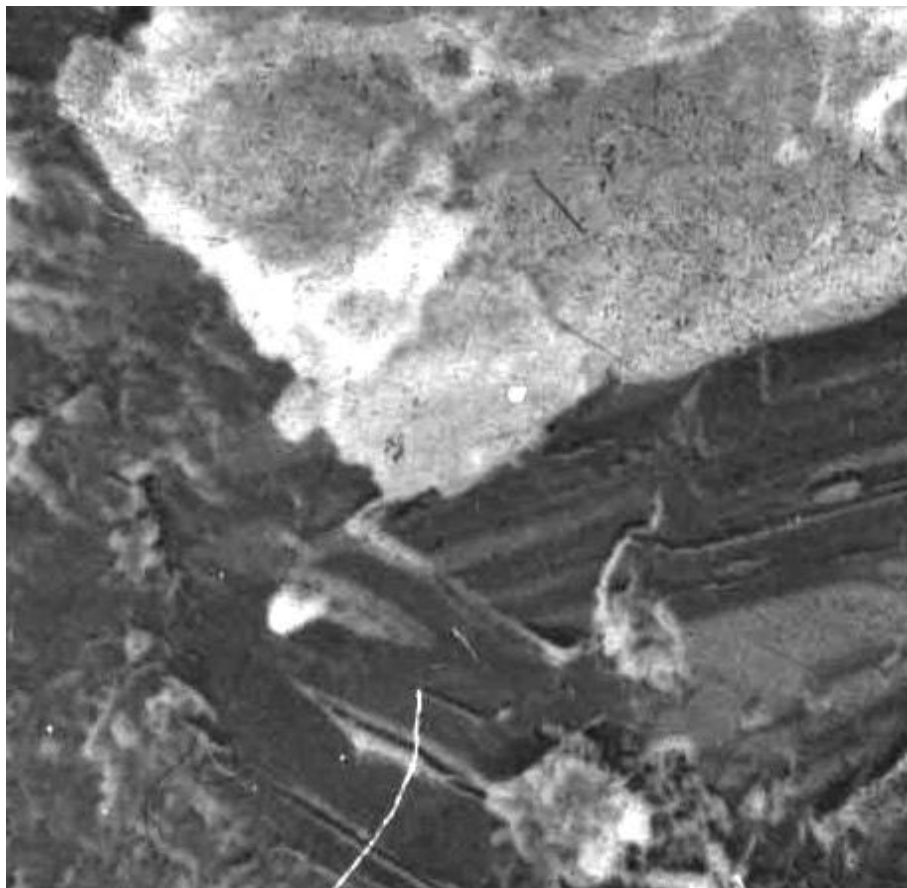


Рис.В.12. Гідроалюмінати та гідромоносульфоалюмінат кальцію в цементному камені. Вугільна репліка; ПЕМ;  $\times 60000$ , 1 см = 166 нм



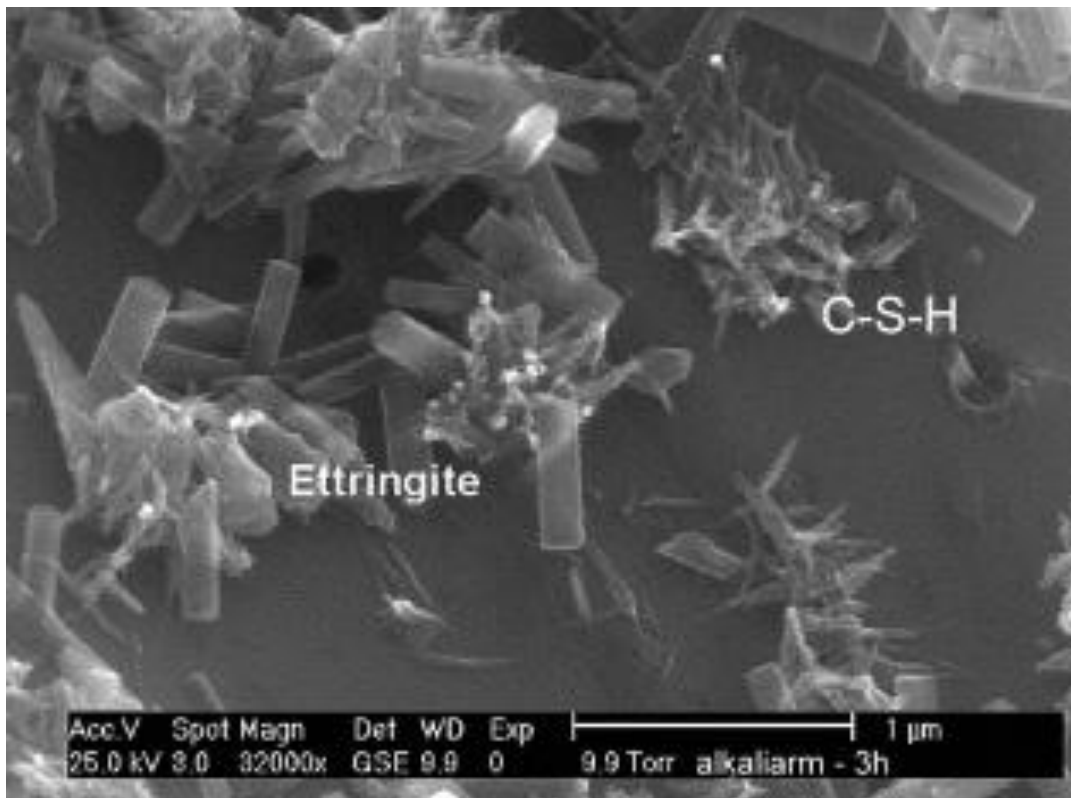


Рис. В.13. Гідросилікатний гель C-S-H та еtringіт в цементному тісті після трьох годин твердіння: SEM (B. Möser, J. Stark)

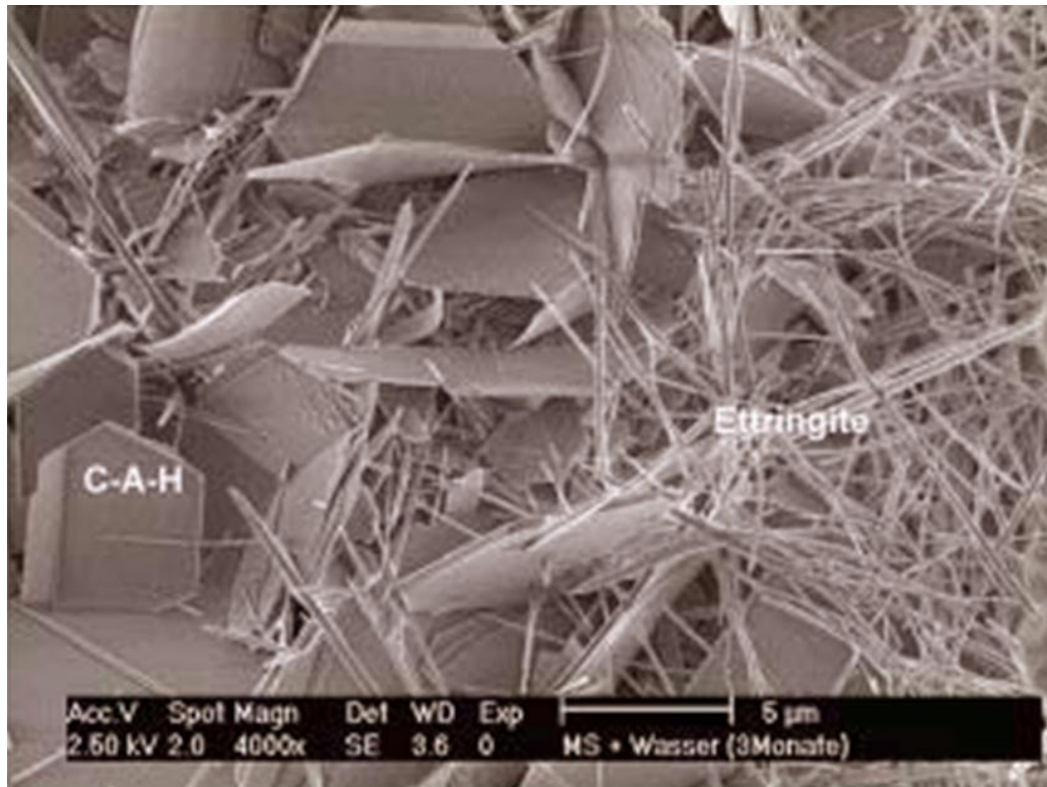


Рис. В.14. Гідроалюмінати кальцію C-A-H та еtringіт: SEM (J. Stark, B. Möser, F. Bellmann)

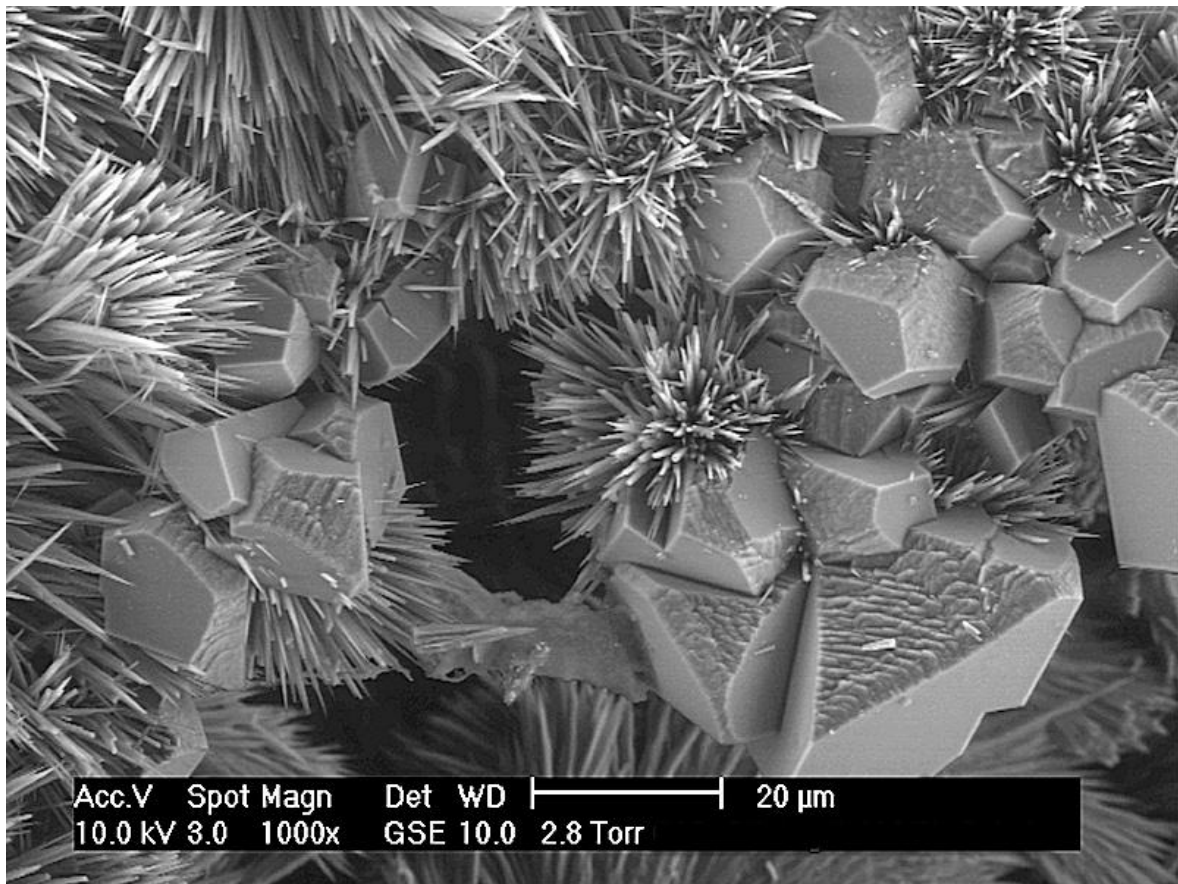


Рис. В.15. Кальцит: СЕМ (В. Möser)

## Додаток Г

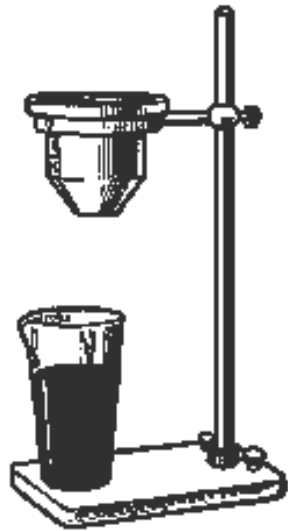
### Методи дослідження реологічних властивостей і реологічні прилади

Таблиця Г.1

Прилади для дослідження фундаментальних реологічних властивостей ньютонівських рідин, рідкоподібних безструктурних, рідко подібних структурованих і твердоподібних дисперсних систем і принцип їх дії

Досліджувані системи	Вимірювані фундаментальні реологічні властивості	Типи і моделі реологічних приладів	Принцип дії приладу
Ньютонівські рідини та рідкоподібні безструктурні дисперсні системи (вода з добавками для замішування бетонних і розчинних сумішей; лаки і фарби; силікатні та полімерні розчини для хімічного закріплення ґрунтів; тампонажні розчини і т. п.)	Динамічна в'язкість	Капілярні віскозиметри ВЗ-1, ВЗ-4 (рис. Г.1, а), ВЗ-234 за ГОСТ 8420, СПВ-5	Витікання певної кількості досліджуваної речовини через калібрований отвір. Вимірюється час витікання, в'язкість визначається за тарувальними залежностями або розрахунком
		Кулькові віскозиметри (рис. Г.2, а)	Калібрована сталева кулька тоне або спливає в прозорій трубці, заповненій досліджуваною рідиною або сумішшю. Вимірюється час переміщення між мітками на трубці, в'язкість визначається розрахунком
Твердоподібні дисперсні системи гранично зруйнованої структури (бетонна суміш при вібрації)	Динамічна в'язкість	Кулькові віскозиметри (рис. Г.2, б)	Досліджувана рідина або суміш поміщується в кільцевий зазор між двома співвісними циліндрами. Один з циліндрів обертають з постійною швидкістю. Вимірюють крутильний момент, реологічні властивості визначають за тарувальними залежностями або розрахунком
Ньютонівські рідини та всі дисперсні системи	Динамічна і граничні статичний динамічний опір зсуву	Ротаційні віскозиметри: Реотест-2; СНС-2; РПЦ-1; ВСН-3 (рис. Г.3)	Досліджувана рідина або суміш поміщується в кільцевий зазор між двома співвісними циліндрами. Один з циліндрів обертають з постійною швидкістю. Вимірюють крутильний момент, реологічні властивості визначають за тарувальними залежностями або розрахунком
Рідкоподібні структуровані та твердоподібні дисперсні системи (цементні суспензії та тісто, глиниста суспензія, розчинні та бетонні суміші і т.п.)	Граничний статичний опір зсуву; пластична в'язкість	Пластометри: конічний (рис. Г.4, а), Вейлера – Ребіндера (рис. Г.4, б), І.Г.Гранковського	Занурення в суміш конуса або висмикування з неї ребристих пластин (прилад Ребіндера – Вейлера) або стержнів (прилади Гранковського). Вимірюються час і переміщення, реологічні властивості визначаються розрахунком

a)



б)

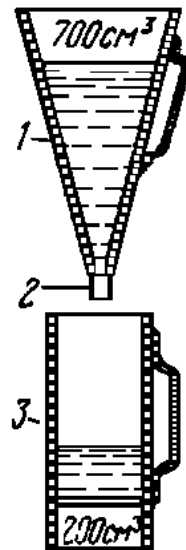
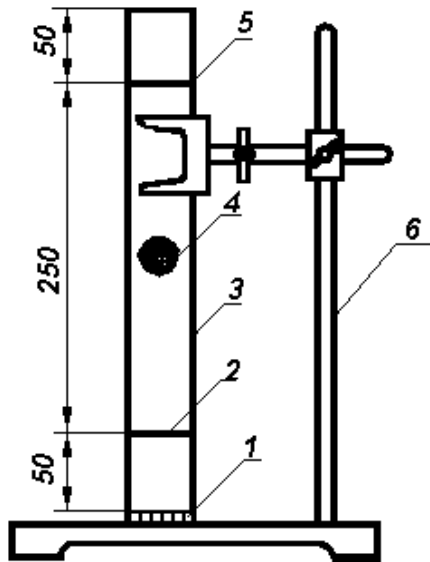


Рис. Г.1. Капілярні віскозиметри:

*a* – типу ВЗ з діаметром каліброваного отвору: ВЗ-1 – 5,4 мм, ВЗ-4 – 4 мм, ВЗ-234 – зі змінними отворами; *б* – СПВ-5: 1 – ємність з каліброваним отвором; 2 – калібрований отвір; 3 – приймальна ємність

a)



б)

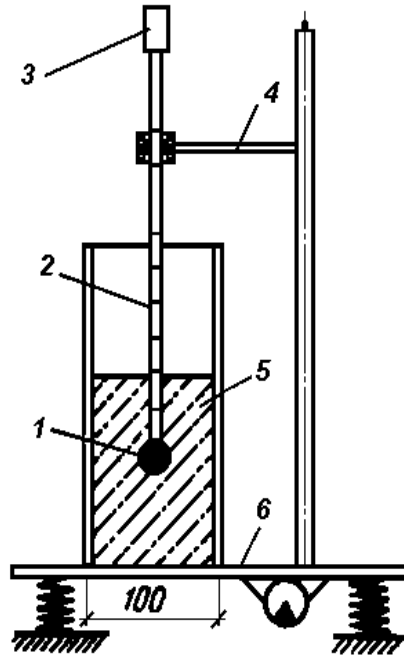
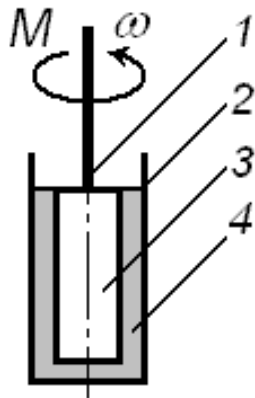


Рис. Г.2. Кулькові віскозиметри:

*a* – для визначення динамічної в'язкості ньютонівських рідин: 1 – пробка; 2, 5 – мітки; 3 – скляна трубка з внутрішнім діаметром 20 мм; 4 – сталевая кулька діаметром 7,938 мм і масою 2,033 г; *б* – штатив; *б* – для визначення динамічної в'язкості твердоподібних систем гранично зруйнованої структури: 1 – сталевая кулька; 2 – вимірювальна штанга; 3 – вантаж; 4 – штатив; 5 – місткість; 6 – стандартна лабораторна віброплощадка

a)



б)

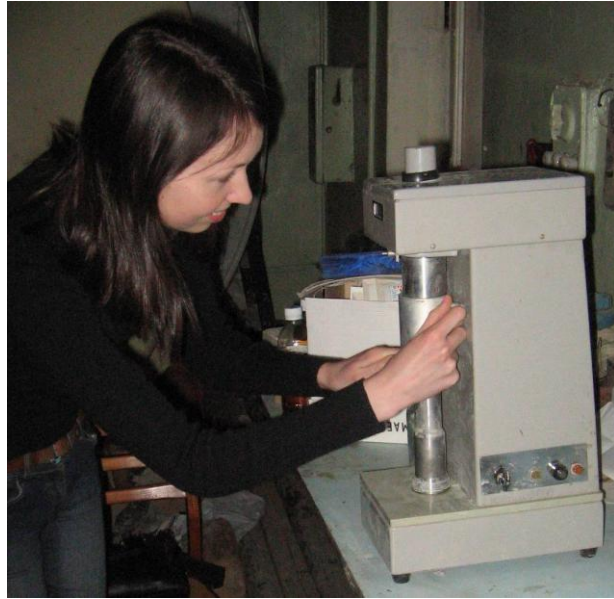
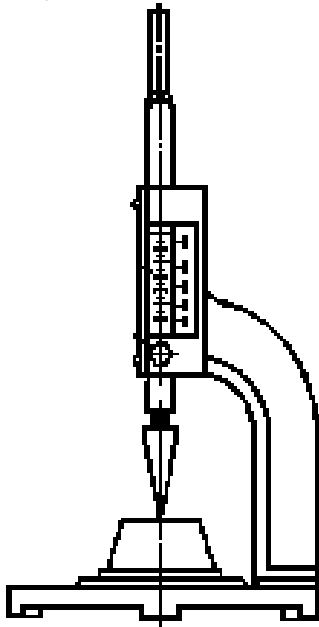


Рис. Г.3. Ротаційний віскозиметр:

a – схема віскозиметра: 1 – вісь обертання; 2 – зовнішній циліндр; 3 – внутрішній циліндр; 4 – досліджувана суміш;  $\omega$  – кутова швидкість обертання;  $M$  – крутильний момент; б – ротаційний віскозиметр ВСН-3 (УкрДАЗТ)

a)



б)

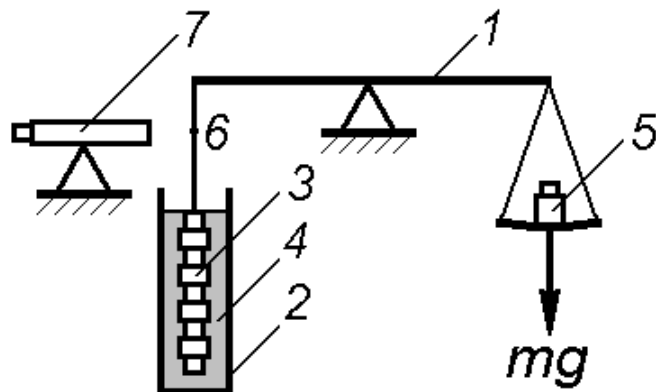


Рис. Г.4. Пластометри:

a – конічний; б – Вейлера –Ребиндера: 1 – важільні ваги; 2 – кювета; 3 – ребриста пластинка; 4 – досліджуваний розчин; 5 – тягарці; б – мітка на дротині; 7 – відрахувальний мікроскоп;  $mg$  – сила ваги тягарців, що висмикують пластинку із досліджуваного розчину

Таблиця Г.2

Стандартні методи контролю технологічних  
реологічних властивостей будівельних сумішей

Будівельна суміш	Метод контролю	Контрольована характеристика	Прилад для контролю	Вимірювана приладом характеристика	Границі вимірювання
Цементне тісто	ГОСТ 310.3	Нормальна густина	Прилад Віка	Глибина занурення пестика, мм	0÷40
		Строки тужавлення	Прилад Віка	Глибина занурення голки, мм	0÷40
Гіпсове тісто	ДСТУ Б В.2.7-82	Нормальна густина	Віскозиметр Сутгарда	Діаметр розпливу, мм	5÷24
		Строки тужавлення	Прилад Віка	Глибина занурення голки, мм	0÷40
Розчинна суміш	ГОСТ 5802	Рухливість	Конус «СтройЦНИЛ»	Глибина занурення конуса, см	1÷15
	ГОСТ 310.4	Консистенція	Конус і струщувальний столик	Діаметр розпливу, мм	100÷290
Бетонна суміш	ГОСТ 10181.1	Рухливість	Конус	Осадка конуса, см	0÷20
		Жорсткість	Прилад Вебе (конус у посудині)	Час розпливу конуса при вібрації, с	0÷85
Цементне тісто тампонажного цементу, тампонажні розчини	ДСТУ Б В.2.7-88	Розтічність	Конус АзНИИ	Діаметр розпливу, см	70÷250
	[29]	Умовна в'язкість	Стандартний польовий віскозиметр СПВ-5 (рис.Г.1, б)	Час витоку 500 см <sup>3</sup> , с	3÷450
Лаки, ґрунтувальні й фарбувальні склади	ГОСТ 8420	Умовна в'язкість	Віскозиметри ВЗ-1, ВЗ-4 (рис.Г.1, а)	Час витоку, с	12÷200
			Кульковий віскозиметр	Час падіння кульки, с	3÷25

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Абстрагування 144
- Автореферат дисертації 75, 109, 133
- Академія 63
- Академія наук 63
- Аксиома 11
- Аналіз 144
  - кореляційний 311
  - регресійний 311
- Анкетування 164
- Апробація 128, 133
- Апроксимація 311
- Аспірантура 74, 121
  
- Виконавець 121
- Вимірювання 285
  - абсолютні 285
  - відносні 285
  - непрямі 285
- Винахід 135
- Вихід експерименту 167
- Впровадження результатів досліджень 127
- Вхід експерименту 167
- Відкриття 135
- Відхилення середнє квадратичне 288
- Вірогідність довірча 289-292
  
- Гіпотеза 11
- Грант 121
- Графік залежності 294, 318
  - функції 294
  
- Дисертація 75, 132, 132
- Дисперсія 288, 293, 322
- Діаграма стану 265
  - трикутна 268, 269
  - фазова 265
- Договір господарчий 120, 121
- Доктор наук 74
- Докторантура 74
- Дослід 167

Дослідження експериментальне 12, 170

- експериментальне лабораторне 170
- наукове 12
- прикладне 120, 122
- теоретичне 12, 144
- фундаментальне 120, 122

Достовірність вимірювань 286

Експеримент 167

- активний 167
- багатофакторний 170
- виробничий 170
- однофакторний 169
- пасивний 167
- пошуковий 170
- природний 167
- розрахунковий 145, 167, 148, 151, 152, 153, 155
- чисельний 145
- штучний 167

Енергія вільна Гібса 159, 161, 163

Журнал науковий 80, 116, 138

- науково-технічний 138

Замовник 121

Збірник наукових праць 138, 139

Звання вчене 72, 73

Здобувач наукового ступеня 74, 75

Змінна незалежна експерименту 167

Інститут 68

- науково-дослідний 70, 79, 89
- проектно-вишукувальний 70
- проектно-вишукувальний і науково-дослідний 70

Інтервал довірчий 289, 290

Кандидат наук 72-76

Кваліфікація 73, 74

Коефіцієнт 155

- варіації 173, 174, 289
- кореляції 155, 321, 322
- студента 290



Критерій Романовського 292

- Фішера 293, 322

Лабораторія 70

- будівельна 71

- випробувальна 71

- заводська 71

- навчальна 71

- науково-дослідна 71

Мета дослідження 12

Метод аксіоматичний 144

- гіпотетичний 144

-дослідження 12

- експериментального дослідження 12

- історичний 144

- найменших квадратів 155, 316

Метрологія 92, 285

Модель 144

- корисна 136

- математична 148

- натурна 151

- фізична 145

Монографія 138

Наука 9

НДІ 70

НДР 12

Об'єкт дослідження 12

Патент на винахід 135, 137

Параметри термодинамічні 165

Підручник 140

Планування експерименту математичне 281, 323

Площина факторна 300, 323

Погрішність вимірювання абсолютна 286

- вимірювання відносна 286

- випадкова 287

- груба 286, 291

- середнього арифметичного 289

- систематична 286

Поліном 311, 312, 313, 318, 323

Посібник навчальний 140  
Постулат 11  
Похибка вимірювання абсолютна 286  
Похибка вимірювання відносна 286  
Предмет дослідження 12

Ранжування 144, 165  
Революція наукова 13, 16, 17, 20, 24  
- науково-технічна 16, 37  
- неолітична 14  
- промислова 16  
- технічна 13, 15  
Результат експерименту 167  
Рівень освітньо-кваліфікаційний 73  
- експерименту 169  
Рівняння регресії 311, 320  
Рідина ньютонівська 147  
Робота науково-дослідна 12  
- науково-дослідна госпдоговірна 120, 121  
- науково-дослідна держбюджетна 120  
- науково-дослідна ініціативна 120, 122  
- науково-дослідна прикладна 120  
- науково-дослідна фундаментальна 120, 122  
Розробка 120

Свідоцтво авторське 135  
Середнє арифметичне 288, 321  
Серія дослідів 169  
Синтез 144  
Система двокомпонентна 265, 266  
- однокомпонентна 265  
- трикомпонентна 266  
- фізико-хімічна 265  
Спосіб дедуктивний 144  
- індуктивний 144  
Стандарт 288  
Стаття 138  
Ступінь науковий 73

Теорія 11  
Термодинаміка хімічна 156  
Техніка 11

Тіло в'язко-пружне Кельвіна 147, 148  
- пластичне Сен-Венана – Кулона 147  
- пружне Гука 147  
- пружно-в'язке Максвелла 147, 148  
- пружно-в'язко-пластичне Бінгама 147, 148

Точність вимірювання 286

Трикутник концентрацій 266, 268

Університет 64

Фактор 167

Формалізація 144

Формула винаходу 136, 137

Ящик чорний 150

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Абдулкасім Салд Хасан 68  
Авалова Е.В. 108  
Академ 63  
Алексеєнко Л.Н. 108  
Анаксагор 13  
Анфімій Тралеський 39, 334  
Аппій Клавдій Цек 38  
Аполодор Дамаський 34, 39, 45, 334  
Аргунова Л.І. 108  
Ардуен-Мансар Жюль 336  
Арешкін П.І. 339  
Архімед 14, 17, 135  
Архіпов Вадим Володимирович 118  
Аспдін Джозеф 16, 31, 36, 55  
Астахов Віктор Миколайович 90  
Бабиченко Віктор Якович 108  
Бабушкін Володимир Іванович 60, 61, 94, 105, 107, 109  
Багалій Дмитро Іванович 83  
Баженов Василь Іванович 336  
Байков Олександр Олександрович 26, 31, 57  
Барма 335  
Барри Ч. 337  
Басдикян І.Х. 108  
Баяр Санжийн 68  
Бейкер Бенджамін 35  
Белелюбський Микола Аполонович 35  
Бекетов Олексій Миколайович 338  
Бенедикт 34  
Бертолле Клод Луї 24  
Бершацький Фелікс Григорович 107  
Бетрахмадов Руслан Вахідович 108  
Беляєв Микола Михайлович 57  
Бінгам 147, 148, 150  
Бірюков Анатолій Іванович 100, 101, 110  
Блор Олександр 337  
Боголюбов Микола Миколайович 88  
Богомолець Олександр Олександрович 82, 83, 88  
Бозе Шатъендранат 28  
Болдова Л.Г. 108  
Борзяк Ольга Сергіївна 118  
Боровська І.В. 108

Бородинов Володимир Костянтинович 108  
Браманте Донато 335  
Братчиков В.Г. 108  
Брюнель Ізамбар Кінгдом 31, 53  
Брюнель Марк Ізамбар 31, 53, 54  
Бунаков Олександр Георгійович 107  
Буреш Я. 354  
Бускетто ди Джованні Джудиче 334  
Бутенко Володимир Михайлович 91  
Буш Джордж (молодший) 67  
Вайс Гюстав 55  
Валявський В'ячеслав Іванович 108  
Вандоловський Олександр Георгійович 94, 108, 109  
Василенко Микола Прокопович 81, 82, 83  
Васильєв Євген Олексійович 336  
Вернадський Володимир Іванович 26, 79, 82, 83  
Верьовкін Микола Миколайович 337  
Віка Луї Жозеф 54, 55, 362  
Вітрувій Марк Поліон 29, 52, 53, 340  
Виноградов Олексій Іванович 103, 104  
Виродов Віктор Іванович 108  
Возненко Сергій Іванович 118  
Волков Євген Іванович 108  
Володимир Святий 68  
Волошин Г.І. 338  
Вольмут Б. 335  
Вольф Хрiстиан фон 22  
Воляк Петро Михайлович 108  
Воробйов Юрій Лазаревич 107  
Вороніхін Андрій Никифорович 336  
Воронов Віктор Георгійович 108  
Гавденцій 334  
Гаєвий Юрій Олександрович 108  
Галілей Галілео 17  
Герасименко Олег Степанович 118  
Гершель Вільям 21  
Гіббс Джозайя Уілард 157, 158, 159, 161, 163, 266, 268  
Гінзбург Олександр Маркович 338  
Гіпократ 13  
Гітон де Морво Луї Бернар 24  
Глушков Віктор Михайлович 88  
Глущенко Іван Маркович 8

Говоров А.А. 107  
Гогичева Х.И. 107  
Голенищев 338  
Горбачов Михайло Сергійович 68  
Горький Олексій Максимович 68  
Грибоедов Олександр Сергійович 68  
Гриньова Ірина Робертівна 108  
Гришко Микола Миколайович 79  
Грушко Іван Макарович 8  
Гук Роберт 16, 19, 78, 146, 147  
Гусейнова І.А. 108  
Гутенберг Іоган 15  
Гюйгенс Христиан 64  
Граве Дмитро Олександрович 88  
  
Данько Микола Іванович 90  
Дарвін Чарлз 16, 64, 65  
Дейсадзе К.Д. 108  
Демокрит 13  
Джеферсон Томас 64  
Джосер 28, 32, 33, 52  
Джонс Гораце 337  
Динник Олександр Миколайович 88  
Дмитрієв Ігор Борисович 108  
Дмитрієв Олександр Іванович 338  
д'Омбре Жан 335  
Дорошенко Олег Павлович 100, 104  
Дубницький Валерій Юрійович 108  
Дюженко Михайло Георгійович 107, 108  
  
Ейнштейн Альберт 16, 23, 27, 28, 64  
Ейфель Густав 35, 41  
Ердеї Л. 261  
Евклід 13  
  
Єнч Ю.Г. 108  
Єрмак Євген Михайлович 100, 101, 104, 110, 113, 114  
  
Жаккар Жозеф Марі 16  
Жильцов Віктор Петрович 108  
  
Заболотний Данило Кирилович 82, 83, 88  
Заворін Леонід Васильович 108  
Загоскін Ілідор Ілідорович 338  
Зазімко Віра Георгіївна 108  
Зіньковський Альберт Андрійович 100

Івасішина Ольга Миколаївна 108  
Іктин 37  
Ілієску Іон 68  
Іманова О.М. 108  
Імхотеп 32, 52, 53, 63  
Ісідор Мілетський 39, 334  
Казаков Матвій Федорович 336  
Казимір Ян 67  
Калениченко Леонід Миколайович 108  
Калінін Олег Анатолійович 6, 91, 118  
Кампіоне Марко ди 335  
Камчатна Світлана Миколаївна 118  
Кант Імануїл 66  
Каразін Василь Назарович 68  
Кащенко Микола Феофанович 83  
Кельвін лорд (Томсон Уільям) 63, 147, 148  
Кеннеді Джон 67  
Кербедз Станіслав Валеріанович 34  
Керенський Олег Олександрович 36, 49  
Керенський Олександр Федорович 49  
Кириченко Дина Василівна 108  
Кларк Уільям Терней 35  
Коган М.А. 108  
Корж В.І. 338  
Корнеєнко Борис Миколайович 338  
Коробов А.І. 108  
Косинський Володимир Андрійович 83  
Костенко В.П. 339  
Костянтин 334  
Косяков Василь Антонович 338  
Кравець Самуїл Миронович 338  
Красулова Н.М. 108  
Крилов Микола Митрофанович 88  
Кримський Авахангел Юхимович 83  
Кузнєцов С.Н. 108  
Кулібін Іван Петрович 34, 45  
Кулон Шарль Огюст 146, 147  
Курнаков Микола Семенович 26, 107  
Кутах Олександр Петрович 108, 109  
Кучеренко Володимир Олексійович 104  
Лавуазьє Антуан Лоран 16, 23, 24, 31, 37, 53, 64  
Ладиженський Віктор Миколайович 108

Лаплас П'єр-Симон 24  
Латишев Федір Андрійович 107  
Лах В. 354  
Лєско П'єр 335  
Леблон Жан Батист 336  
Лебрєн Шарль 336  
Левицький Орєст Іванович 83  
Лево Луї 336  
ле Лу Жан 335  
Лєнотр Андре 336  
Ле Шатєльє Анрі Луї 31, 55, 56, 57, 196  
Лимар Євген Євсєнтійович 101, 338  
Липський Володимир Іполітович 82, 83  
Литвин Володимир Михайлович 79  
Лібенко Юрій Павлович 108  
Ловцов Михайло Іванович 337  
Ломоносов Михайло Васильович 16, 18, 20, 21, 22, 23, 68, 69  
Ломотько Дєнис Вікторович 90  
Лукащик Йосип Вікєнтійович 100  
Луцький Михайло Соломонович 101  
Лютий Віталій Анатолійович 118  
  
Майар (Mallart) Робєр 35  
Максвел Джеймс Клерк 147, 148  
Малюга Іван Григорович 31, 56  
Матвєєв Герман Михайлович 61, 105, 107  
Мат'є із Аррасу 335  
Мєзенцев Борис Сергійович 338  
Мєйєрхольд Всеволод Ємільович 68  
Мєліхов В.І. 108  
Мєлкадзе О.Ф. 108  
Мєльничєнко Павло Олєксійович 107  
Мєньє Ж. 24  
Мєсрап'ян Н.В. 108  
Мєндєлєєв Дмитро Іванович 16, 23, 24, 25, 23, 27  
Михайловський Болєслав Георгійович 337, 338  
Мілонєг Пєтро 335  
Мікєланджєло Буонаротті 335  
Мікєрін 32  
Мінін Кузьма Мініч 336  
Мірошнічєнко Сергій Валєрійович 91, 118  
Міхєлєс Вільгєльм 31, 55, 57  
Мокрицька Лідія Пєтрівна 107  
Монтрєйль П'єр дє 335



Моньє Жозеф 31, 36, 55, 56  
Монферран Анрі Луї Огюст Рикар де (Август Августович) 337  
Мордвінов Аркадій Григорович 338  
Муха А.г. 108  
Мчедлов-Петросян Отар Петрович 60, 61, 94, 100-104, 106-110, 112, 115,  
117, 118

Наконечний Анатолій Станіславович 108  
Наникошвілі Вахтанг Георгійович 108  
Наумовець Антон Григорович 79  
Нельсон Гораціо 336  
Немирович-Данченко Володимир Іванович 68  
Немкін Володимир Христианович 338  
Никитинський Андрій Володимирович 118  
Нікітін Микола Васильович 42  
Ніколаєв А.П. 108  
Ногаїделі Зураб Теймуразович 68  
Ньютон Ісаак 16, 18, 19, 63, 65, 78, 135, 146, 147

Обама Барак 67  
Ольгінський Олександр Георгійович 94, 108, 109  
Ольховий Лют Григорійович 108  
Орехов В.М. 339  
Отіс Еліша Грейвс 31

Павлова (Трикоз) Людмила Вікторівна 118  
Палладін Олександр Володимирович 88  
Панченко А. 354  
Папкова Людмила Петрівна 107  
Паркер Джеймс 31, 53  
Парлержи Вацлав 335  
Парлержи Петр 335  
Парлержи Ян 335  
Пастернак Борис Леонідович 68  
Патон Борис Євгенович 78, 82, 83, 88  
Патон Євген Оскарович 87, 88  
Паулік І. 261  
Паулік Ф. 261  
Петі Володимир Миколайович 338  
Петров Микола Іванович 83  
Петров О.А. 108  
Писаржевський Лев Володимирович 87, 88  
Питерський А.М. 108  
Піано Ренцо 339  
Піфагор Самоський 13

Платон 13, 63  
Плугін Андрій Аркадійович 6, 91, 100, 108, 109  
Плугін Аркадій Миколайович 94, 95, 100, 102, 108, 109, 112, 116, 118  
Плугін Дмитро Артурович 118  
Плугін Олексій Андрійович 7, 65  
Подвигін Анатолій Іванович 108  
Подоба Алла Вікторівна 108  
Подтележнікова Інна Володимирівна 118  
Пожарський Дмитро Михайлович 336  
Померанцев Олександр Никанорович 337  
Помпиду Жорж 339  
Постник Яковлєв 335  
Потебня Олександр Афанасійович 87  
Походенко Віталій Дмитрович 79  
Проскура Георгій Федорович 88  
  
Раві Ж. 335  
Растреллі Бартоломео Франческо (Варфоломій Варфоломійович) 336  
Рафаель Санті 335  
Ребіндер Петро Олександрович 31, 57, 58, 59, 76, 106, 110, 135, 146, 149, 359  
Реблінг Джон Август 35, 48  
Резерфорд Ернест 63, 65  
Реймс Гоше де 335  
Рейт Б. 335  
Рен Кристофер 336  
Ржепишевський Олександр Іванович 337  
Рифман Л.Б. 108  
Рихман Георг Вільгельм 21  
Роджерс Річард 339  
Романовський Всеволод Іванович 292  
Россі Карл Іванович 336  
Рузвельт Теодор 67  
Рузвельт Франклін Делано 67  
  
Савєнков В.В. 108  
Салоп Григорій Аркадійович 107  
Сапожнікова Н.І. 108  
Свідерек Кшиштоф 108  
Селіванов Ігор Іванович 108  
Сельник А.М. 108  
Сен-Венан Б. 146, 147  
Серафимов Сергій Савич 338  
Серіков Я.А. 108  
Сиборг Гленн Теодор 26, 27

Сиденко Володимир Михайлович 8  
Сидорович Ярослав Йосипович 108  
Синельников Кирило Дмитрович 88  
Сиренко П.А. 107  
Ситник Л.В. 108  
Сівцов Олексій Павлович 108  
Скорик Олексій Олексійович 91  
Скоропадський Павло Петрович 81  
Скрамтаєв Борис Григорович 59, 61  
Смаль-Стоцький Степан Йосипович 83  
Смітон Джон 16, 31, 53  
Сміт Е. 43  
Сократ 13  
Соселія Д.Т. 108  
Софронів Вадим Сергійович 94, 106, 107, 109, 114, 115, 116  
Спартак 38  
Спирін Юрій Олександрович 108  
Станішев С.Д. 68  
Старосельський Олександр Олександрович 94, 102, 107, 109, 110, 112  
Степаненко Михайло Григорович 108  
Стражеско Микола Дмитрович 88  
Строядинович Ілля 35  
Стюдент (Госсет Уільям Силі) 290  
Суассон Бернар де 335  
Таленті Франческо 335  
Тарановський Федір Васильович 83  
Теймурова С.Х. 108  
Теленик Сергій Сергійович 108  
Телфорд Томас 35  
Тимирязєв Клімент Аркадійович 26  
Тимошенко Степан Прокопович 83  
Тихменєв М. 336  
Токарєв Михайло Сергійович 108  
Томлін Федір Григорович 100  
Томсон Уільям (лорд Кельвін) 63  
Тон Костянтин Андрійович 337  
Тревитик Річард 16  
Трикоз (Павлова) Людмила Вікторівна 118  
Туган-Барановський Михайло Іванович 83  
Тургенєв Іван Сергійович 68  
Тутковський Павло Аполонович 83  
Тютчев Федір Іванович 68

Уатт Джеймс 16  
Угінчус Дмитро Олександрович 94, 106, 107, 109  
Улітіна Галина Олексіївна 108  
Ушеров-Маршак Олександр Володимирович 94, 106, 107, 109  
Фабрицій Луцій 34, 44  
Фаталієв С.А. 108  
Федоров Іван 15  
Федоров Михайло Михайлович 87  
Фельгер Марк Давидович 338  
Фельтен Юрій Матвійович 336  
Фесік Степан Прокопович 100  
Філатов Володимир Петрович 88  
Філатов Лев Григорович 107, 109  
Філдс Джон Чарлз 68  
Філокл 334  
Фіораванті Аристотель 335  
Фішер Рональд Ейлмер 293, 322  
фон Кнобельсдорф Г.В. 336  
фон Треттер Вільгельм 35  
Франко Іван 67  
Францевич Іван Микитович 88  
Фрейсіне Ежен 57  
Фрост Джеймс 53  
Фултон Роберт 16  
Фуркруа А. 24  
Харченко Ігор Якович 354  
Хеміун 62  
Хеопс 28, 32, 33  
Хефрен 62  
Хобан Джеймс 336  
Холодний Микола Григорович 88  
Холодний Олексій Григорович 108  
Христианович В.А. 35  
Цвингер Є.Ф. 335  
Ціак Марек Ян 86, 109  
Чаксте Яніс 68  
Челієв Єгор Герасимович 16, 54  
Чехов Антон Павлович 68  
Чернявський В'ячеслав Леонідович 94, 107, 109  
Чунь Лі 34

Шальгрен Жан Фрасуа 334  
Шварц Бертольд 15  
Шведов Федір Никифорович 150  
Шевченко Людмила Петрівна 107  
Шевченко Тарас Григорович 68, 69, 87  
Шеїн Володимир Іванович 108  
Шель Жан де 335  
Шель П. де 335  
Шервуд Леонід Володимирович 337  
Шиккард Вільгельм 15  
Шинкель Карл Фридрих 335  
Шифрін В.Б. 107  
Шматкова Р.І. 108  
Шпак Анатолій Петрович 79  
Шраменко Володимир Павлович 91  
Штайндль Імре 337  
Штраус Джозеф 36, 49  
Шувалов Іван Іванович 22  
Шумік Данило Володимирович 118  
Шухов Володимир Григорович 262, 337  
Щоткіна Т.І. 108  
Щукін Євген Дмитрович 146, 149  
Юдін Георгій Іванович 100, 102  
Ямасакі Мінору 43  
Янк Кристиан 337  
Ярославський Петро Антонович 336  
Arnold M. 352  
Aspdin Joseph 55  
Bellmann F. 351, 353, 357  
Einstein Albert 27  
Erdei 261  
Fisher Hans-Bertram 351, 354  
Freyssinet Eugène 57  
Galilei Galileo 17  
Gehrke M. 355  
Higs 16  
Krelaus R. 355  
Lavoisier Antoine-Laurent de 23  
Le Chatelier Henry Louis 55  
Lee C.Y. 43  
Mallart 35, 47

Michaelis 55  
Middendorf B. 355  
Möser B. 351, 353, 357, 358  
Müller M. 351  
Newton Isaac 18  
Paulik 261  
Rößler C. 351, 353, 355  
Shmidt M. 355  
Stark Jochen 351, 353, 354, 357  
Trettin R. 251, 352, 356  
Vitruvius Marcus Pollio 52  
Vicat Louis-Joseph 55  
Wayss Gustav Adolf 55

Таблиця 2.2

Основні дати і події розвитку будівельної науки, будівельних матеріалів, конструкцій, будівель та споруд, а також будівельної техніки

Історичний період		Розвиток будівельної науки	Розвиток будівельних матеріалів	Розвиток будівельних конструкцій, будівель та споруд, будівельної техніки	Архітектурні стилі
1	2	3	4	5	6
10÷3 тис. р. до н.е.	Неоліт	Примітивні спостереження і досвід	<i>Неолітична революція</i> – застосування або створення перших будівельних матеріалів. Природні матеріали: необроблений камінь, деревина, ґрунт. Цегла-сирець; глино-гравійний бетон; природний бітум, розчин і бетон на його основі; кераміка – посуд (Міжріччя, 10÷5 тис. р. до н.е.). Керамічна цегла; гіпс (Єгипет, 5 тис. р. до н.е.). Скло – прикраси, посуд (Месопотамія, Єгипет, 5÷3 тис.р. до н.е.)	<i>Неолітична революція</i> – створення перших будівельних конструкцій та будівель: - кладка із необробленого каменю, цегли-сирцю без зв'язування розчином; - глинобитні стіни; - балкові перекриття із деревини. Конструкції (крім дерев'яних балок) працюють тільки на стиск	Вавілоно-асирійський; давньо-египетський
3 тис.р. до н.е. ÷ 476 р. н.е.	Давній світ	<i>Виникнення будівельної науки</i> – емпіричний досвід: XXVII ст. до н.е.– Імхотеп збудував першу піраміду, вперше застосував колону; 10÷15 рр.н.е.– Вітрувій створив «Десять книг про архітектуру» – найстарішу відому наукову працю про архітектуру, будівництво та будівельні матеріали	<i>Перша технічна революція</i> Вапно (о.Крит, Греція, декілька тис.р.до н.е.). Гідралічні добавки до вапна – товчені керамічні черепки, вулканічні породи (Греція – санторинська земля з о. Тера, суч.– Санторин, Рим – пуцолана зі схилів Везувію поблизу м. Путоол, суч.– Поцуолі, бл.500 р.до н.е.). Бетон на основі вапна і пуцолани разом з каменем і цеглою – основний матеріал для капітального будівництва, окремі випадки застосування металевої арматури (Рим, IV ст. до н.е. ÷ IV ст. н.е.)	<i>Перша технічна революція</i> Кладка із обробленого каменю, у т.ч. на розчині (Рим). Кам'яні колонади, перекриті трьох-ярусним кам'яним антаблементом – архітравом, фризом та карнизом (Давня Греція, Римська імперія). Арки, склепіння, куполи із кам'яної кладки, бетону (Римська імперія). Мости: дерев'яні балки або склепіння на кам'яних опорах; кам'яні склепіння. Конструкції (крім дерев'яних балок) працюють тільки на стиск. Вантажопідйомні механізми дерев'яні з ручним приводом	Давньо-египетський; давньогрецький (VII÷IV ст. до н.е.); еліністичний (IV÷I ст.до н.е.); давньоримський (IV ст.до н.е.÷ V ст.н.е)

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
V÷X ст.	Раннє середньовіччя	Занепад науки	Повільний розвиток: природний камінь, цегла, вапняні розчини низької якості	Повільний розвиток: арки (рис. Б.3); куполи на барабанах, звітрилені куполи (рис. Б.4), циліндричні, циліндричні з розпалубленням, хрестові склепіння (рис. Б.5), що спираються на масивні стіни, які сприймають розпір, вузькі прорізи. Мости: дерев'яні балки або склепіння на кам'яних опорах; кам'яні склепіння. Конструкції (крім дерев'яних балок) працюють тільки на стиск. Арки, куполи, склепіння зводять по кружалах. Вантажопідйомні механізми дерев'яні з ручним приводом	Візантійський (IV÷XV ст.); романський (IX÷XIII ст.); мавританський (X÷XIV ст.); древньоруський (XI÷XVI ст.); готика (XII÷XV ст.)
X÷XIII ст.	Високе середньовіччя	Емпіричний досвід	Прискорення розвитку: - XI – на Русі у вапняні розчини як гідравлічну добавку додають цем'янку – товчену цеглу, як органічну добавку – яєчні білки (прообраз сучасного полімерцементного розчину); - XIII – віконне скло (Венеція); - XIV ст. – покращення якості вапняних розчинів у Європі; - в Індії у вапняний розчин додають «суркхи» – товчену цеглу	Прискорення розвитку: по мірі підвищення якості будівельних розчинів (з XI÷XIV ст.): будови з кам'яним каркасом: нервюрні (стрілчасті) склепіння (рис. Б.5, з), що спираються на внутрішні колони та тонкі зовнішні стіни, розпір сприймається контрфорсами, аркбутанами (піварками). Широки прорізи зі стрілчастими арками, вітражами. Мости: дерев'яні балки або склепіння на кам'яних опорах; кам'яні склепіння. Конструкції (крім дерев'яних балок) працюють тільки на стиск. Стрілчасті арки, склепіння зводять без кружал. Вантажопідйомні механізми дерев'яні з ручним приводом	
XIV÷XVII ст.	Відродження			Продовження прискорення розвитку, проте нові типи конструкцій, будівель, споруд не створюються, будівлі удосконалюються переважно з естетичної або функціональної точки зору	Ренесанс (XV÷XVI ст.)



## Закінчення таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
1640÷ 1918 рр.	Новий час	<p><i>Наукові революції нового часу</i> 1770÷80-ті рр.– А.Лавуазьє досліджує гіпс; 1867 – В.Міхаеліс розробляє колоїдно-хімічну теорію твердіння цементу; 1883 – А.Ле Шательє розробляє кристалохімічну теорію твердіння цементу; 1895 – І.Г. Малюга встановлює закон водоцементного відношення</p>	<p><i>Промислова революція:</i> відновлення застосування гідравлічних добавок у Європі (XVII ст.); гідравлічне вапно (1756, Дж. Смітон, В. Британія); романцемент (1796, Дж. Паркер, В.Британія); портландцемент (1824, Дж. Аспдін, В.Британія); залізобетон (1832, М.Брюнель, В. Британія; 1867, Ж.Моньє, Франція); силікатні бетони і цегла (1880, В. Міхаеліс, Німеччина). Чавун, лите та зварне залізо, сталь</p>	<p><i>Промислова революція:</i> Металеві та залізобетонні конструкції: висячі мости на сталевих ланцюгах і канатах (з 1741); металеві мости (з 1779); висячий міст прогоном 176 м (1826); металева вежа висотою 300,7 м (Ейфелева, 1889); металевий арковий міст прогоном 521 м (Forth Bridge, 1890). Зростання гідротехнічного будівництва, гідротехнічні споруди із водостійкого бетону на гідравлічних в'язучих; підводний тунель під Темзою (1842, М. Брюнель, Лондон). Прохідницький щит (1825, М.Брюнель, В. Британія); металеві підйомні крани з механічним приводом (1830-ті); ківшовий екскаватор (1832÷36, Е.Г.Отіс, США); електрозварювання (1881, М.М.Бенардос, Росія)</p>	<p>Бароко (XVI÷XVIII ст.); рококо (XVIII ст.); класицизм (XVII÷поч. XIX ст.); ампір (поч. XIX ст.); еkleктика (XIX÷поч. XX ст.); модерн (кін.XIX÷поч. XX ст.)</p>
3 1918 р.	Новіший час	<p><i>Науково-технічна революція</i> 1923 р. – О.О. Байков розробляє «третю» теорію твердіння цементу; 1952 р. – П.О.Рєбіндер розробляє сучасну теорію твердіння цементу; створюються теоретичні основи нових матеріалів, конструкцій, технологій, які дозволяють в рекордні строки будувати надвисокі будівлі, наддовгі мости і тунелі і т.п.</p>	<p><i>Науково-технічна революція</i> Хімічні добавки в бетони (з 1932) Підвищення міцності і водонепроникності бетону Бетон з високими експлуатаційними якостями – міцністю, водонепроникністю за рахунок хімічних добавок (з 1990-х). Високоміцні марки сталі</p>	<p><i>Науково-технічна революція:</i> Металеві конструкції, у т. ч. з несучими канатами, залізобетонні конструкції, у т. ч. попередньо напружені: хмарочос зі сталевими несучими конструкціями висотою 448,7 м (Empire State Building, 1931); висячий міст прогоном 1280 м (Golden Gate Bridge, 1937); висячий міст прогоном 1991 м (Акасі Кайкьо, 1991); хмарочос із попередньо напруженого залізобетону висотою 818,9 м (Бурдж Дубай, 2009). Конструкції із водонепроникних бетонів: підводний тунель довжиною 53,85 км (Сейкан, Японія, 1988); гірський тунель довжиною 57 км (Готардський базовий, що будується з 1993, заплановане завершення – 2016÷17)</p>	<p>Модернізм і постмодернізм XX ст.: конструктивізм, ар-деко, хай-тек і т.п.</p>

## Додаток Б

### Найвідоміші архітектурні стилі

Таблиця Б.1

Архітектурні стилі	Період будівництва	Країни	Характерні особливості	Видатні пам'ятники
1	2	3	4	5
<b>Архітектура античності (VII ст. до н.е. ÷ V ст. н.е.)</b>				
Давньогрецький	VII ÷ IV ст. до н.е.	Греція	Колони з класичними ордерами (рис. Б.1): доричним, іонічним, коринфським; колонади з антаблементом. Декор – скульптура, орнаментальні мотиви (меандр, рис. Б.2 і т.п.)	Парфенон (Афіни; 447÷438 рр. до н.е.; арх. Іктин, Каллікрат); Ерехтейон (Афіни; 421÷406 рр. до н.е.; арх. Філокл)
Еліністичний	IV ÷ I ст. до н.е.	Греція, Середземномор'я, Бл. Схід	Колони з класичними ордерами. Колонади з антаблементом. Вплив архітектури Сходу. Декор – скульптура, орнаментальні мотиви (рис. Б.2)	Усипальня царя Мавзола (Мавзолей) у м. Галікарнас (Туреччина, 353 р. до н.е.); Скельний некрополь у м. Петра (Йорданія, III ÷ IV ст. до н.е.)
Давньоримський	IV ст. до н.е. ÷ V ст. н.е.	Римська імперія (Італія, Європа)	Колони з класичними ордерами, колонади з антаблементом; арки, аркади (рис. Б.3); куполи (рис. Б.4), що спираються на масивні стіни. Декорскульптура, орнаментальні мотиви (завиток, рис. Б.2 і т.п.)	Акведук Пон-дю-Гар (м. Нім, Франція, 19 р. до н.е.); Колізей (Рим; 70÷80 рр., арх. Гавденцій); міст Траяна (Дунай; 103÷105; арх. Аполодор Дамаський); Пантеон (Рим; бл. 125 р.; арх. Аполодор Дамаський); Арка Костянтина (Рим, 312÷315 рр.)
<b>Середньовічна архітектура IV ÷ XV ст.</b>				
Візантійський	IV ÷ XV ст.	Візантія	Куполи на барабанах, що спираються на вітрила (рис. Б.4), арки (рис. Б.3), апсиди з півкуполами	Софійський собор у Костянтинополі (Стамбул, 532÷537, арх. Ісідор Мілетський, Анфімій Тралеський); Собор Сан-Марко (Венеція, 1063÷1094)
Романський	IX ÷ XIII ст.	Європа	Циліндричні, циліндричні з розпалубленням, хрестові склепіння (рис. Б.5), що спираються на масивні стіни, які сприймають розпір; вузькі прорізи	Пізанський собор (Піза, Італія, 1063÷1118, арх. Бускетто ди Джованні Джудиче); Пізанська вежа (Піза, Італія, 1173÷1360); Бамбергський собор (м. Бамбург, Німеччина, 1004÷12); Лімбургський собор (м. Лімбург, Німеччина, 1235)

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5
Мавританський	X÷XIV ст.	Іспанія	Стрільчаті підковоподібні арки (рис. Б.3), ісламський декор	Палац Альгамбра (м. Гранада, Іспанія, 1239÷1358)
Давньоруський	XI÷XVI ст.	Русь	Розвиток візантійських форм; циліндричні з розпалубленням склепіння (рис. Б.4, б); куполи з барабанами (рис. Б.3, в), що спираються на стовпи	Софійський собор (Київ, 1017÷1032); Софійський собор (Новгород, 1045÷50); Храм Параскеви П'ятниці (Чернігів, XII÷XIII ст., арх. Петро Мілонег); Стіни та вежі Московського Кремля (XV÷XVII ст.); Успенський собор Кремля (Москва, 1475÷1479, арх. Аристотель Фіораванті); Храм Василя Блаженного (Москва, 1555÷60, арх. Барма, Постник Яковлев)
Готика	XII÷XV ст.	Європа	Будови з кам'яним каркасом: нервюрні (стрільчаті) склепіння (рис.Б.4, з), що спираються на внутрішні колони та тонкі зовнішні стіни, розпір сприймається контрфорсами, аркбутанами (піварками). Широкі прорізи зі стрільчатими арками, вітражами. Шпилі, вежі, бартизани, пінаклі.	Собор Паризької Богоматері (Париж, 1163÷1196, арх. Жан де Шель, П'єр де Монтрейль, П. де Шель, Ж. Раві); Реймський собор (м. Реймс, Франція, 1211÷1481, арх. Жан д'Омбре, Жан-ле-Лу, Гоше де Реймс, Бернар де Суассон); Кельнський собор (Кельн, Німеччина, 1248÷1450, 1812÷80, К.Ф. Шинкель, Є.Ф. Цвингер); Палац дожей (Венеція, Італія, XIV÷XVI ст.); Собор Св. Вітта (Прага, 1344÷1929, арх. Мат'єє із Аррасу, Петр, Вацлав і Ян Парлержи, Б. Рейт, Б. Вольмут); Міланський собор (Мілан, Італія, 1386÷1906, арх. Марко ди Кампіоне)
<b>Архітектура XV÷XIX ст.</b>				
Ренесанс	XV÷XVI ст.	Італія, Європа	Повернення до античних форм, симетрії, пропорцій. Декоративні півколони, пілястри, декор. Національні та місцеві риси	Собор Санта-Марія дель Фьоре (Флоренція, Італія, 1296÷1446 арх.Франческо Таленті); Собор Св.Петра (Ватикан, 1452÷1506, арх.Д.Браманте, Рафаель, Мікеланджело); Замок Шамбор (Франція, 1519÷53); Лувр, Західне крило (Париж, 1546÷1594, арх.П'єр Леско)

## Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5
Бароко	XVI÷ XVIII ст.	Італія, Європа, Україна, Росія	Античні форми, декоративні півколони, пілястри, багатий декор. Національні риси	Версаль (Франція, 1661÷90-ті рр., арх. Луї Лево, Ж. Ардуен-Мансар, Андре Ленотр, Шарль Лебрен); Петергофський палац (Росія, 1714÷54, арх. Ж.Б. Леблон, Б.-Ф. Растреллі, Ю.М.Фельтен); Зимовий палац (С.-Петербург; 1754÷62; арх. Б.-Ф. Растреллі). У м. Харкові: Покровський собор (1689); Успенський собор (1771÷1780)
Рококо	XVIII ст.	Європа	Пізня фаза бароко, перенасичена декором з міфологічними сюжетами	Палац Сан-Сусі (Потсдам, Німеччина, 1745÷1747, Г.В. фон Кнобельсдорф)
Класицизм	XVII÷ поч.XIX ст.	Європа, Російська імперія	Античні (класичні) форми, симетрія, пропорції, мінімальний декор	Собор Св. Павла (Лондон, 1675÷1710, арх. Кристофер Рен); Собор Інвалідів (Париж, 1679÷1706); Палац Хофбург (Відень, XIII÷XIX ст.); Резиденція генерал-губернатора (Мерія Москви, 1782, арх. М.Ф.Казаков); Будинок Пашкова (Москва, 1784÷86, арх. В.І.Баженов); Білий дім (Вашингтон, 1792÷1800, арх. Джеймс Хобан); Михайлівський замок (С.-Петербург, 1797÷ 1800, арх. В.І.Баженов); Головний штаб (С.-Петербург, 1819÷29, арх. К.І. Россі). У м. Харкові: Губернаторський дім (гол. корпус УПА, 1766, арх. М.Тихменєв, П.А. Ярославський)
Ампір	Поч. XIX ст.	Європа, Російська імперія	Пізня монументальна фаза класицизму; декор з військовою, державною символікою	Тріумфальна арка (Париж, 1806÷36, арх. Ж.Ф.Шальгрєн); Колона Нельсона (Лондон); Адміралтейство, Казанський собор (С.-Петербург, 1801÷11, арх. А.Н. Вороніхін); пам'ятник Мініну та Пожарському (Москва). У м. Харкові: Олександрівська дзвіниця Успенського собору (1821÷1844, арх. Є.О.Васильєв)

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5
<b>Архітектура рубежу XIX÷XX ст: еkleктика («історизм» – нео- та псевдостилі) та модерн</b>				
Неоготика (псевдоготика)	XVIII÷ XIX ст.	Європа, Російська імперія	Готичні форми	Вестмінстер-хол (британський парламент, Лондон, 1837, арх.Ч.Барри); Замок Ношванштайн (Німеччина, 1869÷86, арх.Кристиан Янк); Угорський парламент (Будапешт, 1884÷ 1902, арх.Імре Штайндль); Тауерський міст (Лондон, 1886÷94, інж.Гораце Джонс); Ластівчине Гніздо (Крим, 1911÷12, арх.Л.В.Шервуд). У м.Харкові: Римсько-католицький костел Діви Марії (вул.Гоголя 8, 1891, арх. Б.Г.Михайловський)
Неокласицизм	XVIII÷ XIX ст.	Європа, Російська імперія, США	Класичні форми	У м.Вашингтоні, США: Капітолій (1793÷1863). У м.С.-Петербурзі: Ісакіївський собор (1818÷58; арх.А.Монферран). У м.Харкові: 1-ша залізнична клінічна лікарня на пл.Фейєрбаха, 4 (1904, арх.О.І.Ржепишевський); Прибутковий будинок страхового товариства «Саламандра» по вул.Сумській 17 (1913, арх.М.М.Верьовкін)
Неомавританський	XIX ст.	Європа, Російська імперія	Форми мавританського стилю	Воронцовський палац (Крим, 1830÷48, арх.Олександр Блор)
Вікторіанський	XIX ст.	Британська імперія	Переважно готичні форми	Манчестерська ратуша; Університет Глазго
Псевдоруський	XIX÷ поч.XX ст.	Російська імперія	Форми давньоруської архітектури	У м.Москві: Великий Кремлівський палац (1838÷49, арх.К.А.Тон); Храм Христа Спасителя (збуд.1839÷83, зруйнов.1931, відновл.1994÷97, арх.К.А.Тон); Верхні торговельні ряди – ДУМ (Державний універмаг, 1890÷ 93, арх.О.Н.Померанцев, інж.В.Г.Шухов). У м.Харкові: Трьохсвятительська (Гольдберівська) церква (1907÷15, арх.М.І.Ловцов)

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5
Неоренесанс	Кін. XIX÷ поч. XX ст.	Європа, Російська імперія	Форми ренесансу	У м. Києві: будівля Нацбанку. У м. Харкові: житловий будинок по вул.Сумській 2 (кін. XIX ст., арх. Б.Г. Михайловський); будівля Харківського відділення НБУ на пл. Театральній (1901, арх. Голенищев, 1932, надбудова арх. О.М. Бекетова, В.М. Петі)
Неовізантійський	1880÷ 1910-ті рр.	Російська імперія	Форми візантійської архітектури	У м. Кронштадті: Морський Нікольський собор (1903÷ 13, арх. В.А. Косяков). У м. Харкові: Благовіщенський собор (1888÷1901, арх. М.І. Ловцов); Озерянська (Холодногірська) церква (1892÷1901, арх. В.Х. Немкін)
Модерн	1890÷ 1910-ті рр.	Європа, Російська імперія	Повна або часткова відмова від класичних пропорцій, симетрії – криволінійні форми, асиметрія у сполученні із застосуванням елементів еkleктики; застосування сучасних матеріалів – металу, скла	У м. Москві: Єлісеєвський магазин, Ярославський вокзал. У м. С.-Петербурзі: готель «Асторія». У м. Харкові: буд. по вул.Сумській, 6 (кін. XIX ст., арх. О.М. Гінзбург); буд. на пл. Р. Люксембург (тепер Бюро технічної інвентаризації, 1912, арх. Б.Н. Корнеєнко); Благовіщенський ринок (1914, арх. І.І. Загоскін)
<b>Модернізм і постмодернізм XX ст.</b>				
Конструктивізм	Поч. XX ст.	Росія, СРСР	Геометризм і монолітність, мінімальний декор; залізобетон, скло	У м. Харкові: Головоштамт (Привокзальна пл., 1920, арх. А.Г. Мордвінов); Держпром (пл. Свободи, 1925÷28, арх. С.С. Серафимов, С.М. Кравець, М.Д. Фельгер)
Ар-деко	Поч. XX ст.	Європа, США, СРСР	Сполучення форм модерну, конструктивізму і неокласицизму	У м. Нью-Йорку: Крайслер-білдинг. У м. Харкові: Палац культури залізничників (вул. Котлова, 83, 1932, арх. О.І. Дмитрієв); фонтан «Дзеркальний струмінь» (1952, арх. В.І. Корж); Південний вокзал (1952, арх. Г.І. Волошин, Б.С. Мезенцев, Є.Є. Лимар)

## Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5
Сталінський ампір	1930÷ 50-ті рр.	СРСР	Класичні форми, монументальність, декор з радянською символікою	У м. Москва: Головний корпус МДУ (Московського державного університету); багатоповерхові будинки – «сталінські висотки». У м. Києві: будівля Кабміну України; забудова вул. Хрещатика. У м. Харкові: будівля облдержадміністрації (колишнього обкому КПУ, 1951÷54, арх. В.М. Орехов, В.П. Костенко); житловий будинок зі шпилем на перехресті пл. Конституції і пл. Р. Люксембург (1954, арх. П.І. Арешкін); головний корпус УкрДАЗТ
Інтернаціональний	1930÷ 60-ті рр.	повсюдно	Відмова від національних особливостей, прямі лінії, гладкі поверхні, залізобетон, метал, скло	У м. Нью-Йорку: Будівля штаб-квартири ООН
Функціоналізм	XX ст.	повсюдно	Первинність функціональності і простоти побудови: стандартні секції, розташування будівель торцями до вулиць і т.п.	Сучасна масова міська забудова
Хай-тек	З 1970-х рр.	повсюдно	Підкреслене застосування сучасних матеріалів і технологій	У м. Парижі: Центр мистецтва і культури Жоржа Помпідю (1971÷77, арх. Ренцо Піано, Річард Роджерс)

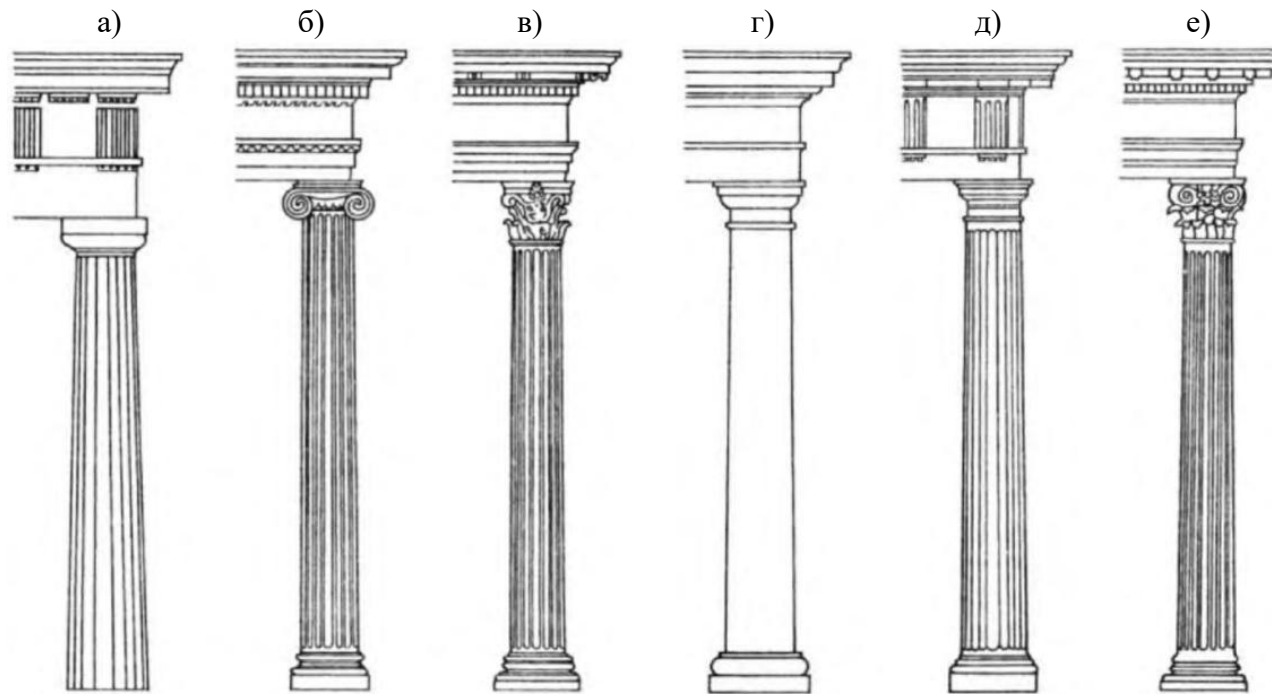


Рис. Б.1. Колони. Ордери: *a÷в* – класичні: *a* – доричний; *б* – іонічний; *в* – коринфський; *г÷е* – похідні: *г* – тосканський; *д* – римський доричний; *е* – композитний

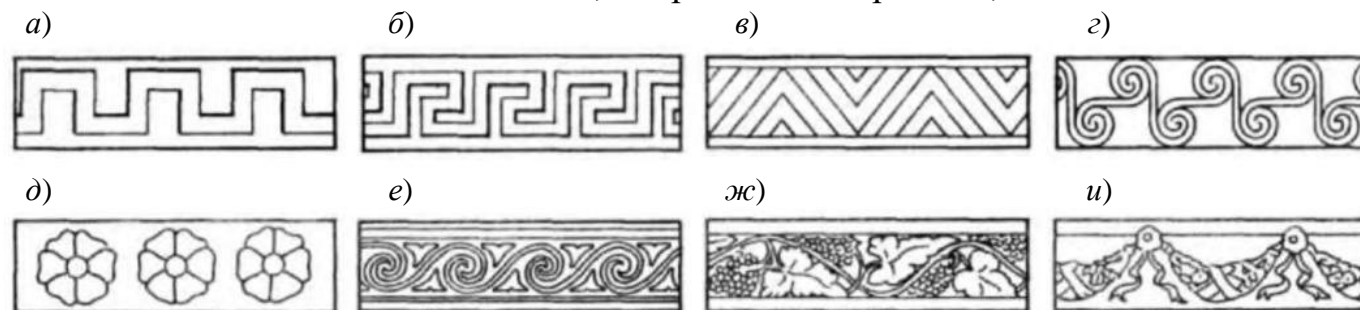


Рис. Б.2, Декор. Орнаментальні мотиви: *a* – прямокутний меандр; *б* – меандр; *в* – шеврон; *г* – спіральний завиток; *д* – розетка; *е* – завиток Вітрувія; *ж* – віньетка; *и* – гірлянда



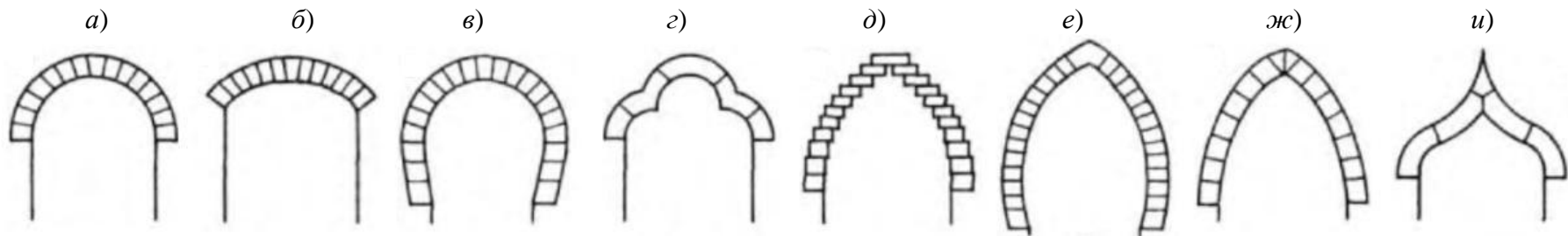


Рис. Б.3. Конструкції арок: *a÷z* – круглі: *a* – півкругла (півциркульна); *б* – сегментна (лучкова); *в* – підковоподібна; *z* – трилисником; *д÷u* – стрільчаті: *д* – східчаста; *е* – підковоподібна; *ж* – ланцетоподібна; *u* – кілеподібна

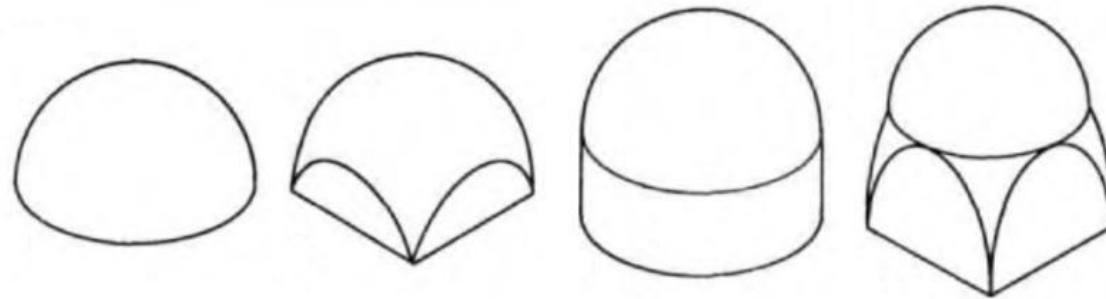


Рис. Б.4. Конструкції куполів: *a* – купол; *б* – вітрильний купол; *в* – купол на барабані; *z* – звітрилений купол

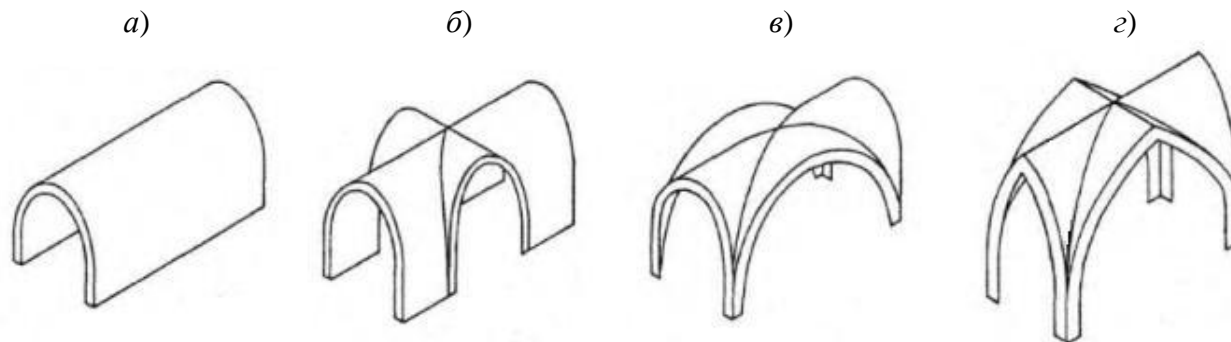


Рис. Б.5. Конструкції склепінь: *a* – циліндричне (коробове); *б* – циліндричне з розпалубленнями; *в* – хрестове; *z* – нервюрне (стрільчатє)

## Додаток В

### Характеристики деяких мінералів неорганічних в'язучих, цементного каменю, бетону

Таблиця В.1

Мінерал		Характеристики										В яких матеріалах міститься або в яких умовах утворюється
Назва	Формула	Густина, г/см <sup>3</sup>	Твердість	Оптичні: вісність, оптичний знак, двозаломлення; світлозаломлення	Вигляд у світловому або електронному мікроскопі	РФА: дифракційні максимуми d, Å (I)	ІЧС: смуги поглинання, см <sup>-1</sup>	ДТА: температура ендоефектів (-) та екзо-ефектів (+), °С	Термодинамічні: -ΔG <sub>0</sub> <sup>298</sup> , ккал/моль	Електроповерхневий потенціал, В		
										ψ <sup>0</sup>	ψ <sub>p</sub> <sup>pH</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вільне вапно	CaO			n=1,833	Безкольорові сильно агреговані округлі зерна. Репліки – поверхні з фігурами спірального зростання	2,76(40) 2,39(100) 1,69(63) 1,445(20) 1,382(20) 1,071(25)			144,4	1,38	0,67	Негашене вапно
Гіпс-півгідрат	β-CaSO <sub>4</sub> ·0,5H <sub>2</sub> O	2,75		Двовісний, позитивний, двозаломлення низьке; n <sub>0</sub> =1,556÷1,586; n <sub>e</sub> =1,55÷1,558	Безкольорові волокнисті скупчення; гексагональні призматичні або голчасті кристали з шовковистим блиском	5,98дс 3,45с 2,78ддс 2,12с 1,84дс	1008; 655; 600	(-)170÷180 (+)320	343,18			Будівельний гіпс
Гіпс	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2,32	2	Двовісний, позитивний, двозаломлення низьке; n <sub>g</sub> =1,5274; n <sub>m</sub> =1,5188; n <sub>p</sub> =1,5184	Безкольорові табличаті або призматичні, витягнуті до голчастих кристали зі скошеними кінцями (рис. В.1, В.2)	7,56дс 4,27с 3,059с 2,679срс 1,778срс		(-)120÷130 (-)160÷170 (+)325	429,6			Штучний гіпсовий камінь, природний гіпс

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Аліт C3S	$3CaO \cdot SiO_2$	3,12÷ 3,25	5÷6	Одновісний, негативний, двозаломлення низьке, $n_0=1,722\div 1,7238$ ; $n_e=1,7158\div 1,7197$	Безкольорові гексагональні таблички, поліедри, дендрити. Репліки – чисті «дзеркальні» поверхні або поверхні, розділені на блоки розміром 0,2÷0,3 мкм	3,034ср 2,7761дс 2,744срс 2,608с 2,606с		(-)920÷925 (-)980÷990 (-)990÷1000	665,47	0,74	0,03	Мінерал портландцементного клинкера
Беліт $\beta$ -C <sub>2</sub> S (ларніт)	$\beta$ -2CaO·SiO <sub>2</sub>	3,20÷ ÷3,28	5÷6	Двовісний, позитивний, двозаломлення середнє; $n_g=1,730\div 1,735$ ; $n_m=1,715$ ; $n_p=1,707\div 1,717$	Округлі безкольорові або жовтуваті щільні зерна невизначеної та округлої форми; дендрити. Репліки – поверхні, розділені на блоки 0,3÷0,5 мкм, на поверхні паралельні та схрещені лінії	2,794срс 2,785дс 2,748с 2,609с 2,189с	500; 520с; 540; 845дс; 870; 890дс; 920; 1000с; 1170дел	–	524,19	0,55	-0,16	Мінерал портландцементного клинкера
Трихкаль- цієвий алюмінат C <sub>3</sub> A	$3CaO \cdot Al_2O_3$	3,00÷ ÷3,04	6	$n=1,710$	Безкольорові ізометричні зерна невизначеної форми, призми. Репліки – поверхні чисті або зі сходинками	4,080срс 2,787срс 2,700ддс 1,908с 1,558с 1,349срс	1060 050с; 1020ср; 970с; 560ср; 470сл; 420с	–	808,4	0,90	0,20	Мінерал портландцементного клинкера
Чотирикаль- цієвий алюмо- ферит C <sub>4</sub> AF (браунміле- рит)	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	3,73÷ ÷3,77		Двовісний, позитивний, двозаломлення високе; $n_g=2,04$ ; $n_m=2,01$ ; $n_p=1,96$	Жовтувато-бурі призми або зерна невизначеної форми. Репліки – поверхні чисті та зі слабо вираженими сходинка- ми, можуть бути фігури спірального зростання	7,30(40) 2,77(30) 2,67(50) 2,63(100) 1,92(40)	410с; 530сл; 610ср; 650с; 720дс; 780дел ; 810с	–	1144	0,66	-0,05	Мінерал портландцементного клинкера

## Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Портландит	$Ca(OH)_2$	2,23	2	Одновісний, негативний, двозаломлення середнє; $n_0=1,574$ ; $n_e=1,545$	Гексагональні або округлі пластинки; призми; сфероліти; ланцюжки із округлих пластинок; волокнуваті каркаси; тонкі плиткі з двома паралельними ребрами, поцяткованими внутрішніми штрихами або тріщинами, паралельними цим ребрам; масивні кристали. Репліки: поверхні гладкі або з надтонкими паралельно упакованими пластинками з ромбічним, рідше – гексагональним краєм сходинок (рис.В.3÷В.5, В.7, В.8)	4,93(50) 3,11(25) 2,63(10) 0) 1,93(50) 1,79(40) 1,69(30)		(-)585	214,39	1,24	0,53	Вапно, затверділий вапняний розчин, вапняно-кремнеземистий та портландцементний камінь
Гідросилікатний гель, CSH-гель	$(1,39\div 1,73)CaO \times \times SiO_2(1,5\div 2)H_2O$	2,86	–	–	Сигароподібні, сітчасті, округлі, голчасті частки; щільні утворення із тонких листів; округлі маси з виступаючими голками; кулеподібні частки, складені із надтонких пластинчато-волокнистих переплетень; упорядковані голчасті проростання; дендритні форми із голчастих часток (рис.В.6÷В.11)	3,05сл 2,78сл 1,82сл		(-)120			–0,37	Утворюються в цементному камені природного твердіння

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Низько-основні гідросилікати кальцію <i>CSH(I)</i> , <i>CSH(B)</i>	$(0,8\div 1,5)CaO \cdot SiO_2 \times (0,5\div 2,5)H_2O$	2,00÷ ÷2,46		$n=1,494\div 1,58$	Тонкі пластинки, викривлені або закручені в трубки пластинки; листочки, викривлені або згорнуті у довгі товсті волокна листочки; волокнисті та ниткоподібні агрегати; пластівці з повстеподібною текстурою; диски; лусочки; волокна, волокнисті агрегати; голки	12,5(100) 3,07(100) 2,80(20) 1,83(25)	3330; 1670; 1490; 1000	(+)830÷860			-0,37	Утворюються в цементному камені природного твердіння
Високо-основні гідросилікати кальцію <i>C<sub>2</sub>SH(II)</i> , <i>CSH(II)</i>	$(1,5\div 2)CaO \cdot SiO_2 \times (1,5\div 2)H_2O$	2,56		$n=1,53\div 1,54$	Волокна, пучки крупних волокон, щільні агрегати тонких волокон; довгі прямі голки та стержні; дендритоподібні структури із голок; тонкі пластинки, розщеплені на смужки; тонкокристалічні щільні утворення	9,80(9) 3,07(10) 2,85(5) 2,80(9) 2,40(4) 2,00(6) 1,83(9)		(-)120÷150 (-)600÷700			-0,11	Утворюються в пропареному цементному камені та автоклавованих вапняно-кремнеземистих сумішах
$\alpha$ -гідрат двокальцієвого силікату <i>C<sub>2</sub>SH(A)</i>	$2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$	2,80		Двовісний, позитивний, двозаломлення середнє; $n_g=1,633$ ; $n_m=1,620$ ; $n_p=1,614$	Стовпчасті та пластинчаті кристали; непрозорі кристалічні фрагменти, призматичні пластинки	4,22дс 3,90с 3,54с 2,87с 2,80с 2,60с 2,41дс 1,788с	3532; 2844; 2580; 2450; 1278; 998; 981; 920; 863; 756; 746; 719; 709; 675; 513; 468; 424; 400; 386	(-)420÷440 (-)480 або (-)430÷480 (-)900			-0,11	Утворюється в автоклавованих цементному камені та вапняно-кремнеземистих сумішах

## Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Гілебран- дит	$2CaO \cdot SiO_2 \cdot 1,17H_2O$	2,69	5,5	Двовісний, негативний, двозаломлення низьке; $n_g=1,612$ ; $n_m=1,610$ ; $n_p=1,605$	Волокна, голки, волокнисті та ниткоподібні кристали; мітелкоподібні, пучкоподібні, веретеноподібні агрегати; сфероліти; радіальна волокниста маса	12,6(8) 4,77(6) 3,34(6) 3,01(6) 2,92(10)	3626; 3584; 1154; 1078; 1025; 990; 968; 934; 903; 840; 722; 646; 590; 540; 509; 468	(-)540÷600	592,9			Утворю- ється в автоклаво- ваному цементному камені. Зустріча- ється у природі
Ксонотліт	$5CaO \cdot 5SiO_2 \cdot H_2O$	2,67÷ ÷2,71	6,5	Двовісний, позитивний, двозаломлення низьке; $n_g=1,594$ ; $n_m=1,583$ ; $n_p=1,583$	Довгі, гнучкі, волокнисті, ниткоподібні кристали; довгі волокна; призми	7,05(5) 4,27(5) 3,65(7) 3,23(7) 3,07(10) 2,83(6) 2,71(5) 2,51(5) 2,04(9) 1,95(9) 1,84(5)	3607; 1198; 1137; 1078; 1000; 973; 927; 710; 671; 633; 609; 534; 493; 476; 456; 415	(-)775÷800	2259,4			Утворю- ється в автоклаво- ваних вапняно- кремнезе- мистих і цементно- кремнезе- мистих сумішах. Зустріча- ється у природі
Тоберморит	$4CaO \cdot 5SiO_2 \cdot 5H_2O$	2,42÷ ÷2,46	2,5÷4	Двовісний, позитивний, двозаломлен- ня низьке; $n_g=1,575$ ; $n_m=1,571$ ; $n_p=1,571$	Волокна; пучки крупних волокон; щільні агрегати тонких волокон; довгі прямі голки та стержні; дендритоподібні голчасті структури; тонкі пластинки, розщеплені на смужки; тонкокристалічні утворення щільної структури	11,0(60) 3,07(100) 2,97(40) 2,80(40) 1,83дс 1,67с	3365; 1635; 1206; 1173; 1140; 1075; 1027; 977; 930; 897; 747; 675; 633; 610; 524; 479; 450	(-)230÷240 (+)830÷850	2361,45			Утворю- ється в автоклаво- ваних вапняно- кремнезе- мистих сумішах, з часом перетво- рюється на ксонотліт. Зустріча- ється у природі

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Гіроліт	$2CaO \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$	2,34÷ ÷2,45	3÷4	Одновісний, негативний, двозаломлення середнє; $n_0=1,546$ ; $n_e=1,535$	Гексагональні пластинки і лусочки	9,6(6) 4,24(8) 3,36(10) 2,85(8) 1,884(8)		(-)140÷150 (-)700÷780 (+)820	1085,65			Утворюється в автоклаво-ваних вапняно-кремнеземистих і цементно-кремнеземистих сумішах. Зустрічається у природі
Алюмінат кальцію шестиводний $C_3AH_6$	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	2,52÷ ÷2,80		$n=1,604$	Кубічні та октаедричні кристали; ромбічні додекаедри; темні округлі частки (рис. В.12, В.14)	5,14с 2,82ср 2,30дс 2,23дс 2,04с 1,41ср	405ср 522с 805ср 3668дс	(-)330÷340 (-)500÷520	1198,4	0,92	0,22	Утворюється в цементному камені як продукт гідратації $C_3A$
Етрингіт	$3CaO \cdot Al_2O_3 \times 3CaSO_4 \times 31H_2O$	1,48÷ ÷1,79	2÷2,5	Одновісний, негативний, двозаломлення низьке; $n_0=1,464$ ; $n_e=1,458$	Гексагональні призми з різко окресленими кінцевими гранями; довгі та короткі голчасті кристали; голки; нитки; сфероліти (рис. В.13, В.14)	9,73ддс 5,61дс 4,69ср 3,88с 2,773ср 2,564с 2,209с	3400дс 3100дс 1600 1100 900	(-)100÷200	3577,52		0,19	Утворюється в цементному камені як продукт гідратації $C_3A$ в присутності $CaSO_4 \times 2H_2O$
Гідромоносульфоалюмінат кальцію	$3CaO \cdot Al_2O_3 \times CaSO_4 \cdot 12H_2O$	1,95		Одновісний, негативний; $n_0=1,504 \div 1,517$ ; $n_e=1,488 \div 1,499$	Призматичні та гексагональні пластинки; гексагональні таблички (рис.В.12)	8,92дс 4,46с 3,99с 2,87дс 2,45с 2,41ср 1,66ср	3400дс 2900 1800 1300с	(-)100 (-)150 (-)190÷220 (-)300÷320 (-)500 (+)800	1859,14			Утворюється в цементному камені як продукт гідратації $C_3A$ в присутності $CaSO_4 \times 2H_2O$

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Гідрохлор-алюмінат кальцію	$3CaO \cdot Al_2O_3 \times xCaCl_2 \cdot 10H_2O$	1,55÷ ÷1,89		Одновісний, негативний, двозаломлення середнє; $n_0=1,550 \div 1,552$ ; $n_e=1,535 \div 1,553$	Гексагональні безкольорові пластинчаті або голкоподібні кристали; часто зірчасті агрегати	7,91(10) 3,94(9) 3,81(4) 2,35(5) 2,15(4)		(-)160÷200 (-)310÷330 (+)680 (-)810				Утворюється в цементному камені як продукт гідратації $C_3A$ в присутності $CaCl_2$
Гідрооксид кальцію	$3CaO \cdot CaCl_2 \times 15H_2O$			Двовісний, негативний, двозаломлення високе; $n_g=1,537 \div 1,543$ ; $n_m=1,536$ ; $n_p=1,517 \div 1,481$	Безкольорові подовжені призми	9,58(7) 8,42(10) 4,64(5) 4,17(7) 3,07(2) 2,77(6)		(-)50 (-)120 (-)500 (-)570÷600				
Кальцит	$CaCO_3$	2,71	3	Одновісний, негативний, двозаломлення дуже високе; $n_0=1,546$ ; $n_e=1,535$	Пластинчаті кристали у вигляді ромбоєдрів і ромбоєдричних призм; безкольорові призматичні зерна, пластинки (рис. В.15)	3,029(10) 2,490(5) 2,277(6) 2,088(7) 1,912(8) 1,869(9) 1,601(6) 1,520(6) 1,440(5) 1,152(6) 1,044(10) 1,009(6)	880св 1410÷1450сп 570÷580	(-)860÷1100 іноді (-)920 і (-)950	269,78	0,27 (1,24)		Продукт карбонізації $Ca(OH)_2$ в цементному камені. Породоутвірний мінерал вапняків, крейди, мармуру



## Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кварц	$\beta\text{-SiO}_2$	2,65	7	Одновісний, позитивний, двозаломлення низьке; $n_0=1,544$ ; $n_e=1,553$	Кутуваті, округлі, неправильні безкольорові зерна; поверхня з ромбоєдричними виступами. Репліки: раковистий, дзеркально-гладкий або струмоподібний рельєф	3,34(10) 1,813(9) 1,539(9) 1,380(8) 1,372(9) 1,2852(6) 1,2535(7) 1,1978(8) 1,1822(8) 1,1779(7) 1,1512(7) 1,0798(8) 1,0462(6) 1,0330(7) 1,0132(7) 0,9876(7)	467,3÷463с 520,8÷518,1с 694,4÷689,7с 781,3с 800с 1093с 1159с	(-)573	204,75	-0,55	-1,26	Породотвірний мінерал кварцового піску, гранітів і т.п.
Опал	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2,10		Двозаломлення; $n=1,45$		Рентгеноаморфний						
Ортоклаз	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	2,55÷ ÷2,57	6	Двовісний, негативний, двозаломлення низьке; $n_g=1,524\div 1,533$ ; $n_m=1,523\div 1,53$ ; $n_p=1,519\div 1,526$	Безкольорові таблитчаті зерна; короткі призми	4,02(9) 3,8(8) 3,331(7) 3,183(10) 2,995(7) 2,929(7) 2,534(7) 2,286(7) 2,097(7) 1,82(7) 1,774(7) 1,728(7) 1,454(8) 1,423(6) 1,373(7)			1787,4			Породотвірний мінерал гранітів і т.п.

Закінчення табл.В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Альбіт	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	2,605÷ ÷2,70	6÷6,5	Двовісний, позитивний, двозаломлення низьке; $n_g=1,536 \div 1,539$ ; $n_m=1,532$ ; $n_p=1,525 \div 1,529$	Безкольорові призми	3,42с 3,13дс 2,90с 1,85с 1,80с 1,66с 1,44дс 1,42дс 1,34дс 1,27с 1,18с		(-)1118	886,4			Породо- твірний мінерал гранітів і т.п.
Анортит	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	2,60÷ ÷2,765	6	Двовісний, негативний, двозаломлення середнє; $n_g=1,588 \div 1,589$ ; $n_m=1,582 \div 1,583$ ; $n_p=1,575 \div 1,576$	Безкольорові призматичні зерна – таблички, бруски	3,2(10) 2,509(6) 2,135(6) 1,836(5) 1,762(5)	460÷480 570÷625 930	–	909,6			Породо- твірний мінерал гранітів і т.п.
Каолініт	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	2,58÷ ÷2,61	1(2÷ ÷2,5)	Двовісний, негативний, двозаломлення низьке; $n_g=1,566$ ; $n_m=1,565$ ; $n_p=1,560$	Безкольорові вигнуті кристали	7,14(10) 3,57(10) 2,489(6) 2,338(8) 2,291(6) 1,993(6) 1,665(7) 1,487(10) 1,306(6) 1,283(7) 1,247(6) 1,235(6) 1,126(8)		(-)480÷590 (+)950÷1050 (+)1130÷1250	907,4			Породо- твірний мінерал глин
Монт- морилоніт	$(Al,Mg)_2(OH)_2$ $[Si_4O_{10}] \cdot H_2O$	2,0÷ ÷2,5	1÷2	Двовісний, негативний, двозаломлення низьке; $n_g=1,516 \div 1,527$ ; $n_m=1,516 \div 1,526$ ; $n_p=1,493 \div 1,503$	Безкольорові пластинки	4,47с 2,60с 1,51дс 1,29с 1,25с		(-)50÷150 (-)200÷235 (-)500÷760 (-)800÷860 (+)900÷1000				Породо- твірний мінерал глин

