

**Київський національний університет
будівництва і архітектури**

**Розробка проєкту системи діагностики технічного
стану будівель засобами штучного інтелекту**

**Спеціальність 126 – Інформаційні системи та
технології**

Кондратюк Сергій Володимирович

**Науковий керівник:
д.т.н., проф. Терентьєв О.О.**

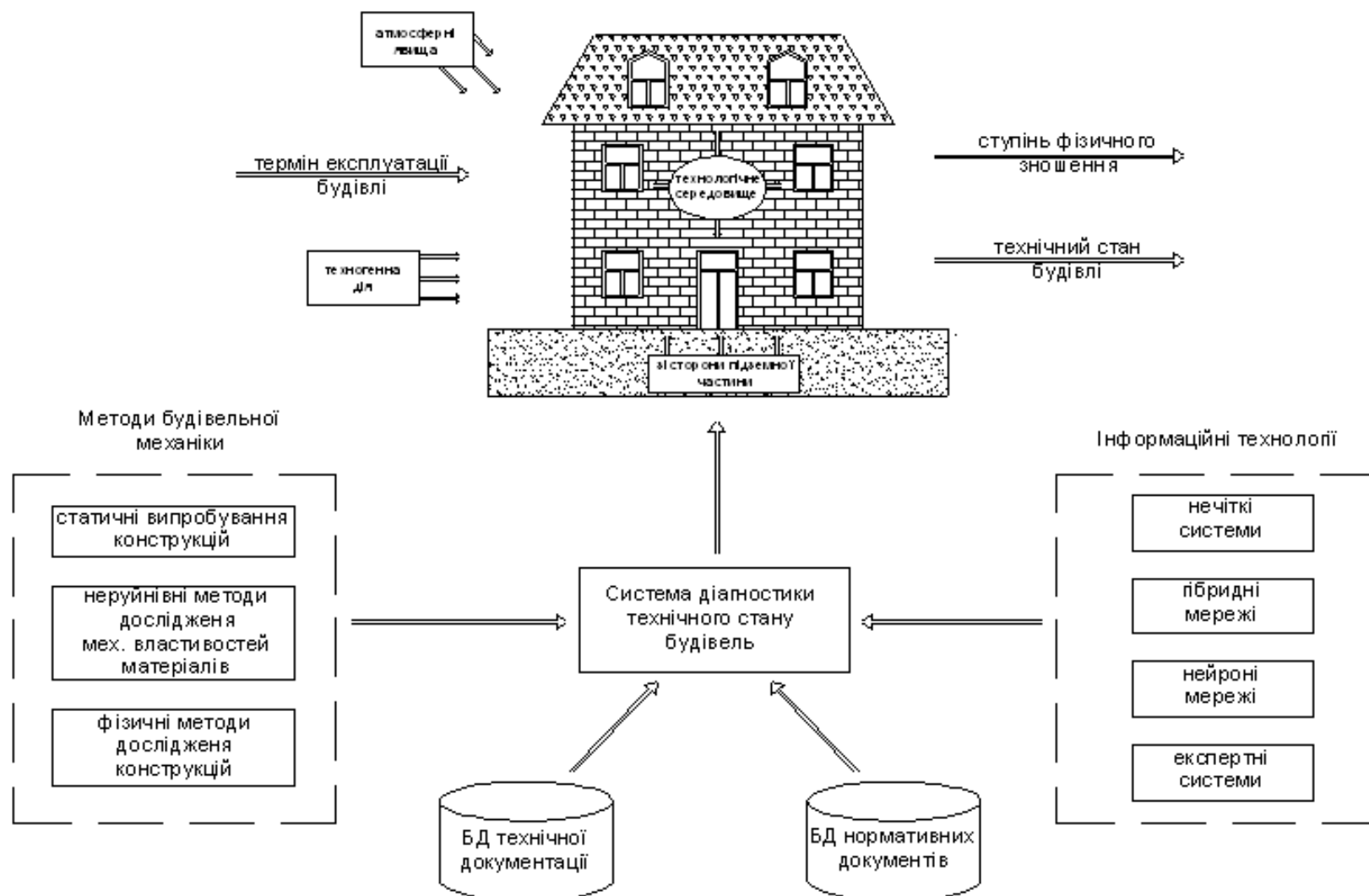
Мета і задачі дослідження.

Метою дослідження є розробка інформаційної технології та аналітичних засобів її підтримки щодо процесів автоматизованої діагностики та їх інформаційного зв'язку з процесами проектування, що дозволить підвищити ефективність цих процесів на довгострокових етапах життєвого циклу будівельних конструкцій і споруд.

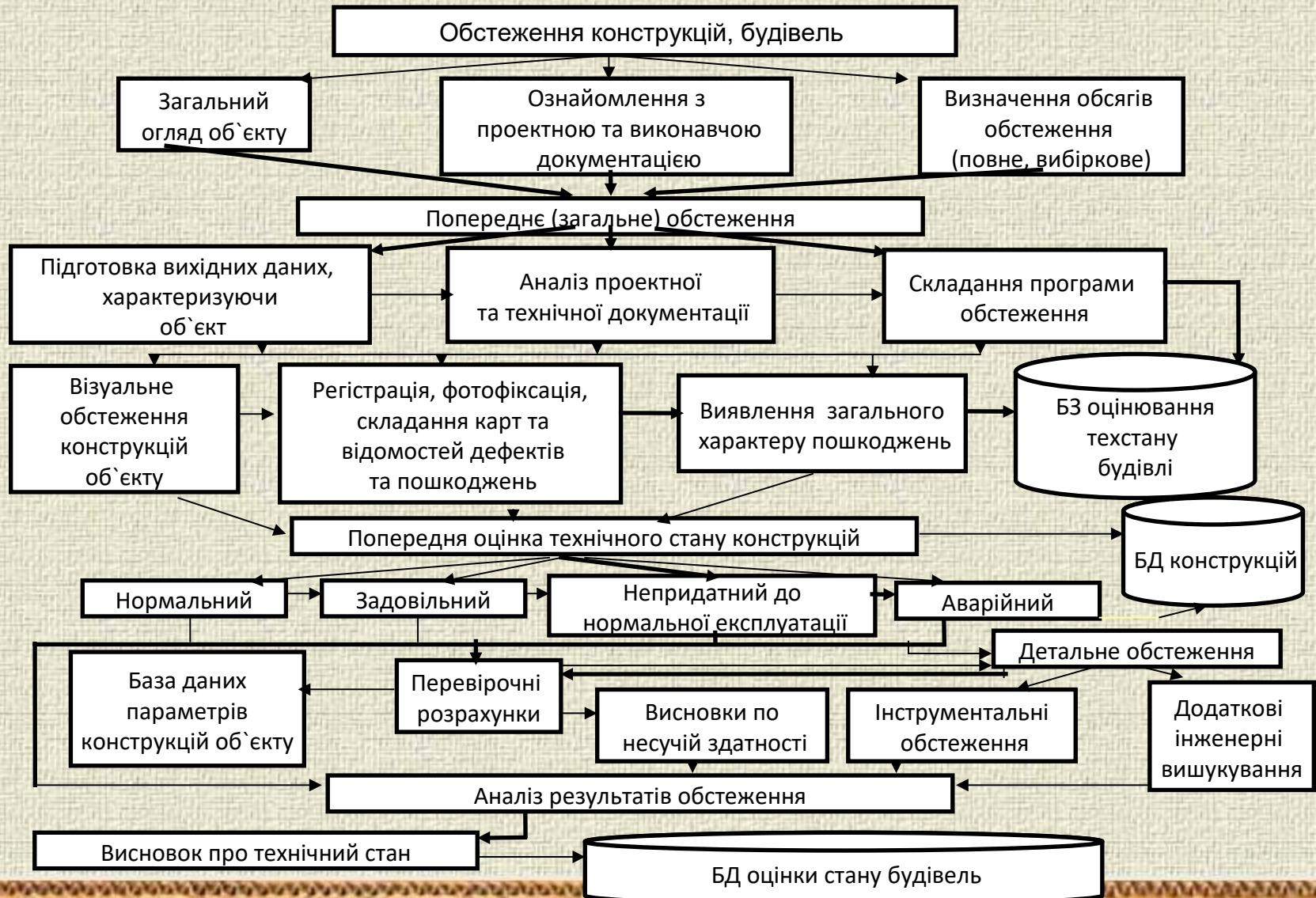
Для досягнення цієї мети пропонується розв'язати наступні задачі:

- провести критичний аналіз інформаційних технологій спостереження та діагностики технічного стану будівельних конструкцій та споруд на етапах їх життєвого циклу та визначити їх інтелектуальні можливості для розробки нової інформаційної технології, яка може поєднати діагностичні висновки та засоби корегування проектних рішень;
- запропонувати архітектуру системи автоматизованої діагностики технічного стану будівельних конструкцій і споруд на етапах їх життєвого циклу;
- представити формалізований опис фізичних, технологічних та конструктивних параметрів і чинників будівельних конструкцій та створити на їх основі інформаційну базу для розв'язання задач діагностики;
- розробити моделі і методи та інформаційну технологію будівельних конструкцій і споруд із застосуванням математичного апарату нечіткої логіки;
- запропонувати базу правил та розробити і дослідити ланцюги логічного виведення для оцінки дефектів та пошкоджень будівельних конструкцій споруд та визначити засоби, як систему експертних рішень щодо корегування фізичних, технологічних і конструктивних параметрів конструкцій на етапах їх проектування;
- оцінити ризик при прийнятті необ'єктивних діагностичних рішень при обстеженні будівельних конструкцій;
- реалізувати систему автоматизованої діагностики технічного стану будівельних конструкцій та споруд та провести експериментальні дослідження її працездатності.

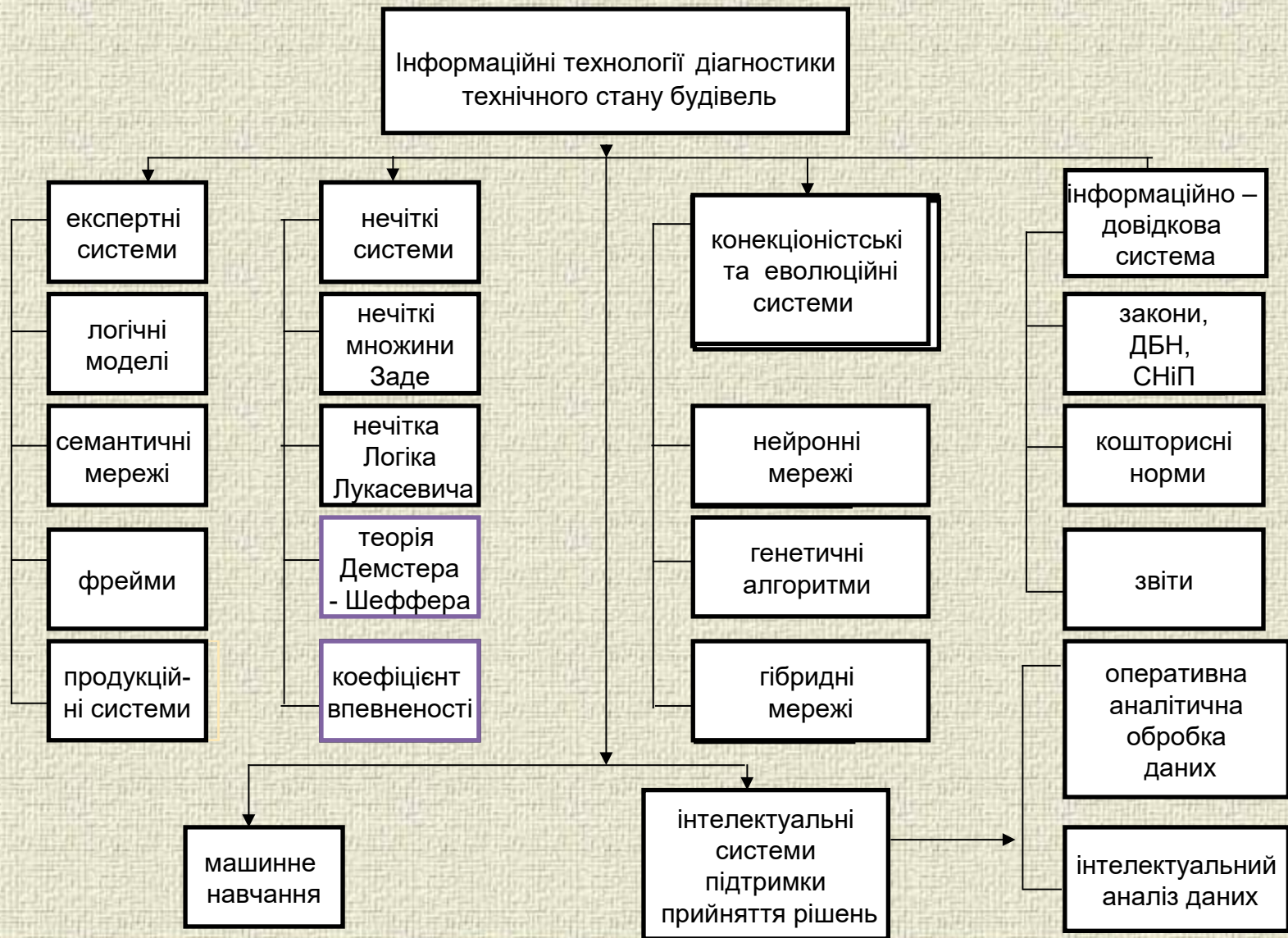
Об'єкт діагностики та методи його дослідження



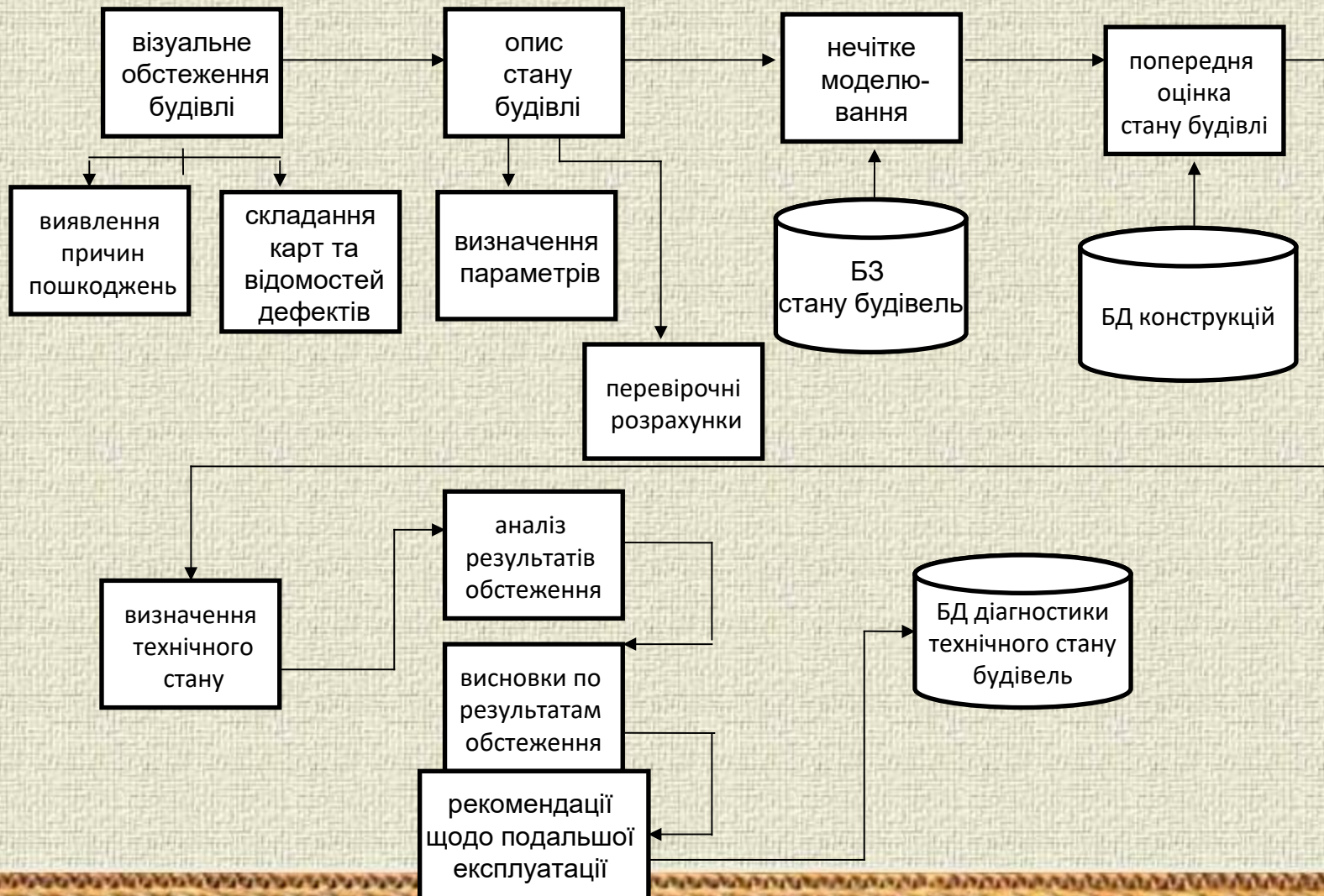
Структурна схема організації проведення інформаційної системи діагностики технічного стану будівель



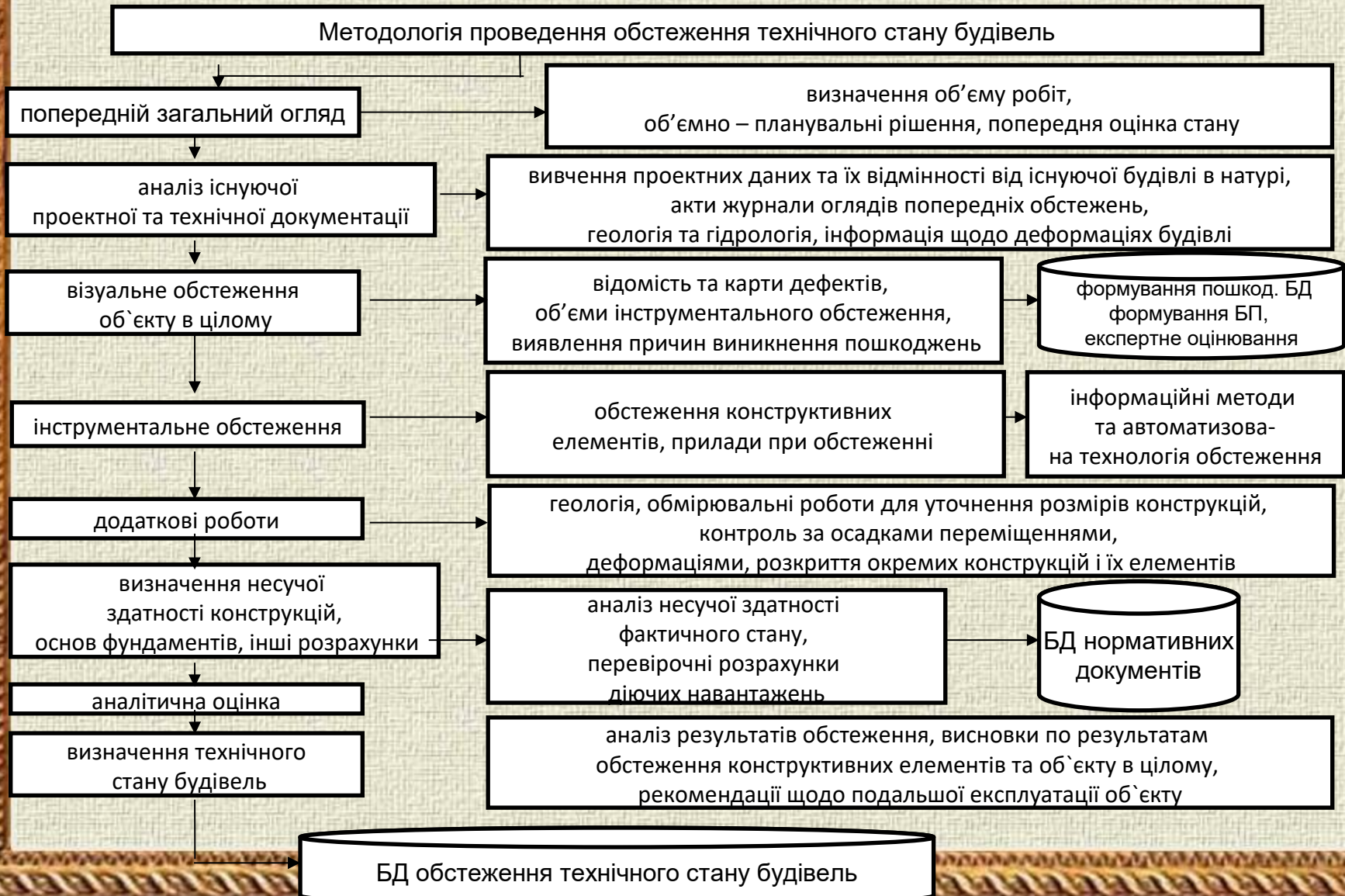
Структурна схема інформаційних технологій системи діагностики технічного стану будівель



Інформаційна технологія системи діагностики технічного стану будівель



Етапи проведення інформаційної системи діагностики технічного стану будівель

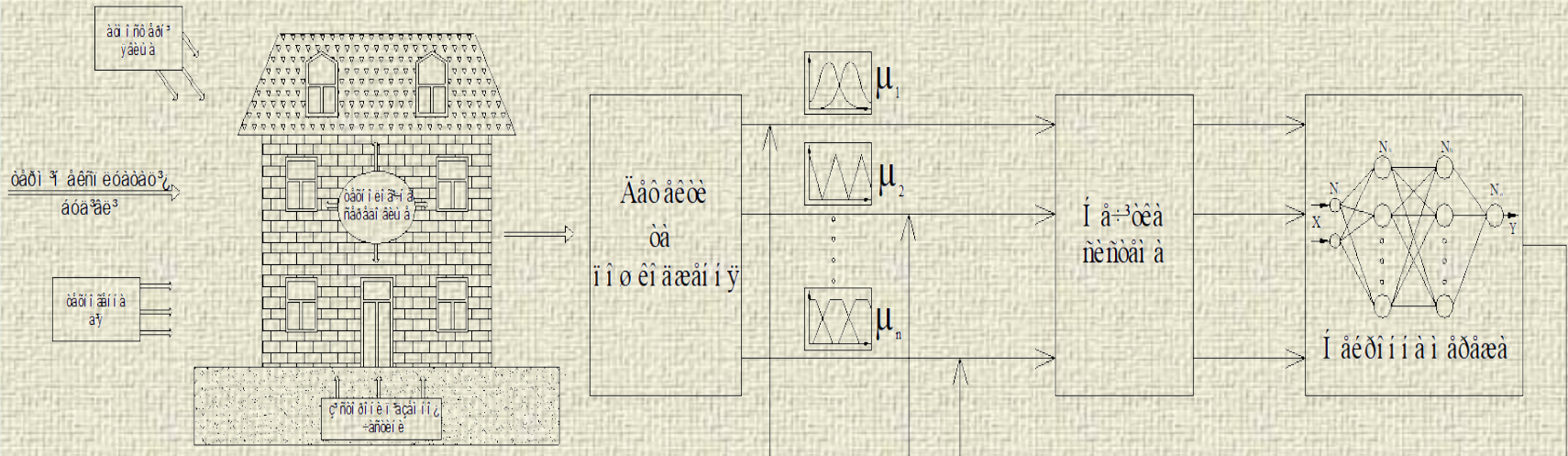


Структурна схема діагностування технічного стану конструктивних елементів будівель

Í î èñ ääò äèð'ä òà
î î ø èî äæáí î

Àèçí à=áí î ý ñòòí áí ý
î î ø èî äæáí î ý èí î ñòðòèø'ç

Àèçí à=áí î ý èàòáí ð'ç
òáòí ð=í î äñ ñòáí ó áóá'æè³



Математичні моделі системи діагностики технічного стану будівель

Будівельні конструкції:

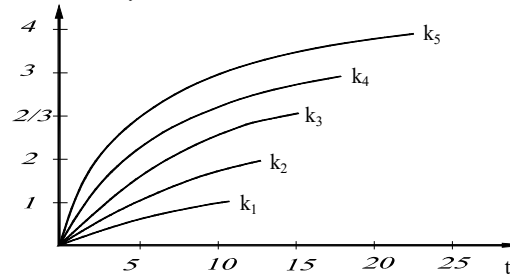
Назва	Визначення фізичного зношення
Фундамент	$\Phi_f = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{i,f} * \frac{P_{i,f}}{D_f}$
Стіни	$\Phi_s = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{i,s} * \frac{P_{i,s}}{D_s}$
Перекриття	$\Phi_{pr} = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{i,pr} * \frac{P_{i,pr}}{D_{pr}}$
Дах	$\Phi_d = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{i,d} * \frac{P_{i,d}}{D_d}$
Покриття	$\Phi_p = \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{i,p} * \frac{P_{i,p}}{D_p}$
Будівля	$E = \frac{\sum_i \sum_r \hat{O}_{ir} * A_{ir}}{\sum_r A_{ir}} \cdot n_i$

P_i – розмір пошкодженої ділянки;
 $\Phi_{i,r}$ – ступінь фізичного зношення конструкцій;
 $A_{i,r}$ – значущість конструкції, що визначається експертно

Категорія технічного стану:

Категорія технічного стану	Кількісна характеристика
1	$0 < E \leq 0,06$
2	$0,06 < E \leq 0,12$
2/3	$0,12 < E \leq 0,18$
3	$0,18 < E \leq 0,24$
4	$E > 0,24$

Е, категорія технічного стану



t, термін експлуатації будівлі

k – коефіцієнт зміни фактичного зношення за часом;
 $k_1 < k_2 < k_3 < k_4 < k_5$

Методика побудови експертного оцінювання конструкцій будівлі

1. Експертне оцінювання конструкцій

Конструкції	Дефекти	Експерти			
		1	2	...	N
Фундаменти	Тріщини вимощення	0,2	0,25	...	0,3
	Сліди зволоження підвальних стін	0,45	0,6	...	0,55
	Просідання фундаменту	0,7	0,8	...	0,75
.....					
Перекриття	Сліди замокання стелі	0,35	0,2	...	0,25
	Прогин балок і прогонів	0,6	0,55	...	0,5

2. База правил експертного оцінювання

Конструкції	Правила	Експерти			
		1	2	...	N
Фундаменти	Якщо FA і FB то FC	0,15	0,3	...	0,25
	Якщо FC і FD то FF	0,5	0,65	...	0,55
	Якщо FE то FF	0,75	0,85	...	0,8
.....					
Перекриття	Якщо PD і PE то PF	0,2	0,35	...	0,15
	Якщо PC і PF то PK	0,55	0,65	...	0,75

3. Правила обмеження

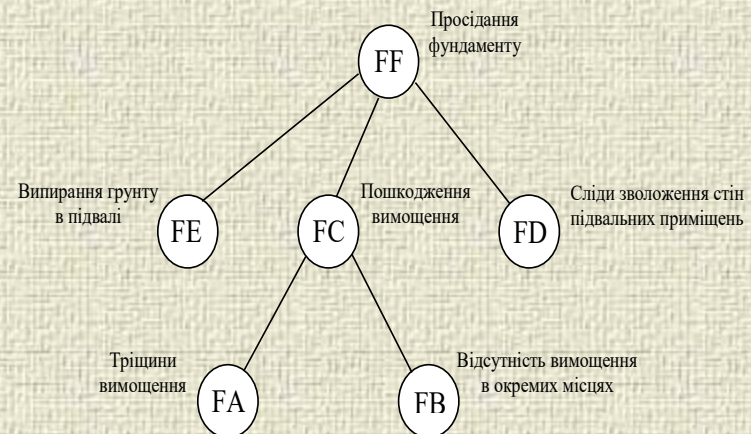
$$CF = CF_1 + CF_2 - CF_1 * CF_2, \text{ якщо } CF_1 > 0, CF_2 > 0$$

$$CF = CF_1 + CF_2 + CF_1 * CF_2, \text{ якщо } CF_1 < 0, CF_2 < 0$$

$$CF = \frac{CF_1 + CF_2}{1 - \min(|CF_1|, |CF_2|)}, \text{ якщо } CF_1 * CF_2 \leq 0, CF_1 \neq 1, CF_2 \neq 1$$

Якщо $CF_1 = \pm 1$ і $CF_2 = \pm 1$, то $CF = 1$

4. Приклад побудови ланцюга виведення



Приклад формування бази правил

Елемент	Формалізований запис	Приклади логічного виведення
Фундаменти	<p>Якщо FA і FB то FC</p> <p>Якщо FC і FD то FE</p> <p>Якщо FE і FK то FL</p> <p>Якщо FF то FL</p>	<p>якщо тріщини вимощення (FA) і просідання вимощення (FB) то є наявність пошкодження вимощення (FC);</p> <p>якщо пошкодження вимощення (FC) і протікання основ фундаменту (FD) то просідання фундаменту (FE);</p> <p>якщо просідання фундаменту (FE) і масові тріщини фундаменту (FK) то усадка будівлі (FL);</p> <p>якщо руйнування фундаменту (FF) то будівля непридатна (FL).</p>
Перекриття	<p>Якщо PA і PB то PC</p> <p>Якщо PD і PE то PF</p> <p>Якщо PC і PF то PK</p>	<p>якщо розтріскування дерев'яного перекриття (PA) і тріщини перекриття (PB) то пошкодження перекриття (PC);</p> <p>якщо сліди замокання перекриття (PD) і пошкодження штукатурки стелі (PE) то перекриття не в задовільному стані (PF);</p> <p>якщо пошкодження перекриття (PC) і перекриття не в задовільному стані (PF) то перекриття потребує капітального ремонту (PK);</p>

Кількісна оцінка дефектів та пошкоджень фундаментів

№	Дефекти конструкції	Позначення	Коеф. впевненості
1	Тріщини вимощення	FA	0.5
2	Відсутність вимощення на окремих ділянках	FB	0.8
3	Пошкодження вимощення	FC	-
4	Сліди зволоження стін підвальних приміщень	FD	0.3
5	Просідання фундаменту	FE	-
6	Наскрізні тріщини фундаменту	FK	0.65
7	Випирання ґрунту в підвалі	FF	0.75
8	Осідання будівлі	FL	-

Дефекти конструкції розглядаємо як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для фундаментів:

$$CF((FA \text{ } FB)) = \min(0.5; 0.8) = 0.5$$

$$CF(((FA \text{ } FB) \text{ } FD)) = \max(0.5; 0.3) = 0.5$$

$$CF((((FA \text{ } FB) \text{ } FD) \text{ } FK \text{ } FF)) = \max(0.5; 0.65; 0.75) = 0.75 \Rightarrow CF_{пред}$$

Допускаємо, що коефіцієнт впевненості правила $CF_r = 0.8$, тоді:

$$CF_{висн} = CF_{пред} * CF_r = 0.75 * 0.8 = 0.6$$

Кількісна оцінка дефектів та пошкоджень перекриття

№	Дефекти конструкції	Позначення	Коеф. впевненості
1	Тріщини та відпадання штукатурного шару стелі	PA	0.25
2	Сліди замокання стелі	PB	0.3
3	Ураження верхнього шару деревини грибок	PD	0.55
4	Прогин балок і прогонів	PE	0.7
5	Пошкодження дерев'яного перекриття	PF	-
6	Протікання даху	PC	-
7	Перекриття непридатне до нормальної експлуатації	PK	-

Дефекти конструкції розглядаємо як факти, що створюють припущення правила, тому визначаємо загальний коефіцієнт для перекриття:

$$CF((PA \text{ } PB)) = \min(0.25; 0.3) = 0.25$$

$$CF((PD \text{ } PE)) = \min(0.55; 0.7) = 0.55$$

$$CF(((PA \text{ } PB) \text{ } (PD \text{ } PE))) = \max(0.25; 0.55) = 0.55 \Rightarrow CF_{пред}$$

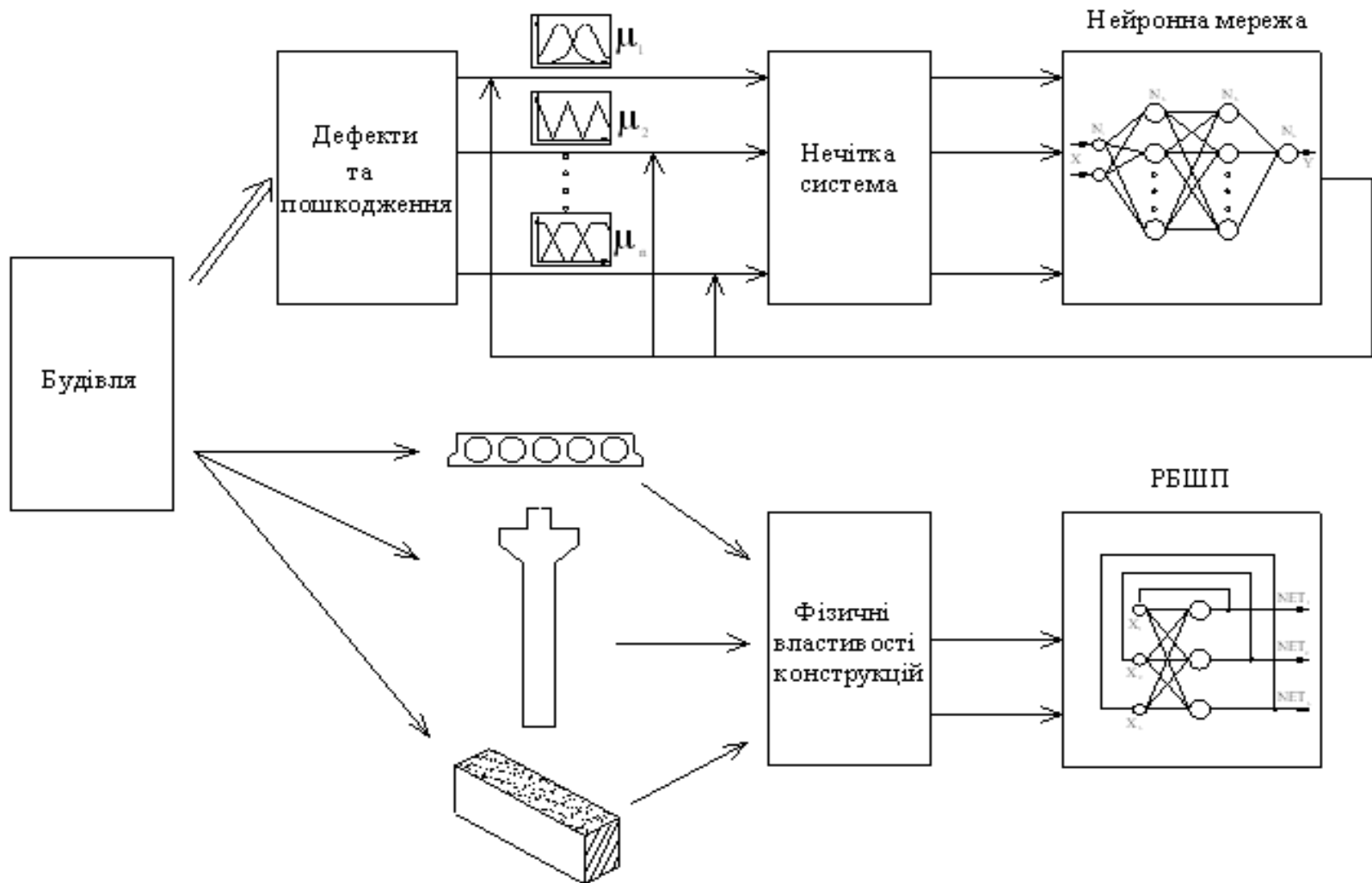
Допускаємо, що коефіцієнт впевненості правила $CF_r = 0.8$, тоді:

$$CF_{висн} = CF_{пред} * CF_r = 0.55 * 0.8 = 0.44$$

Відповідність стану будівлі до коефіцієнту впевненості

Категорія технічного стану будівлі	Коефіцієнт впевненості
I – нормальний	0.....0,25
II – задовільний	0,25....0,5
III – непридатний до нормальної експлуатації	0,5.....0,75
IV – аварійний	0,75.....1,0

Використання інформаційних технологій при діагностиці будівель



Система оцінки технічного стану будівель на основі штучної нейронної мережі. Схема моделі «чорна скринька»

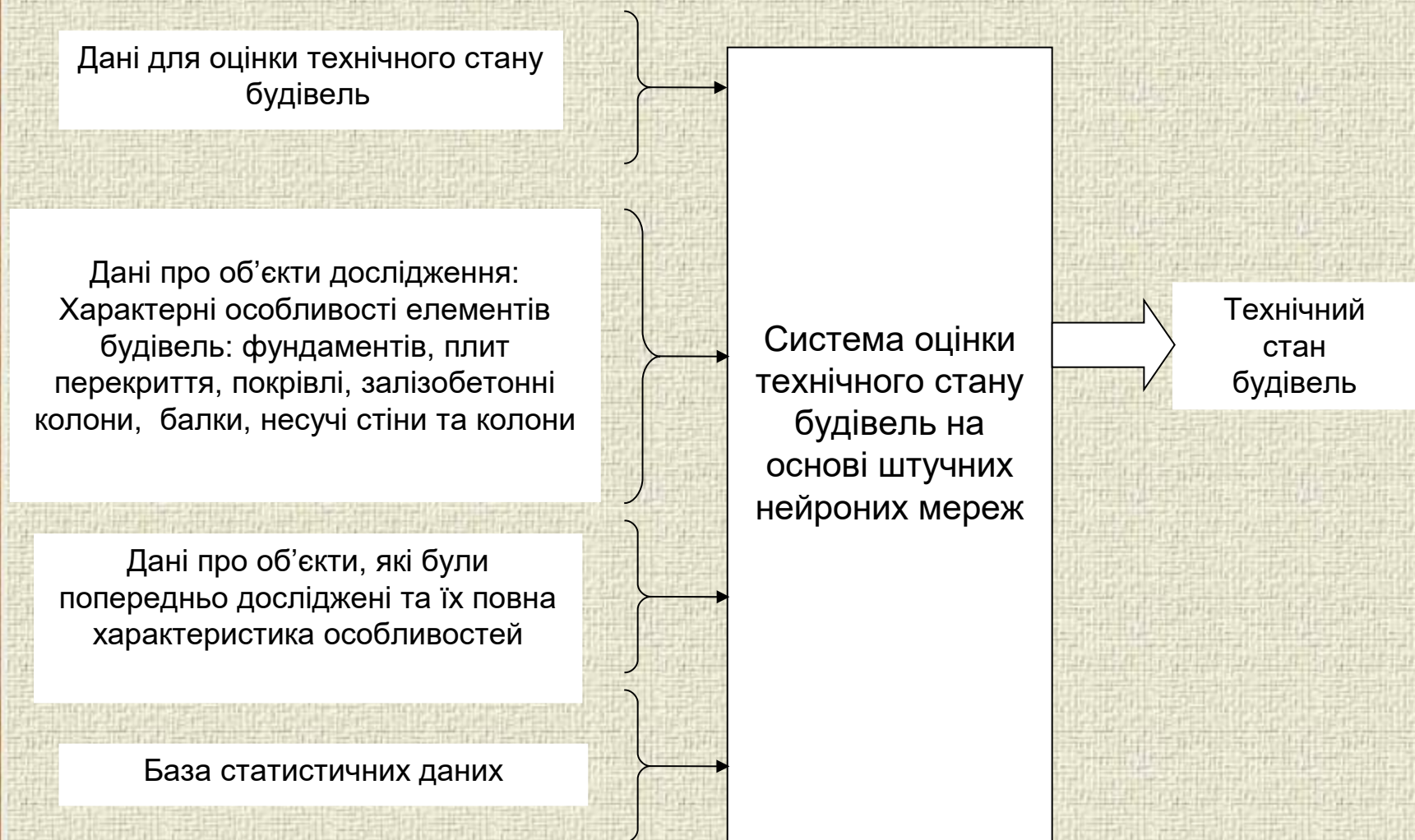
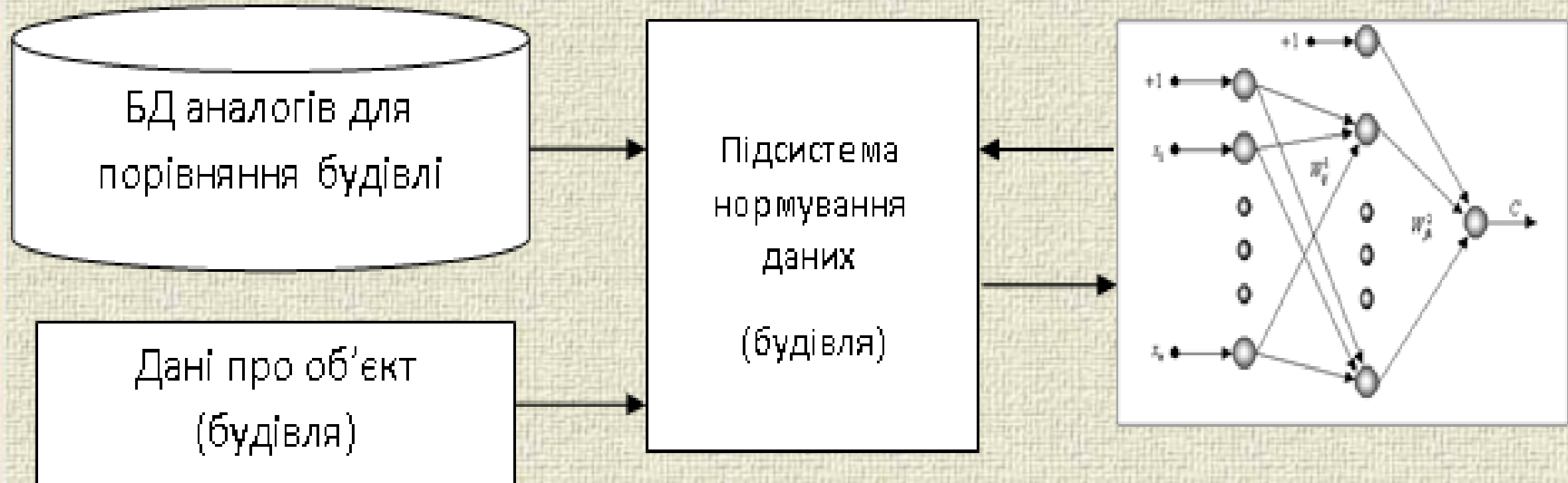


Схема підготовки підсистеми нормування даних діагностики технічного стану будівлі



Архітектура інформаційної системи тестування нейронної мережі



Підсистема підготовки інформації щодо тестування нейронної мережі



План експериментального дослідження щодо тестування нейронної мережі



Реалізація програмного забезпечення

Інформація про будівлю/елемента

Адреса будівлі: м. Житомир
 Площа: 3 Об'єм: 700 Стан: Нормальний
 Рік завершення: 1990 Ціна: 70 Кількість поверхів: 1

Список елементів будівлі

Назва	Дата обстеження	Стан
Зовнішня стіна	16.04.2007	2
Фундаменти	11.02.2007	2
Внутрішня стіна і перегородки	16.04.2007	2
Перегородки	16.04.2007	2
Фундаменти	11.02.2007	2
Діаг	16.04.2007	2
Погрібля	16.04.2007	2
Підлоги	16.04.2007	2/3
Вікна	16.04.2007	3

Список пошкоджень

Дефект	Категорія стану
Сідра замочення зовнішньої стіни	
Сідра замочення зовнішньої стіни	2
Відпадання замоченого шпарту	2

Головне меню програми діагностики технічного стану будівель

Таблиця елементів

Код	Назва	Конструкт. особливості	Прогноз (0,1,2,3,4)
5	Фундаменти	Стрічкові, з фундаментів	0
6	Зовнішня стіна	Цегляна, бетонна, цегляна	1
7	Внутрішня стіна і перегородки	Цегляна, бетонна, цегляна	2
8	Стороння кімната	Металева з обрешіткою	4
9	Перегородки	Закриті бетонні плити пер.	4
11	Діаг	Плаский, скриньковий	4
12	Погрібля	Рулонна руберойд на	4
13	Підлоги	Бетонні, лінолеумні, дощ.	4
14	Вікна	Бетонні, цегляні, др.	4

Список дефектів

Код	Прогноз	Особливості дефекту
859	2	Без суттєвих пошкоджень
8773	0	Прокладення фундаменту внаслідок прилягання їх основи
2900	3	Відсутність вимощення по периметру будівлі
6299	4	Трещина між вимощеннями і стіною
336	4	Відпадання штукатурного шару цоколю
2978	4	Трещина штукатурного шару цоколю
6893	4	Пошкодження цокольного вимощення по периметру будівлі, за

Таблиці нормативних документів

Додавання елемента

Регістрація обстеження елемента

Дата обстеження: 11.02.2007

Тип елемента: Фундаменти

Конструктивні особливості, матеріал, опорядження

Стрічкові, з фундаментних бетонних блоків; цегляні; бугрові; пал'юві; свайні; вимощення - асфальтове, бетонне, відсутнє; цоколь - шпукатурка, обмазка бітумом; побілка; облицювання плиткою.

Відмінити Далі

Додавання конструктивного елемента

Формування списку пошкоджень

Список нормативів: Відсутність вимощення по периметру будівлі.

Дефект: Відсутність вимощення по периметру будівлі.

Рекомендації: Відновлення вимощення по периметру будівлі.

Фізичний знос/оцінка (%): 20 %

Список пошкоджень:

Дефект	Категорія тех. стану
Відсутність вимощення по периметру будівлі	2

Відмінити Далі

Формування списку пошкоджень, фізична оцінка (знос)