

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет

*Кафедра*  
*Промислового та цивільного будівництва*  
*Міського будівництва та господарства*

**МОНОГРАФІЯ**

**НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНА ПЛАТФОРМА  
АКТИВІЗАЦІЇ ТА РОЗВИТКУ БУДІВНИЦТВА  
УКРАЇНИ**

Затверджено  
Науково-технічною радою ЗНУ  
Протокол № \_\_ від \_\_.\_\_.19



м. Запоріжжя  
2019

УДК 69.06:658

ББК

А

**Науково-теоретична платформа активізації та розвитку будівництва України:** монографія / за ред. І.А. Арутюнян. Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 213 с.

Колектив авторів: **В.І. Анін**, докт. техн. наук., професор (розд. 1); **І.А. Арутюнян**, докт. техн. наук, доцент (розд. 1); **Є.Е. Арутюнян** (розд. 1); **В.А. Банах**, докт. техн. наук, професор (розд. 2); **А.В. Банах**, канд. техн. наук, доцент (розд. 2); **М.С. Банах** (розд. 2); **П.П. Бичевий**, канд. техн. наук, доцент (розд. 4); **Н.О. Данкевич** (розд. 6); **М.Г. Коваленко** (розд. 5); **І.В. Мальований**, канд. техн. наук, доцент (розд. 5); **К.М. Мішук**, канд. техн. наук (розд. 4); **І.Д. Павлов**, докт. техн. наук, професор (розд. 3), **Ф.І. Павлов**, канд. техн. наук, доцент (розд. 3); **М.О. Полтавець**, канд. техн. наук, доцент (розд. 3); **О.І. Федченко**, канд. техн. наук. (розд. 1).

Рекомендовано до друку:

Науково-технічною радою Запорізького національного університету  
(протокол № від )

**Науковий редактор: д.т.н. Арутюнян І.А.**

**Технічний редактор: к.т.н. Полтавець М.О.**

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

**Тугай О.А.** - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури

**Радкевич А.В.** - доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної, економічної роботи, перспективного та економічного розвитку Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна

**Метеленко Н.Г.** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри фінансів, банківської справи та страхування Інженерного інституту Запорізького національного університету

#### **ISBN**

В монографії розглянуті дослідження в сферах технології, організації та ефективного продукування якісно нового будівельного продукту, виявлена потреба в розгляді будівельного сектора (продукти, послуги та організації учасники), як складної організаційно-технологічно-конструктивно-економічної системи. Доведена раціональність виокремлення вище зазначеної спеціалізованої системи, в такий спосіб, щоб взаємоув'язати сутність виробничої платформи, її аналітичні можливості та інформаційні моделі в умовах нестійкого ринку.

*Монографія призначена для наукових та інженерно-технічних працівників і фахівців. Може бути корисною для студентів будівельних спеціальностей.*

УДК 69.06:658

ББК

#### **ISBN**

Колектив авторів, 2019

## ЗМІСТ

	стор.
<b>Вступ</b>	5
<b>1 Аналітично-практичні методики управління різнорідними будівельними процесами на базі розвитку будівельної логістики (І.А. Арутюнян, В.І. Анін, Є.Е. Арутюнян).....</b>	<b>7</b>
1.1 Методика управління будівельними процесами шляхом застосування заходів будівельної логістики.....	7
1.2 Дослідження взаємозв'язку логістичної системи будівельної логістики і розвитку будівництва.....	25
1.3 Оптимізаційні моделі економічних процесів в будівництві....	31
1.4 Алгоритм рішення квазілінійної оптимізаційної задачі.....	45
Висновки до розділу 1 .....	53
Перелік використаної літератури у розділі 1 .....	55
<b>2 Моделювання взаємодії об'єктів міської забудови та природного середовища (В.А. Банах, А.В. Банах, О.І. Федченко, М.С. Банах) .....</b>	<b>57</b>
2.1 Загальні відомості .....	57
2.2 Раціональні моделі природного середовища як основи для об'єктів міської забудови .....	60
2.3 Взаємний вплив параметрів природної та антропогенної містобудівних систем .....	65
2.4 Багатофакторна регресивна модель взаємодії об'єктів міської забудови та природного середовища .....	70
Висновки до розділу 2 .....	76
Перелік використаної літератури у розділі 2 .....	78
<b>3 Прогнозування надійності будівництва в умовах організаційно-технологічного проектування (І.Д. Павлов; М.О. Полтавець, Ф.І. Павлов).....</b>	<b>79</b>
3.1 Надійність будівництва в умовах невизначеності .....	79
3.2 Концепції організаційно-технологічного проектування будівельних проектів .....	88
Висновки до розділу 3 .....	117
Перелік використаної літератури у розділі 3 .....	118
<b>4 Деякі перспективні напрямки відновлення гідроізолюючої придатності м'яких покрівель (П.П. Бичевий, К.М. Міщук) .....</b>	<b>120</b>
4.1 Фактори визначення напрямку вдосконалення засобів ремонту м'яких багат шарових покрівель .....	120
4.2 Науково-теоретичні напрямки вдосконалення засобів ремонту	

багатошарового м'якого покрівельного килиму .....	126
4.3 Визначення матеріалів і способів відновлення .....	130
Висновки до розділу4 .....	151
Перелік використаної літератури у розділі 4 .....	152
<b>5 Дослідження можливостей впровадження технології підйому будівель при новому будівництві (І.В. Мальований, М.Г. Коваленко).....</b>	<b>154</b>
5.1 Аналіз конструктивно-технологічних рішень фундаментів під багатоповерхові житлові будівлі .....	155
5.2 Впровадження технології підйому будівель плоскими гідродомкратами при новому будівництві для стрічкового фундаменту .....	159
5.2.1 Методологія впровадження технології підйому будівель при новому будівництві .....	159
5.2.2 Улаштування гідроізоляції по периметру будівлі з можливістю вертикального переміщення верхньої частини будівлі .....	160
5.2.3 Аналіз початкових даних для розрахунку стрічкового фундаменту .....	161
5.2.4 Розрахунок стрічкового фундаменту в програмному комплексі SCAD (Structure CAD).....	164
5.2.5 Розрахунок стрічкового фундаменту в SCAD .....	165
5.3 Економічна оцінка розробленої технології .....	169
5.3.1 Складання кошторисного розрахунку на підземну частину дев'ятиповерхового житлового будинку.....	169
5.3.2 Визначення конкурентоспроможності запропонованої технології .....	170
Висновки до розділу5 .....	171
Перелік використаної літератури у розділі 5 .....	173
<b>6 Сучасні методи і методики оцінки впливу організаційно-технологічних рішень на будівельне виробництво (Н.О. Данкевич) .....</b>	<b>174</b>
6.1 Аналіз існуючих методів і моделей .....	174
6.2 Методи оцінки прийняття оптимальних рішень за критеріями .....	183
Висновки до розділу 6.....	190
Перелік використаної літератури у розділі 6.....	191
<b>Додатки до розділу 5 .....</b>	<b>192</b>

## ВСТУП

Будівельна галузь є однією з найбільш показових областей інженерної діяльності людини, від якої залежить ефективність функціонування всієї системи господарювання в країні. Важливість цієї галузі для економіки будь-якої країни можна пояснити наступним чином: капітальне будівництво, напевне, як ніяка інша галузь економіки, створює велику кількість робочих місць і споживає продукцію багатьох галузей народного господарства. Економічний ефект від розвитку цієї галузі полягає у мультиплікаційному ефекті коштів, вкладених у будівництво. Адже з розвитком будівельної галузі будуть розвиватися: виробництво будівельних матеріалів і відповідного обладнання, машинобудівна галузь, металургія і металообробка, нафтохімія, виробництво скла, деревообробна і фарфоро-фаянсова промисловість, транспорт, енергетика тощо. І, вочевидь, як ніяка інша галузь економіки, будівництво сприяє розвитку підприємств малого бізнесу, особливо того, який спеціалізується на оздоблювальних і ремонтних роботах, на виробництві та встановленні вбудованих меблів і т. ін. Отже, ріст будівельної галузі неминуче викликає економічний ріст у країні і виникнення необхідних умов для розв'язання багатьох соціальних проблем. Але на сучасному етапі її розвитку говорити про будь-яку конкурентоспроможність цієї галузі не представляється можливим. Якщо на регіональному рівні чітко просліджується тенденція верховенства будівельних організацій центральних районів та великих міст-мільйонерів у зв'язку з їх значними потужностями і інвестиційною привабливістю, то на глобальному рівні будівельна галузь України програє через брак необхідних фінансових та організаційних перетворень.

Науково-технічний прогрес і ринкова економіка значно підвищили вимоги до ефективності будівельного виробництва, яке характеризується широким використанням найсучасніших рішень в області проектування, управління, технології та організації будівництва. Зведення нових будівель і

споруд передбачає використання принципово нових вимог як з точки зору будівельних норм і правил, так і про ефективні технології зведення об'єкта, тобто про зміст процесів підтримки будівельного виробництва на всіх стадіях. Змінюється і нормативно-правова база, яка регулює виробничі процеси в інженерних областях, в частині проведення докорінної реформи системи технічного нормування, стандартизації та сертифікації в будівельній галузі, що регламентує відносини, які виникають при встановленні обов'язкових вимог і добровільних правил і характеристик щодо продукції, процесів та методів виробництва, експлуатації, виконання робіт і оцінки відповідності згідно технічних регламентів в галузі будівництва.

Головна мета цієї роботи полягає в тому, щоб на основі всебічного дослідження загальних та специфічних особливостей активізації та розвитку будівельної галузі України обґрунтувати пропозиції по вдосконаленню її роботи, належній реорганізації галузі для підвищення її глобальної та регіональної конкурентоспроможності.

Задачі, що впливають з цієї мети, які були вирішені у процесі дослідження:

- виявлені загальні проблеми галузі та проведений критичний аналіз сучасного стану галузі;
- вивчено досвід трансформації будівельних галузей у розвинутих та постсоціалістичних країнах;
- обґрунтовані основні напрямки вдосконалення галузі;
- зазначені необхідні ресурси та умови для реалізації вибраної стратегії реформування будівництва в Україні.

В міру сучасності та ускладнення будівельного виробництва, розвитку спеціалізації, розширення системи виробничих зв'язків набуває актуальності розробка сучасних підходів системно-структурного формування науково-теоретичної платформи активізації та розвитку будівництва України.

## **РОЗДІЛ 1**

### **АНАЛІТИЧНО-ПРАКТИЧНІ МЕТОДИКИ УПРАВЛІННЯ РІЗНОРІДНИМИ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА БАЗІ РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОЇ ЛОГІСТИКИ**

Зміст до розділу 1

- 1.1 Методика управління будівельними процесами шляхом застосування заходів будівельної логістики
  - 1.2 Дослідження взаємозв'язку логістичної системи будівельної логістики і розвитку будівництва
  - 1.3 Оптимізаційні моделі економічних процесів в будівництві
  - 1.4 Алгоритм рішення квазілінійної оптимізаційної задачі
- Висновки до розділу 1
- Перелік використаної літератури у розділі 1

#### **1.1 Методика управління будівельними процесами шляхом застосування заходів будівельної логістики**

Будівництво за своїми організаційними, технічними і економічними характеристиками об'єктивно відрізняється від інших галузей. Специфіка галузі полягає у наступному [15,16,21,23,25]:

- у відсутності серійного виробництва однотипної продукції (на відміну від промисловості), а також в зведенні на одному майданчику різних типів будівель і споруд, що обумовлює склад матеріальних ресурсів, необхідних для виконання будівельно-монтажних робіт залежно від призначення споруджуваних об'єктів;

- в зміні кількості і асортименту потрібних матеріалів, конструкцій, виробів по окремих періодах стосовно відповідного етапу спорудження об'єкту;

- в нерівномірності об'ємів виконуваних будівельних робіт по періодах року під впливом кліматичних умов, внаслідок чого спостерігаються істотні відмінності в споживанні матеріалів і виробів впродовж року;

- в розосередженості об'єктів будівництва на великі відстані від центру управління, що зумовлює труднощі в організації забезпечення будівництва;

- в зміні дислокації будівельних організацій у зв'язку з переходом будівельників з одного майданчика на інший, що викликає необхідність створення тимчасових складських приміщень і зміни схем перевезень матеріальних ресурсів.

Розгляд будівельної логістики дозволяє зробити висновок – будівництво слід віднести до системи взаємозв'язаних і взаємообумовлених потоків інформації, матеріально-технічних, фінансових і трудових ресурсів. Для того щоб досягти результатів по скороченню термінів будівництва, поліпшенню якості будівельної продукції, мінімізація витрат необхідно вдосконалити методи організації та управління вищезазначених потоків ресурсів за рахунок впровадження логістичних підходів [1,3,4,8,10,12,13].

У цьому розділі нами було приділено особливу увагу будівельній логістиці оскільки одне з понять виробничого кластеру, яке звучить таким чином "виробничий кластер - це складна міжгалузєва система, кожна з галузей якої є сукупністю підприємств і організацій, які виробляють будівельні матеріали, конструкції, деталі, вироби і здійснюють промислове і цивільне будівництва" [3,14,18,19,22, 27].

Будівництво як система сприймається в першу чергу через матеріально-технічне забезпечення будівництва. Слід розглянути логістичне забезпечення, як одне з основних елементів (підсистем) будівельної логістики.

У сучасних умовах матеріально-технічне забезпечення будівельних організацій спрямоване на:

- своєчасне забезпечення будівельного виробництва необхідними видами ресурсів необхідної якості і кількості;



- поліпшення використання ресурсів: підвищення продуктивності праці, фондівіддачі, забезпечення ритмічності будівельних процесів, скорочення оборотності оборотних коштів, повне використання вторинних ресурсів, підвищення ефективності інвестицій і інші показники;

- аналіз організаційно-технологічного рівня будівельного виробництва і якості будівельно-монтажних робіт (послуг) своєї організації і у конкурентів, що дозволяють розробити пропозиції по підвищенню конкурентоспроможності будівельної продукції - будівель і споруджень (послуг) та ін.

Для цього в будівельній організації необхідно постійно виконувати наступні роботи [16, 21,25]:

- проведення маркетингових досліджень ринку постачальників будівельних матеріалів, конструкцій, виробів, напівфабрикатів та ін. надання послуг). Вибір постачальників рекомендується здійснювати виходячи з таких вимог: наявність у постачальників ліцензії і достатнього досвіду роботи в цій області, високий рівень виробництва, надійність і прибутковість роботи, забезпечення конкурентоспроможності будівельних матеріалів та ін., що випускаються, прийнятна їх ціна, простота схеми і стабільність їх постачань;

- нормування потреби в конкретних матеріально-технічних ресурсах;

- розробка заходів по зниженню норм і нормативів витрат матеріально-технічних ресурсів.

Логістичне забезпечення має бути спрямоване на весь будівельний цикл - від проектування і до реалізації будівельної продукції. Необхідною умовою реалізації будівельної логістики є логістичне забезпечення - це означає, що будівництво розглядається з позиції потокової концепції, з позиції потоку - руху і динаміки. Отже, будівельний цикл є не інше, як своєрідна логістична підсистема будівельної логістики, а етапи цього циклу - логістичні ланки. Іншими словами, будівельна логістика готує будівельне виробництво до сприйняття логістичного забезпечення.

Оскільки будівництво, з точки зору будівельної логістики, є сукупність потоків - фінансових, матеріальних, трудових, інформаційних, то логістичне забезпечення передбачає оптимізацію цих потоків, а значить і оптимізацію всього будівельного циклу. У спеціальній літературі використовувалося поняття будівельних потоків, але тільки нині такі потоки набули наукового сенсу як об'єкти логістичної системи управління будівельно-комерційною діяльністю [3].

Реалізація концепцій будівельної логістики призводить до [7,8,10,12,13,14,18]:

- зменшенню або взагалі скасуванню складування матеріалів і напівфабрикатів (встановлюється така система взаємозв'язку постачальника сировини і виробника, при якій сировина і напівфабрикати подаються безпосередньо до місця виробничого споживання в потрібній кількості, в потрібний час без складування і так далі);

- мінімізації транспортних витрат (оптимізуються маршрути перевезень матеріалів і конструкцій, при яких мінімізуються транспортні витрати, прискорюється процес доставки і так далі);

- скороченню простоїв;

- забезпеченню стійкості до різних змін зовнішнього середовища, у тому числі попиту.

Специфіка будівельного виробництва визначає зміст і структуру логістичного забезпечення. Виявлені і систематизовані галузеві особливості логістичного забезпечення, які як чинники впливають на розвиток будівельної логістики [18].

Будівельна логістика включає виробничу і комерційну складові. Якщо перша - будівельно-монтажні роботи і пов'язані з ними внутрішньовиробничі потоки, то друга складова є процесом руху товару: закупівлі - постачання і продаж - збут. Тому логістичне забезпечення - це передусім матеріально-технічне забезпечення будівельно-монтажних робіт (МТЗ БМР). Будівельна логістика виробила правила закупівель і методи постачань будівельних

ресурсів, такі як "точно по потребі", "високій готовності" що в будівництві іменується як виробничо-технічна комплектація канбан ("точно в строк") та ін., включаючи управління виробничими запасами і транспортуванням продукції. Одне це напрям у сфері будівництва - через диференціацію науки - відкриває широкі перспективи для дослідження і розвитку. Проте згідно розробленої концепції при усій важливості МТЗ БМР, логістичне забезпечення не може обмежуватися тільки цим напрямом [10,12,14,18,19].

Тому потоки будівельної логістики в системі матеріально-технічного забезпечення в будівництві це:

- системи закупівельної логістики, організація потоків закупівель матеріально-технічних ресурсів і виробничо-технологічної комплектації будівництв, а також супроводжуючі потоки фінансових, інформаційних і трудових ресурсів. Складання поєднаних мережевих графіків потоків;

- системи підприємницької (виробничою) логістики, організація потоків ресурсів будівельної фірми в процесі виробництва будівельних конструкцій, виробів і інших матеріалів, проектно-конструкторських, будівельно-монтажних і пусконаладжувальних робіт;

- системи транспортно-складської логістики, організація вантажопотоків і внутрішньоскладські потоки будівельної фірми.

З вище сказаного ефективність логістичних систем будівельної логістики визначається як:

- прибуток це найважливіший показник оцінки ефективності функціонування логістичних систем в діяльності будівельної фірми;

- логістичне рішення в будівництві як стадія будівельного циклу;

- концепція будівельної логістики як система раціональнішого планування, організації і контролю в сферах виробництва і обміну продукцією для повнішого задоволення споживчого попиту в будівництві.

Особливе місце в одній з проблем розвитку будівництва займає ніша - організації виробничо-технологічної комплектації, яка сприяє поліпшенню якості будівельної продукції.

Підрозділи виробничо-технологічної комплектації виконують спеціальні виробничі функції по доведенню матеріалів, що поступають, виробів, конструкцій до технологічної готовності в БМР. З позиції ефективного функціонування логістичної системи БЛ на базі управління матеріалопотоків продукції наявність такої ланки обумовлює скорочення витрат на виготовлення необхідних у кожному конкретному випадку виробів із стандартної промислової продукції. Будучи одним з чинників зниження собівартості будівництва (5-7%), комплектація будівництва здійснюється в наступних формах [18,26,27]:

Технологічна комплектація - річне і квартальне планування постачань устаткування, конструкцій, виробів, матеріалів на об'єкти будівництва з технологією і графіками виконання БМР, тижнево-добове планування, контроль, аналіз і регулювання ходу комплектних постачань і устаткування, виробів, матеріалів.

Виробнича комплектація - річне, квартальне і місячне планування виробництва не типовими будівельними ресурсами, оперативне управління виробничо-комплектувальні ділянками.

Постачальницька комплектація - визначення річної потреби в матеріалах, запасних частин, інструменті і планування постачань в розрізі календарних періодів (квартал, місяць). Контроль реалізації виділених, закуплених матеріальних ресурсів згідно з планом введення будівельних об'єктів.

Транспортна комплектація - календарне планування і оперативне регулювання централізованих перевезень (місячне, тижнево-добове) комплектів з баз на будівельні об'єкти від постачальників.

У сьогоденних умовах робота по комплектації будівництва ведеться головним чином виробничими підрозділам, а координацію з боку центрального апарату УКБа не можна охарактеризувати достатньою, надійною, гнучкою.

Основні функції УКБа [16]:

- Облік будівельних об'єктів компанії;  
Ведення списку усіх будівельних об'єктів. По кожному об'єкту можна подивитися повну інформацію. Тут же можна побачити які роботи, коли і на яку суму були або будуть проведені по цьому об'єкту.
- Облік замовлень по будівельних об'єктах;  
Реєстрація і облік замовлень по кожному з об'єктів.
- Облік усіх будівельних робіт компанії;  
Список усіх можливих робіт компанії.
- Облік будівельних матеріалів;  
Ведення довідника усіх будівельних матеріалів.
- Складський облік;  
Робота з рахунками від постачальників, відстежування оплат. Контроль дотримання термінів постачань. Прийом, переміщення будівельних матеріалів, передача їх на об'єкти.
- Зберігання інформації про співробітників, налаштування персональних прав доступу;
- Мінімізація помилок введення, зменшення часу на обробку заявки;
- Можливість імпорту і експорту даних;
- Відбір, пошук, угруповання, сортування даних за різними критеріями;
- Підготовка різноманітних аналітичних звітів окремо по замовленнях, товарах, клієнтах;
- Гнучка структура БД з налаштуванням під будь-які завдання.

Необхідно використовувати метод ковзаючого планування календарні графіки завезення МТЗ і постачань. Ці графіки в прив'язці до графіків БМР повинні забезпечувати комплектування необхідних ресурсів.

Таким чином на рівні центрального апарату УКБа має бути реалізована повною мірою завдання планування і координації комплектування технологічних комплектів від постачальника до споживачів на підставі планів будівельного виробництва, а сучасною мовою це застосування рівня макрологістики будівельної логістики.

Рівень будівельно-монтажних підрозділів - це виробничо-технологічна комплектація, що полягає формуванні поставних, транспортних комплектів і доставка їх на будівельні об'єкти відповідно до графіків постачань матеріальних ресурсів. В умовах ринкової економіки виробничо-технологічна комплектація успішно трансформується в логістичні системи будівельного комплексу, де віддзеркалюється управління процесами закупок, комплектація, яка відповідає технології будівництва з мінімізацією витрат.

Будівельна логістика має функції виробничо-технологічної комплектації будівництва формується як організаційно-технічна функція постачальницької логістики. Будівельна логістика дає можливість розвитку системи виробничо-технологічної комплектації як оптимальної форми організації міжсистемних зв'язків, що забезпечують організаційно-технологічну єдність комплектного виготовлення збірних конструкцій, постачання і транспортування усіх матеріальних ресурсів відповідно до технологічних параметрів і графіку будівельного виробництва, а також найбільш раціональним виробничим споживанням цих ресурсів при мінімальних витратах [3,8,21].

Підрозділи виробничо-технологічної комплектації виступають ланкою раціоналізації внутрішньобудівельного матеріального потоку, що супроводжується відповідною інформацією, документообігом, тобто розгляди мікрологістики будівельної логістики. По функції технологічної комплектації їх діяльність полягає у формуванні комплектів матеріалів, напівфабрикатів і виробів, їх доставці в робочу зону об'єктів, що будуються, відповідно до технології і графіків виконання БМР. Для виконання вище сказаного використовуються логістичні методи "Точно - вчасно", концепція спільної діяльності учасників КТБК, "Планування потреб / ресурсів", логістична концепція «Leanproduction», MRP I і MRP II.

Ці методики дозволяють так побудувати логістичну систему будівельної логістики або організувати процес постачання, що в результаті будівельна компанія зможе:

- понизити рівень запасів;
- скоротити виробничі і складські площі;
- підвищити якість виробів;
- скоротити терміни виробництва;
- ефективно використовувати устаткування;
- зменшити кількість невиробничих операцій.

Для недопущення накопичення надмірних запасів, з одного боку, і оптимізації загальних логістичних витрат, з іншого, пріоритетного значення набуває завдання пошуку консолідації вантажів. Замість постачання дрібних партій від різних постачальників в точні терміни замовлення, що виконуються різними постачальниками, повинні об'єднуватися у рамках одного постачання. Наявність тісних зв'язків і партнерських стосунків, з точки зору обміну інформації і координації планів, дозволяє компаніям повністю або частково використовувати технології JIT, проте при цьому необхідно також підвищити вимоги до якості матеріалів, що поставляються, і комплектуючих. Також знижується кількість учасників ланцюга постачань, що знижує собівартість сировини і матеріалів, і спрощує процес обміну інформацією.

Не можна забувати також, що велику частину витрат будівельна компанія несе у зв'язку з транзакційними витратами. Скоротити їх долю в загальній сумі витрат можна, підтримуючи довгострокові партнерські стосунки з постачальниками і посередниками.

Таким чином, будівельні організації, впровадивши методики будівельної логістики у свою діяльність, зможуть понизити свої витрати не лише у вартісному вираженні, але також зменшити трудовитрати і час на виконання операцій. Використання концепції будівельної логістики є одним з основних напрямів діяльності будівельних організацій по ресурсозберіганню і зниженню витрат на будівництво будівель і споруд.

Саме будівельна логістика передбачає засоби забезпечення ефективності роботи підприємства, тобто досягненні найкращого результату з найменшими витратами шляхом оптимізації поточкових процесів.

Таким чином, будівельна логістика як наука про оптимізацію поточкових процесів служить основою підвищення ефективності управління системою матеріально-технічного забезпечення, а методологія будівельної логістики дозволяє здійснювати системну раціоналізацію складних виробничих систем, яка озброює менеджерів підприємств сучасними методами підвищення організованості виробничих систем і дозволяє ефективно завоювати конкурентні переваги.

Будівельна логістика як сучасний інструментарій для організації виробничо-технологічної комплектації, яка сприяє поліпшенню якості будівельної продукції. Будучи специфічними ланками логістичної системи в управлінні потоками будівельних ресурсів (матеріалів, конструкцій), підрозділ виробничо-технологічної комплектації роблять істотний вплив на економію живої і матеріалізованої праці вживаної в будівництві.

Завдання технологічного розвитку будівельного виробництва розглядатиметься як підсистема загальної системи будівельної логістики, і її реалізація здійсниться на базі сучасних економіко-математичних методів і моделей. Ці методи продовжують застосовуватися і до управління матеріальними потоками розвитку будівництва на логістичних засадах. Перехід від розробки самостійних систем до інтегрованих логістичних систем будівельної логістики вимагає розширення методологічної бази управління матеріальними потоками розвитку будівництва [3].

До основних методів вирішення наукових і практичних завдань в будівельній логістики, слід віднести методи системного аналізу, методи теорії дослідження операцій, кібернетичний підхід і прогностику. Застосування цих методів дозволяє прогнозувати матеріальні потоки будівельної логістики, створювати інтегровані системи управління і контролю за їх рухом, розробляти системи логістичного обслуговування,



оптимізувати обсяги організаційно-технічних заходів і вирішувати низку інших завдань.

Основна мета моделювання – прогноз поведінки системи розробки оптимальної програми логістичних заходів будівельної логістики та їх вплив на виробництво різнорідних будівельних процесів.

Передбачаючи широкий комплекс логістичних заходів щодо вдосконалення будівельного виробництва, підвищення обґрунтованості і поліпшення розробки систем, їх збалансованості з матеріальними ресурсами і потужностями будівельно-монтажних організацій за рахунок грамотного управління логістичною діяльністю при обмеженому використанні інвестиційних проектів в розвиток будівельної галузі.

Розробка ефективної програми заходів на засадах будівельної логістики полягає у виявленні наявних внутрішньовиробничих резервів, визначенні шляхів і засобів підвищення технологічного рівня будівельного виробництва, вдосконаленні організації будівництва, поліпшенні господарської і фінансової діяльності будівельно-монтажних робіт за рахунок впровадження логістичних рішень [3].

Раціональна програма логістичних заходів будівельної логістики необхідна для більш гнучкого використання резервів підприємств будіндустрії, впровадження у виробництво нової концепції будівельної логістики – «Точно-вчасно», дає змогу відмовитись повністю або частково від організації приоб'єктних складів, що дасть скорочення заготовчо-складських розходів, які включаються в прямі витрати (собівартість) БМР [12].

Таким чином, раціональна програма логістичних заходів будівельної організації є системою заходів щодо вдосконалення процесів організації і технології будівельного виробництва, поліпшення її господарської і фінансової діяльності на макро- та мікро- рівнях.

Для поліпшення організації та технології будівельного виробництва, як однієї із підсистем (виробнича підсистема будівельної організації) загальної

системи будівельної логістики виробничого кластера розглянемо більш детально логістичні заходи:

- організація матеріалоруху будівельної фірми за принципом «точно вчасно»;
- впровадження прямих, ешелонованих, гнучких мереж;
- організація та управління матеріального потоку будівельної фірми згідно стадій виробничого і господарського циклів будівельної продукції;
- сертифікація виробів і матеріалів, отриманих з вторинних будівельних ресурсів (ВБР);
- резервування інформації;
- своєчасне узгодження між матеріальним та інформаційним потоками;
- впровадження концепції будівельної логістики для спільної діяльності учасників комплексуально-транспортно-будівельного комплексу (КТБК);
- зростання кваліфікаційного рівня кадрів і продуктивності праці;
- встановлення прямого зв'язку між підприємствами, наприклад, збірного залізобетону і безпосередніми споживачами їх продукції – первинними будівельними організаціями;
- побудова оптимальних логістичних транспортних систем від постачальника до споживача: (вибір виду транспорту, маршруту і перевізника, зниження транспортних витрат, оптимізація маршрутів, організація взаємодії транспорту і складського господарства, ефективність використання власного транспорту, супровідна документація, організаційно-функціональна структура транспортного відділу);
- оптимізація системи управління запасами: (аналіз структури запасів, розрахунок параметрів управління запасами, зниження об'єму запасів, розрахунок нормативного рівня запасів при прогнозованому

- попиті, розрахунок параметрів управління запасами по позиціях номенклатури; розробка системи показників ефективності управління запасами);
- резервування найбільш необхідних матеріальних ресурсів для здійснення безперервного технологічного процесу (логістика запасів);
  - оптимізація процесів закупівельної логістики: (розробка процедури планування постачань на підприємство, організаційно-функціональної структури служби закупівель, критеріїв оцінки ефективності);
  - створення ефективно діючої системи управління ланцюгами постачань (реінжиніринг і моделювання бізнес-процесів, опис і моделювання логістичних бізнес-процесів, стандартизація логістичних процесів, формування ефективного ланцюга постачань від постачальника до споживача, впровадження показників системи управління ланцюгами постачань);
  - використання будівельних матеріалів, що не вимагають додаткових витрат енергоресурсів при виробництві будівельних робіт, зокрема при низьких температурах (максимальне виключення «мокрих» процесів, зниження енерговитрат на підгонку і доведення встановлюваних деталей і так далі);
  - покращення трудового потоку;
  - заходи щодо підготовки і перепідготовки персоналу будівельних організацій, наприклад, створення відділу логістики;
  - управління логістичним персоналом (оптимізація ефективності роботи логістичного персоналу, оптимізація чисельності логістичного персоналу, розробка системи мотивації логістичного персоналу, проведення корпоративних тренінгів за рішенням конкретних логістичних проблем, формалізація роботи з персоналом);

- оптимізація інформаційних систем і технологій в будівельній логістиці: (інформаційні і автоматизовані системи для управління бізнес-процесами, логістикою, складами, транспортом, розподілом; забезпечення і координація інформаційного потоку; розробка технічного завдання для інформаційних систем);
- вдосконалення управління потоками виробничої підсистеми будівельної логістики;
- формування системи обліково-аналітичного обігу фінансових потоків будівельної фірми;
- удосконалення управлінської діагностики ринку попиту і пропозицій будівельних матеріалів на засадах будівельної логістики;
- стратегія ресурсозберігання в економіці країни багато в чому визначається можливістю використання основної частини ВБР після певної переробки як матеріальних ресурсів при будівництві нових і реконструкції об'єктів, що діють, а також при виробництві будівельних матеріалів, напівфабрикатів і початкової сировини для інших галузей промисловості, наприклад, металургійної, машинобудівної, виробництва товарів народного споживання і ін.;
- підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів і створення необхідних умов для перебудови економіки країни на енергозберігаючий шлях розвитку.

Перераховані логістичні заходи будівельної логістики визначаються як можливість покращення виробничої діяльності будівельно-монтажної організації.

Для нормального функціонування будівельного ринку України і забезпечення його «прозорості» необхідно створити єдину загальнонаціональну базу даних про підрядні організації, які працюють на цьому ринку; про проекти, що вже здійснюються або знаходяться в підготовчій стадії; інвестиційні пропозиції.

Системотехнічний підхід в будівельній логістиці заснований на постулаті про універсальність принципів і законів організації і розвитку складних природних біологічних, соціально-економічних і технологічних в т.ч. і будівельних систем. Загальними є вимоги високої організації, економічності, гнучкості, надійності, пристосовності. Розробка і вдосконалення наукових, методологічних і системотехнічних принципів організації виробництва, дослідження і аналіз організаційних і технічних рішень на основі широкого використання нових технологій якісно підвищує рівень організації виробничої діяльності будівельних підприємств. Практичне застосування таких підходів в багатьох галузях науки і техніки підтвердило їх універсальність.

Будівельна логістика як науковий напрям, пов'язаний з пошуком нових можливостей підвищення ефективності матеріальних потоків для покращення виробничої підсистеми будівельної організації.

На основі узагальнюючих показників і завдань будівельні організації можуть більш цілеспрямовано формувати моделі раціональної програми сучасного розвитку будівельного виробництва, як однієї із підсистем та враховувати можливості логістичної системи будівельної логістики(рис. 1.1). Істотно розшириться при цьому діапазон будівельної логістики.

У методології вдосконалення технологічного процесу будівельного виробництва основна ідея полягає в орієнтації узагальненого економічного показника, що віддзеркалює кінцевий результат виробництва за рахунок впровадження процесів будівельної логістики. Ним можуть бути зниження собівартості БМР або відносне зменшення витрат праці.

На основі узагальнених завдань будівельна організація більш цілеспрямовано формує систему технологічного розвитку з урахуванням конкретних обставин, які відображаються в загальній системі будівельної логістики.

У модель вводяться обмеження, що стосуються скорочення трудовитрат і зниження собівартості робіт враховуючи логістичні витрати [12,14].

Значення використання засад будівельної логістики в інвестиційно-виробничому кластері (ІВК) підтверджується світовою практикою. У розвинених країнах Заходу процес виробництва товарів складає лише 2-3 % загального часу виробництва і обігу. Майже 98 % часу припадає на різні види переміщень сировини, матеріалів, готової продукції, фінансів, інформації і так далі. Серед інших механізмів оптимізації закупівель необхідно відзначити різні стратегії цінових знижок, встановлення транспортних зв'язків між постачальниками і споживачами БР, що передбачають укладення контрактів, проведення тендерів, аукціонів.

Основними функціями будівельної логістики зон будівельних ресурсів (БР) є: обґрунтування необхідності їх формування, визначення їх видів і призначення; розробка методів нормування; контроль за їх станом; управління.

Управління зонами БР – це і цілеспрямоване формування, внутрішньовиробничий розподіл і споживання ресурсів. Основною метою логістичного управління зонами БР ІВК є якісне забезпечення ресурсами, необхідними для виконання заданого виробничого циклу. Ця мета успішніше досягається при створенні логістичної системи управління БР і забезпеченні її функціонування в кожному з регіональних ІВК.

Удосконалення єдиної загальнонаціональної бази даних про підрядні організації (умовна)



Рисунок 1.1 – Модель логістизації будівництва з обліком заходів на макро- та мікро- рівнях

Вартість всіх видів матеріально-технічного ресурсного забезпечення складає більше 30 % від загальної суми витрат виробництва. При цьому на переміщення доводиться більше 40 % вказаних витрат, на зберігання – більше 20 %, тільки на матеріальні витрати – 20-25%; на адміністративні витрати –10-15 %; на маркетингові дослідження – 10-12 % [3].

Можливі відмінності у витратах ресурсів припускають варіантність їх оптимізації в системі «постачання – виробництво», а саме – мінімізацію витрат на закупівлю будівельних ресурсів (при обмеженій вірогідності порушення термінів постачань) або максимізацію якості постачань БР (при обмеженнях на витрати). Це можливо при визначенні загальних логістичних витрат при такому обмеженні, як вірогідність задоволення попиту. При цьому потрібно враховувати, що у витратах, пов'язаних з придбанням БР, від 50 до 70 % складає собівартість виробництва готової будівельної продукції становить ціна на БР, витрати на транспортування і управління запасами (складування, вантажопереробку, зберігання). Для скорочення цих витрат необхідно провести цілий комплекс заходів [14]:

- вдосконалити планування потреб і нормування витрат БР для виробничих підрозділів будівельних організацій;
- мінімізувати (усунути) втрати від браку у виробництві і втрати ресурсів при їх постачанні;
- максимально скоротити відходи виробництва і ефективно використовувати вторинні ресурси;
- доставляти БР від постачальників великими партіями з максимальним використанням вантажопідйомності транспортних засобів при мінімальних тарифах;
- виключити проміжне складування БР при доставці;
- мінімізувати запаси ресурсів на всіх рівнях складської системи.

У модель вводяться обмеження, що враховують реальні можливості впровадження логістичних заходів, які обумовлені лімітами матеріально-технічних, технологічних і фінансових потоків-ресурсів [12,13].



Перехід до ринкових відносин з урахуванням логістичних і системотехнічних підходів розширює права і обов'язки організації, яка збільшує можливості для прояву ініціативи у виборі форм і засобів підвищення технологічного рівня виробництва.

Тому при плануванні розвитку будівельного виробництва неодмінним етапом роботи є економічне обґрунтування і прийняття рішення щодо максимізації економічних результатів.

## **1.2 Дослідження взаємозв'язку логістичної системи будівельної логістики і розвитку будівництва**

Потік матеріальний логістичний – потік виробництва, закупівель, збуту, зберігання і доставки, що представляється як єдине ціле і що складається з постачальників, складів, виробництва, розподілу і споживачів. Початковим елементом при плануванні цього потоку є попит на продукцію [14].

Матеріальний потік, рухаючись від первинного джерела сировини через ланцюг виробничих, транспортних і посередницьких ланок до кінцевого споживача, постійно збільшується у вартості. Проведені у Великобританії дослідження показали, що у вартості продукту, що потрапив до кінцевого споживача, більше 70% складають витрати, пов'язані із зберіганням, транспортуванням, упаковкою і іншими операціями, що забезпечують просування матеріального потоку [3,4,10,12,13,14,21].

Висока частка витрат на будівельну логістику в кінцевій ціні товару показує, які резерви зниження витрат містить оптимізація управління матеріальними потоками.

Розглянемо головні доданки економічного ефекту від застосування підходів будівельної логістики до управління матеріальними потоками будівельних ресурсів у виробництві БМР:

- оптимізувати запаси матеріального потоку будівельних ресурсів БР для виконання БМР;
- скоротити час проходження будівельних ресурсів по логістичному ланцюгу;
- понизити транспортні витрати;
- скоротити витрати ручної праці і відповідні витрати на операції з вантажем.

Значна частка економічного ефекту досягається за рахунок оптимізації запасів на всьому шляху руху матеріального потоку БР. За даними Європейської промислової асоціації, крізний моніторинг матеріального потоку забезпечує зниження матеріальних запасів на 30-70% (за даними промислової асоціації США зниження запасів відбувається в межах 30-50%) [9,12,19,21,].

Висока значущість оптимізації запасів пояснюється наступним: у загальній структурі витрат логістики це витрати на збереження запасів, що складають більше 50%, включаючи витрати на управлінський апарат, а також витрати від псування або крадіжки товарів; велика частина оборотного капіталу підприємств, як правило, відвернута в запаси (від 10 до 50% всіх активів підприємств); у виробництві витрати за змістом запасів складають до 25-30% від загального об'єму витрат [8,11,14].

Оптимізація системи при використанні будівельної логістики забезпечується за рахунок високого ступеня узгодженості дій учасників логістичних процесів, за рахунок підвищення надійності поставань, за рахунок раціональності розподілу запасів, а також по ряду інших причин.

Наступна складова економічного ефекту від застосування будівельної логістики утворюється за рахунок скорочення часу проходження БР по логістичному ланцюгу. Сьогодні в загальних витратах часу, що відводяться на складування, виробничі операції і доставку, витрати часу на власне виготовлення продукту праці складають в середньому від 2 до 5%.

Таким чином, понад 95% часу обороту доводиться на логістичні операції. Скорочення цієї складової дозволяє прискорити оборотність капіталу, відповідно збільшити прибуток, що отримується в одиницю часу, понизити собівартість продукції [13].

Економічний ефект від застосування будівельної логістики виникає також від зниження транспортних витрат. Оптимізуються маршрути руху транспорту, узгоджуються графіки, скорочуються неодружені пробіги, поліпшуються інші показники використання транспорту.

Логістичний підхід створює також умови для поліпшення багатьох інших показників функціонування системи, оскільки удосконалюється її загальна організація, підвищується взаємний зв'язок окремих ланок, поліпшується керованість.

Сукупний економічний ефект від використання будівельної логістики, як правило, перевищує суму ефектів від поліпшення перерахованих показників. Це пояснюється виникненням у логістичних систем так званих інтеграційних властивостей; тобто якостей, які властиві всій системі в цілому, але не властиві жодному з елементів окремо.

Інтеграційні якості логістичних систем є здатністю цих систем реалізовувати кінцеву мету будівельної логістики, яка отримала назву «Шість правил логістики» [4,14,16]:

- продукт – потрібний продукт;
- якість – необхідної якості;
- кількість – у необхідній кількості;
- час – повинен бути доставлений в потрібний час;
- місце – в потрібне місце;
- витрати – з мінімальними витратами.

Мета логістичної системи будівельної логістики вважається досягнутою, якщо ці шість умов виконано, тобто потрібний продукт необхідної якості у необхідній кількості доставлений в потрібний час в потрібне місце з мінімальними витратами [14,26,].

Приклад застосування будівельної логістики в процесі доведення залізобетонних конструкцій із заводів на будівельні об'єкти. Відоме прислів'я «дорога ложка до обіду» в логістиці означає, що вантаж, доставлений вчасно, може цінуватися набагато дорожче, ніж доставлений раніше або пізніше.

У інформаційному центрі зосереджується і обробляється інформація про потребу будівельних об'єктів в тих або інших залізобетонних виробках, інформація про наявність парку панелевозів, що діє, а також про виробничі потужності заводів. Інформаційний центр щодня розробляє графіки доставки залізобетонних конструкцій з вказівкою постачальника і одержувача кожної деталі, а також номери автомобіля, що здійснює перевезення. Графіки розробляються з точністю до хвилин. Залізобетонна панель доставляється із заводу на будівельний майданчик до того моменту, коли монтажникам потрібно встановлювати саме її, і подається на поверх будівлі, що зводиться, прямо «з коліс», тобто безпосередньо з автомобіля-панелевоза (більш подрібніше було розглянуто в главі 4 даної роботи).

Логістична система будівельної логістики з доставки залізобетону дозволяє усунути необхідність вивантаження і зберігання конструкцій на будівельному майданчику, отже, зменшується потреба в запасах, а також потреба в розмірах самого майданчика. Будинок може зводитися серед дерев, а не серед території, заставленої не вчасно завезеними або бракованими будівельними конструкціями. Скорочується потреба в людях, техніку, фінансах. Економічні і екологічні переваги очевидні [15,16,18].

Обов'язкові умови функціонування логістичної системи [9,10,12,13]:

- наявність транспорту, технічних засобів на заводах і будівельних об'єктах, технологічно зв'язаних один з одним, а також з параметрами залізобетонних виробів (техніка);
- чітко визначено, хто і що повинен робити, як робити, в якій послідовності (технологія);
- вирішено транспортні задачі, тобто задачі оптимізації маршрутів руху автомобільного транспорту, складені графіки доставки (математика);

– економічні інтереси учасників взаємопов'язані (економіка).

Результатом функціонування системи є наявність потрібного виробу, в потрібній кількості, потрібної якості, в потрібний час, в потрібному місці, з мінімальними витратами.

Це ми розглянули тільки на одному з видів будівельних конструкцій і з погляду підприємства, а не будівельної організації. А якщо розглядати з погляду будівельної організації, якою для забезпечення будівельних об'єктів необхідний організувати і управляти матеріальними потоки (матеріали, конструкції, вироби і так далі), інформаційними потоки, фінансовими потоками і потоками трудових ресурсів (рис. 1.2) – це зв'язок між будівельною організацією і підприємствами буд індустрії [3].



Рисунок 1.2 – Схема логістичної системи будівельної організації

На думку складу вітчизняних фахівців-вчених таких як: Денисенка М.П., П.Р. Левковця, Л.І. Михайлової [13] «Логістична система складається з трьох основних блоків виробничого процесу: постачання, виробництва, збуту.

Постачання полягає в транспортуванні сировини і матеріалів, комплектуючих, запасних частин, оформленні договору з постачальниками, виборі постачальника, оформленні замовлення та ін.

Виробництво – безпосередня зміна фізико-хімічних і геометричних властивостей матеріалу з метою отримання кінцевої продукції. Логістичний підхід до виробництва полягає в мінімізації сумарних витрат на виробництво.

Збут продукції включає транспортування продукції, вибір виду транспорту, вибір перевізника (експедитора), укладення договору із замовниками (споживачами) та ін.».

Логістична система будівельної логістики характеризується рядом властивостей [13]:

1) сумісністю елементів системи (забезпечується єдністю кінцевої мети);

2) взаємозв'язком елементів логістичної системи будівельної логістики за рахунок міжсистемних зв'язків (у зовнішніх системах взаємозв'язок забезпечується укладенням договору між сторонами, у внутрішній логістичній системі взаємозв'язок забезпечується внутрішньовиробничими відносинами елементів);

3) зв'язком між елементами системи будівельної логістики, що мають певну впорядкованість, організацію;

4) інтегральною властивістю (жоден елемент системи будівельної логістики окремо не здатний виконати функції системи, тобто закупівлі, виробництво і збут з мінімізацією загальних витрат; кожен елемент системи може працювати і досягти кінцевої логістичної мети тільки в сукупності з іншими елементами).

Об'єкти логістичної системи будівельної логістики:

1) підприємства і організації, що мають рахунок в банці, власний друк, самостійний баланс (промислові, будівельні, транспортні, постачальницько-збутові організації);

2) регіональні і міжрегіональні комплекси — паливно-енергетичні, енергетичні системи і об'єднання і ін.

Всі об'єкти, що діють за межами логістичної системи, відносяться до зовнішнього середовища і входять в інші логістичні системи.

Загальноприйняте поняття зовнішніх зв'язків для бізнесу – зв'язків з постачальниками і замовниками – є неприйнятним для логістичної системи: для логістичного підходу до управління зв'язок з постачальниками і споживачами є єдиною системою, єдиним логістичним ланцюгом, і розглядати підприємство окремо від інших ланок ланцюга не можна.

Залежно від виду логістичних ланцюгів в системі будівельної логістики підрозділяються на:

1) логістичні системи з прямими господарськими зв'язками (системи з прямими зв'язками – «товаровиробник – покупець», «посередник – покупець»; такі зв'язки характеризуються простою організацією, і їх може бути не одна, а множина);

2) ешелоновані логістичні системи (система характеризується логістичними зв'язками середньої складності; така система застосовується більшістю організацій, які використовують посередників для перевезення своєї продукції або купують сировину і матеріали у посередників);

3) гнучкі логістичні системи (змішані системи, в яких можуть бути і прямі прості логістичні зв'язки і зв'язки середньої складності; такі системи набули найбільшого поширення).

### **1.3 Оптимізаційні моделі економічних процесів в будівництві**

В теперішній час найбільш поширеною моделлю для вирішення оптимізаційних завдань розвитку будівництва є лінійна модель, що складається з набору обмежень на значення змінних параметрів у вигляді системи лінійних нерівностей і лінійної цільової функції, значення якої необхідно оптимізувати. Рішення такої задачі визначається основною теоремою лінійного програмування. Існує достатньо багато методів рішення цієї задачі [3,4,6,20,21,24].

Проте, більш поглиблений аналіз лінійної моделі і збільшення кількості чинників що впливають на поведінку моделі дозволяє виділити два основні

недоліки такого підходу до моделювання економічних процесів в будівництві.

По-перше, застосування тільки лінійних обмежень і цільової функції сильно спрощує модель і ускладнює пошук оптимального рішення, якщо необхідно розглянути декілька наборів постійних коефіцієнтів. При такому підході моделі з різними значеннями коефіцієнтів нерівностей і цільової функції – це різні моделі. Для кожної з них можна знайти оптимальне значення цільової функції, але як знайти оптимальне рішення для всіх можливих наборів значень коефіцієнтів?

Звичайно, можна сформувати масив наборів коефіцієнтів, для кожного набору знайти оптимальне значення цільової функції і з них вибрати глобальний оптимум. Проте кількість різних наборів коефіцієнтів експоненціально зростає із збільшенням числа різних значень кожного коефіцієнта. Крім того, у разі вибору значення коефіцієнта з безперервного інтервалу такий підхід просто непридатний.

Виходом з ситуації, що склалася, може стати перехід до використання нелінійної цільової функції, але для таких завдань відсутні загальні методи рішення.

Якщо ж використовувати в рівнянні цільової функції замість постійних коефіцієнтів лінійні рівняння, доповнивши систему обмежень нерівностями, що накладають обмеження на діапазон зміни коефіцієнтів, можна отримати квазілінійну оптимізаційну модель, для якої пошук оптимального рішення буде не набагато складніше, ніж для лінійної моделі.

Приклад побудови такої моделі буде розглянутий нижче.

По-друге, використання скалярної функції як цільова не дозволяє оптимізувати моделі відразу по декількох параметрах, а це часто буває необхідно.

У зв'язку з цим представляє інтерес використання вектор-функцій (тобто функції векторного аргументу, значенням якої є вектор) як цільова. При цьому проблему впорядкування векторів можна вирішити, вводячи



різні норми на просторі векторів-значень цільової функції, більш того, використовуючи різні норми для однієї моделі, можна диференційовано змінювати значущість кожного параметра в оптимальному рішенні.

Нами запропонована модель алгоритму зв'язків логістичних заходів з будівельними процесами, яка враховує і зв'язку є логістичні заходи на макрорівні з виробничими процесами БМР та відображає єдність циклу: виробництво – ЛЗ – ефективності від зв'язку ( рис. 1.3).

Квазілінійна оптимізаційна модель Побудову квазілінійної оптимізаційної моделі розглянемо на прикладі моделювання впроваджуваних ЛЗна процеси будівництва об'єкту.

Як початкова модель побудуємо звичайну лінійну модель.

У таблиці 1.1 приведений перелік БМР та їх характеристики, моделі, що є параметрами. Як величина, що оптимізується, виберемо економічний ефект.

Таблиця 1.1 – Перелік робіт будівельного процесу

X	Найменування робіт	Од. вим.
1	2	3
Здійснення виробництва робіт по зведенню каркаса будівлі		
Організація технологічного процесу по монтажу монолітних залізобетонних конструкцій		
X1	Улаштування залізобетонних колон	м <sup>3</sup>
X2	Улаштування плит перекриттів	м <sup>3</sup>
Організація технологічного процесу по монтажу збірних залізобетонних конструкцій		
X3	Установка сходових маршів	шт
X4	Установка сходових майданчиків	шт
Організація технологічного процесу по монтажу зовнішніх і внутрішніх стінних конструкцій		
X5	Мурування зовнішніх стін з газобетонних блоків	м <sup>3</sup>
X6	Мурування внутрішніх стін з цегли	м <sup>3</sup>

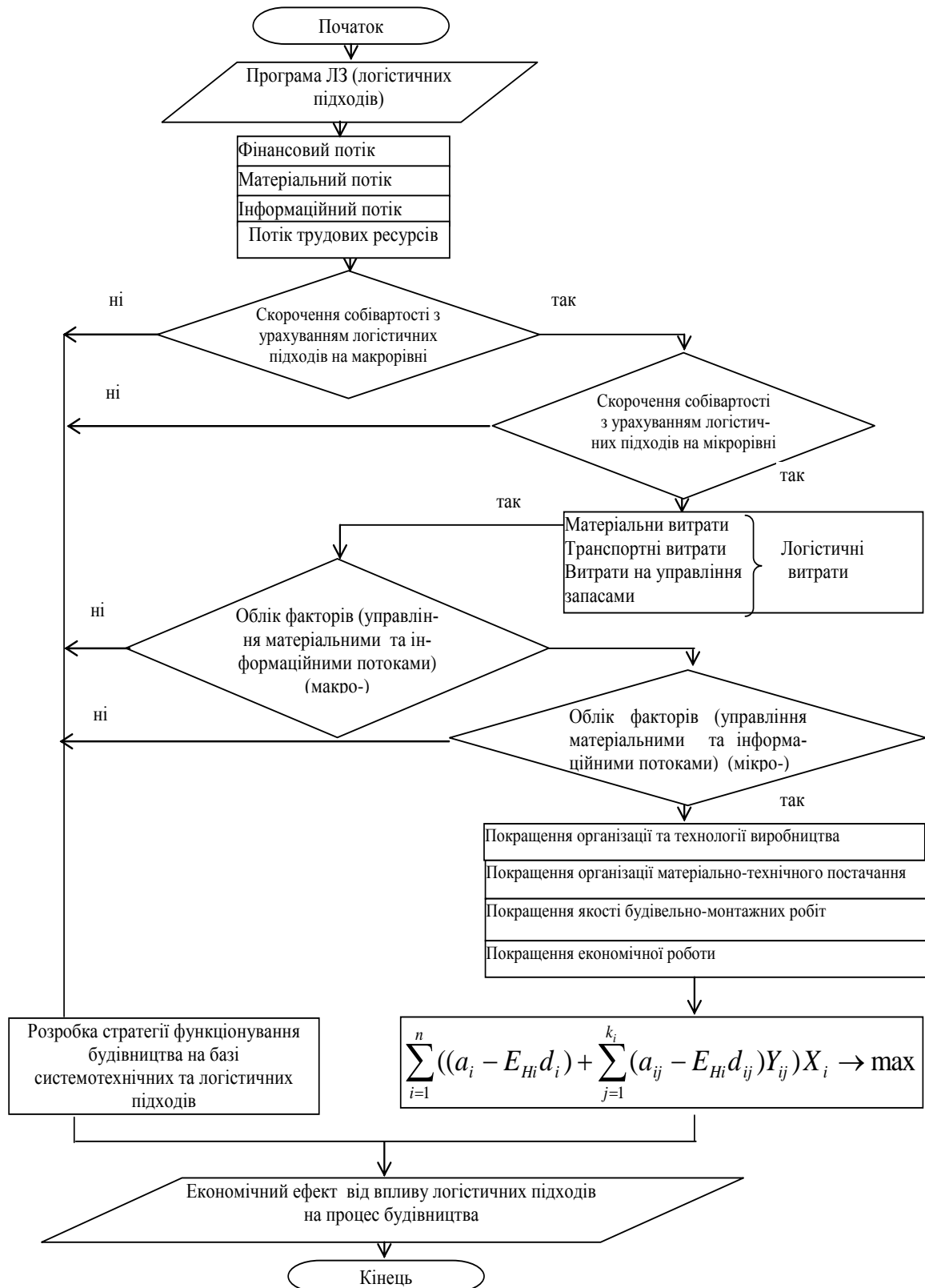


Рисунок 1.3 – Модель алгоритму зв'язків логістичних заходів з будівельними процесами БМР

Таблиця 1.2 – Дані до переліку робіт будівельного процесу згідно кошторису

X	Об'єми даного виду робіт	собівартість робіт на од. вим. грн.	питомі кап. вкладення грн.	трудомісткості на од. вим. чол-дн.	на макс.обсяг робіт		
					собівартості робіт	витрати праці	кап. вкладення
1	2	3	4	5	7	8	9
X1	40	1417	1580	498	56680	19920	63200
X2	55	1390	1470	376	76450	20680	80850
X3	20	138,855	157	319	2777,09	6380	3140
X4	20	135,019	159	344	2700,38	6880	3180
X5	90	1467	1520	15	132030	1350	136800
X6	70	1385,15	1420	18	96960,5	1260	99400

У першій колонці приведені змінні, які оптимізуються, у відповідних осередках їх параметри.

Дане завдання вирішується одним з методів лінійного програмування, який є універсальним для вирішення завдань даного типу.

Проте приведена вище модель дуже спрощена, вимагає знання конкретних параметрів (наприклад зниження собівартості по кожному заходу виробничого процесу) і, найголовніше, не дозволять оптимізувати цільову функцію варіюючи цими параметрами.

Наприклад, провівши додаткове навчання працівників, можна добитися ще більшого зниження трудовитрат, яке залежатиме від кількості тих, що пройшли навчання.

При цьому постійні коефіцієнти в другій нерівності додаткових обмежень приведеної вище моделі перестають бути константами, а вся модель в цілому стає нелінійною.

Розглянемо детальніше цей спосіб розширення можливостей лінійної моделі.

Введемо логістичні заходи, що впливають на параметри моделі і перетворюючи постійні коефіцієнти її рівнянь і нерівностей в змінні.

Перелік логістичних можливостей приведений в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Перелік додаткових можливостей

Y	Найменування заходів	Од. вим.	логістичні витрати на од. вим. грн.	трудомісткість на од. вим. чол-дн..	Додат. питомі капітал. вкладення на од. вим. грн	Макс. об'єми	Зв'язок з параметрами (табл 6.1)
1	2	3	4	5	6	7	8
Y <sub>11</sub>	Попередня комплектація (концепція КТБК)	компл	155	0,2	175	20	X1
Y <sub>12</sub>	Використання концепції «Точно-вчасно»	м <sup>3</sup>	125	2	155	40	X1
Y <sub>21</sub>	Використання концепції «Точно-вчасно»	м <sup>3</sup>	145	3	125	55	X2
Y <sub>22</sub>	Попередня комплектація (використання концепції КТБК)	компл.	120	0,5	115	35	X2
Y <sub>31</sub>	Оптимізація постачань (частота поставок, своєчасна закупівля) за допомогою логістичної концепції «Lean production»	шт.	107	3	115	20	X3
Y <sub>32</sub>	Страховий запас матеріалів (потрібний для запобігання наслідкам можливих перебоїв в постачанні, роботі транспорту і порушень термінів постачання) застосування системи MRP I і MRP II	шт.	110	2	120	20	X3
Y <sub>41</sub>	Оптимізація постачань (частота поставок, своєчасна закупівля) за допомогою логістичної концепції «Lean production»	шт	107	2	110	20	X4
Y <sub>42</sub>	Використання концепції «Точно-вчасно»	шт.	110	1	125	20	X4
Y <sub>51</sub>	Оптимізація постачань (частота поставок, своєчасна закупівля) за допомогою логістичної концепції «Lean production»	1000шт т	165	2,5	175	34,20	X5
Y <sub>52</sub>	Використання концепції «Точно-вчасно»	1000шт т.	145	0,5	165	34,20	X5
Y <sub>61</sub>	Використання концепції «Точно-вчасно»	1000шт т.	125	0,5	135	26,60	X6
Y <sub>62</sub>	Попередня комплектація (концепція КТБК)	компл	135	0,2	140	13,30	X6

Таким чином, повністю процес, який моделюється, відбувається таким чином:

1. Проводяться заходи з виконання БМР виробничого процесу приведені в таблиці 1.1
2. Для кожного з них проводяться логістичні заходи з таблиці 1.2., які впливають на параметри виконання БМР виробничого процесу з таблиці 1.1.

Для прикладу розглянемо як впливає ЛЗ ( $Y_{11}$  і  $Y_{12}$ ) на зниження собівартості БМР ( $X_1$ ).

На одиницю застосування виробничого процесу  $X_1$  собівартість становить 1417 грн, крім того, кожен додатковий засіб з комплектації (захід  $Y_{11}$ ) на ту ж одиницю збільшує зниження собівартості на 155 грн. і при цьому застосування концепції «Точно-вчасно» (захід  $Y_{12}$ ) на ту ж одиницю збільшує зниження собівартості на 125 грн., тим самим загальне зниження собівартості складе  $1417 + 155 \cdot Y_{11} + 125 \cdot Y_{12}$ . Аналогічним чином визначається решта параметрів приведених заходів.

Повний перелік формул, що змінюють параметри виробничого процесу з таблиці 1.1 приведений в таблиці 1.4.

Економічний ефект при проведенні кожного заходу збільшиться на величину рівну різниці зниження собівартості частини додаткових питомих капітальних витрат для кожного виробничого процесу з таблиці 1.1 та 1.2.

Формули для економічного ефекту для всіх робіт з таблиці 1.2. приведені в таблиці 1.5.

Розширивши таким чином можливі значення параметрів, можна легко перетворити побудовану раніше лінійну модель в квазілінійну. Це досягається простою заміною постійних значень параметрів з таблиці 1.2 формулами з таблиць 1.4 і 1.5.

Таблиця 1.4 – Повний перелік формул, що змінюють параметри виробничого процесу

X	Процеси виконання БМР за рахунок ЛЗ	Зниження собівартості БМР за рахунок логістичних витрат на од. вим. грн.	Зниження трудомісткості на од. вим. чол-дн.	Дод. питомі. кап. вкладення. грн.
1	2	3	4	5
X <sub>1</sub>	Здійснення улаштування залізобетонних колон	$1417+155 \bullet Y_{11}+125 \bullet Y_{12}$	$498+0,2 \bullet Y_{11}+2 \bullet Y_{12}$	$1580+175 \bullet Y_{11}+155 \bullet Y_{12}$
X <sub>2</sub>	Здійснення улаштування плит перекриттів	$1390+145 \bullet Y_{21}+120 \bullet Y_{22}$	$376+3 \bullet Y_{21}+0,5 \bullet Y_{22}$	$1470+125 \bullet Y_{21}+115 \bullet Y_{22}$
X <sub>3</sub>	Здійснення безперервного технологічного процесу з установки сходових маршів за рахунок резервування необхідних матеріальних ресурсів	$138+107 \bullet Y_{31}+110 \bullet Y_{32}$	$319+3 \bullet Y_{31}+2 \bullet Y_{32}$	$157+115 \bullet Y_{31}+120 \bullet Y_{32}$
X <sub>4</sub>	Здійснення безперервного технологічного процесу з установки сходових майданчиків за рахунок резервування необхідних матеріальних ресурсів	$135+107 \bullet Y_{41}+110 \bullet Y_{42}$	$344+2 \bullet Y_{41}+1 \bullet Y_{42}$	$159+110 \bullet Y_{41}+125 \bullet Y_{42}$
X <sub>5</sub>	Здійснення безперервного технологічного процесу з мурування зовнішніх стін з газобетонних блоків за рахунок резервування необхідних матеріальних ресурсів	$1467+165 \bullet Y_{51}+145 \bullet Y_{52}$	$15+2,5 \bullet Y_{51}+0,5 \bullet Y_{52}$	$1520+175 \bullet Y_{51}+165 \bullet Y_{52}$
X <sub>6</sub>	Здійснення безперервного технологічного процесу з мурування внутрішніх стін з цегли за рахунок резервування необхідних матеріальних ресурсів	$1385+125 \bullet Y_{61}+135 \bullet Y_{62}$	$18+0,5 \bullet Y_{61}+0,2 \bullet Y_{62}$	$1420+135 \bullet Y_{61}+140 \bullet Y_{62}$

Таблиця 1.5 – Зведена економіко-математична модель параметрів виробничого процесу

X	Річний економ. ефект на од. вим. грн.
<b>I</b>	<b>2</b>
X <sub>1</sub>	(1417+155 • Y <sub>11</sub> +125 • Y <sub>12</sub> ) – 0,15 • (1580+175 • Y <sub>11</sub> +155 • Y <sub>12</sub> )
X <sub>2</sub>	(1390+145 • Y <sub>21</sub> +120 • Y <sub>22</sub> ) – 0,15 • (1470+125 • Y <sub>21</sub> +115 • Y <sub>22</sub> )
X <sub>3</sub>	(138+107 • Y <sub>31</sub> +110 • Y <sub>32</sub> ) – 0,15 • (157+115 • Y <sub>31</sub> +120 • Y <sub>32</sub> )
X <sub>4</sub>	(135+107 • Y <sub>41</sub> +110 • Y <sub>42</sub> ) – 0,15 • (159+110 • Y <sub>41</sub> +125 • Y <sub>42</sub> )
X <sub>5</sub>	(1467+165 • Y <sub>51</sub> +145 • Y <sub>52</sub> ) – 0,15 • (1520+175 • Y <sub>51</sub> +165 • Y <sub>52</sub> )
X <sub>6</sub>	(1385+125 • Y <sub>61</sub> +135 • Y <sub>62</sub> ) – 0,15 • (1420+135 • Y <sub>61</sub> +140 • Y <sub>62</sub> )

Результат такої заміни приведений нижче.

1) Загальні обмеження

$$X_1 \leq 40; \quad X_2 \leq 55; \quad X_3 \leq 20; \quad X_4 \leq 20; \quad X_5 \leq 90; \quad X_6 \leq 70$$

$$-X_1 \leq 0; \quad -X_2 \leq 0; \quad -X_3 \leq 0; \quad -X_4 \leq 0; \quad -X_5 \leq 0; \quad -X_6 \leq 0$$

1а) Додаткові обмеження на додаткові параметри з таблиці 6.2.

$$Y_{11} \leq 20; \quad Y_{12} \leq 40; \quad Y_{21} \leq 55; \quad Y_{22} \leq 35; \quad Y_{31} \leq 20; \quad Y_{32} \leq 20;$$

$$Y_{41} \leq 20; \quad Y_{42} \leq 20; \quad Y_{51} \leq 34,2; \quad Y_{52} \leq 34,2; \quad Y_{61} \leq 26,6; \quad Y_{62} \leq 13,3;$$

$$-Y_{11} \leq 0; \quad -Y_{12} \leq 0; \quad -Y_{21} \leq 0; \quad -Y_{22} \leq 0; \quad -Y_{31} \leq 0; \quad -Y_{32} \leq 0;$$

$$-Y_{41} \leq 0; \quad -Y_{42} \leq 0; \quad -Y_{51} \leq 0; \quad -Y_{52} \leq 0; \quad -Y_{61} \leq 0; \quad -Y_{62} \leq 0;$$

2) Додаткові обмеження, відповідно до вимог

зниження собівартості

$$-(1417+155 \cdot Y_{11}+125 \cdot Y_{12}) \cdot X_1 - (1390+145 \cdot Y_{21}+120 \cdot Y_{22}) \cdot X_2 - (138+107 \cdot Y_{31}+110 \cdot Y_{32}) \cdot X_3 - (135+107 \cdot Y_{41}+110 \cdot Y_{42}) \cdot X_4 - (1467+165 \cdot Y_{51}+145 \cdot Y_{52}) \cdot X_5 - (1385+125 \cdot Y_{61}+135 \cdot Y_{62}) \cdot X_6 \leq -110000$$

зниження витрат праці

$$-(498+0,2 \cdot Y_{11}+2 \cdot Y_{12}) \cdot X_1 - (376+3 \cdot Y_{21}+0,5 \cdot Y_{22}) \cdot X_2 - (319+3 \cdot Y_{31}+2 \cdot Y_{32}) \cdot X_3 - (344+2 \cdot Y_{41}+1 \cdot Y_{42}) \cdot X_4 - (15+2,5 \cdot Y_{51}+0,5 \cdot Y_{52}) \cdot X_5 - (18+0,5 \cdot Y_{61}+0,2 \cdot Y_{62}) \cdot X_6 \leq -13000$$

додаткові капітальні вкладення

$$(1580+175 \cdot Y_{11}+155 \cdot Y_{12}) \cdot X_1 + (1470+125 \cdot Y_{21}+115 \cdot Y_{22}) \cdot X_2 + (157+115 \cdot Y_{31}+120 \cdot Y_{32}) \cdot X_3 + (159+110 \cdot Y_{41}+125 \cdot Y_{42}) \cdot X_4 + (1520+175 \cdot Y_{51}+165 \cdot Y_{52}) \cdot X_5 + (1420+135 \cdot Y_{61}+140 \cdot Y_{62}) \cdot X_6 \leq 150000$$

3) Цільова функція, яка максимізує річний економічний ефект

$$\begin{aligned} & ((1417+155 \cdot Y_{11}+125 \cdot Y_{12}) - 0,15 \cdot (1580+175 \cdot Y_{11}+155 \cdot Y_{12})) \cdot X_1 + \\ & + ((1390+145 \cdot Y_{21}+120 \cdot Y_{22}) - 0,15 \cdot (1470+125 \cdot Y_{21}+115 \cdot Y_{22})) \cdot X_2 + \\ & + ((138+107 \cdot Y_{31}+110 \cdot Y_{32}) - 0,15 \cdot (157+115 \cdot Y_{31}+120 \cdot Y_{32})) \cdot X_3 + \\ & + ((135+107 \cdot Y_{41}+110 \cdot Y_{42}) - 0,15 \cdot (159+110 \cdot Y_{41}+125 \cdot Y_{42})) \cdot X_4 + \\ & + ((1467+165 \cdot Y_{51}+145 \cdot Y_{52}) - 0,15 \cdot (1520+175 \cdot Y_{51}+165 \cdot Y_{52})) \cdot X_5 + \\ & + ((1385+125 \cdot Y_{61}+135 \cdot Y_{62}) - 0,15 \cdot (1420+135 \cdot Y_{61}+140 \cdot Y_{62})) \cdot X_6 \rightarrow \max \end{aligned}$$

Узагальнюючи розглянутий вище приклад побудови квазілінійної моделі, можна сказати, що в загальному вигляді квазілінійна модель виглядає точно також, як і звичайна лінійна, тільки замість констант в обмежуючих нерівностях і цільовій функції можуть бути лінійні функції. При цьому до моделі додаються група нерівностей, що обмежують діапазон значень змінних від яких залежать лінійні функції коефіцієнтів.

Загальна квазілінійна оптимізаційна модель економічних процесів в будівництві. При розгляді програми реалізації будівельно-монтажних робіт (БМР) з метою зменшення витрат праці, собівартості і збільшення економічного ефекту здійснюється впровадження  $n$  логістичних заходів на виконання БМР.

Кожна одиниця виробництва БМР ( $X_i, 1 \leq i \leq n$ ) має собівартість робіт  $a_i$  грн., трудовитрати при проведенні робіт на  $b_i$  чол.-дн., збільшення економічного ефекту на  $c_i$  грн. і можливі  $d_i$  грн. додаткові капітальні вкладення при впливі ЛЗ. При цьому максимальні обсяги виконання БМР складають  $m_i$  одиниць. У розрахунку загального річного економічного ефекту додаткові капітальні вкладення беруть участь з урахуванням нормативного коефіцієнта  $E_{ni}$ .

Таким чином, одиниця виробництва БМР характеризується набором параметрів  $X_i (a_i, b_i, c_i, E_{ni} \cdot d_i, m_i)$ , (при  $1 \leq i \leq n$ ).



Крім того, кожний безпосередньо впроваджений виробничий процес може модифікуватися за рахунок проведення  $k_i$  логістичних заходів (ЛЗ).

Кожна одиниця ЛЗ ( $Y_{ij}$ ,  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq k_i$ ) додатково забезпечує для відповідного виробничого процесу ( $X_i$ ,  $1 \leq i \leq n$ ) зниження собівартості робіт на  $a_{ij}$  грн., зниження трудовитрат при проведенні робіт на  $b_{ij}$  чол.-дн., збільшує річний економічний ефект на  $c_{ij}$  грн. і вимагає  $d_{ij}$  грн. додаткових капітальних вкладень.

При цьому максимальні обсяги впровадження ЛЗ ( $Y_{ij}$ ,  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq k_i$ ) складають  $m_{ij}$  одиниць.

Таким чином, кожне ЛЗ характеризується набором параметрів  $Y_{ij}$  ( $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ ,  $c_{ij}$ ,  $E_{ni} * d_{ij}$ ,  $m_{ij}$ ), (при  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq k_i$ ).

Таке розширення оптимізаційної моделі приводить до того, що параметри виконання будівництва  $X_i$  ( $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $E_{ni} * d_i$ ,  $m_i$ ) перестають бути константами і виражаються як лінійні функції від параметрів ЛЗ ( $Y_{ij}$ ,  $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq k_i$ ).

У цьому випадку цільова функція, що визначає сумарний ефект, набуває вигляду (1.1):

$$\sum_{i=1}^n ((a_i - E_{ni} d_i) + \sum_{j=1}^{k_i} (a_{ij} - E_{ni} d_{ij}) Y_{ij}) X_i \rightarrow \max \quad (1.1)$$

Повний набір обмежень на значення невідомих квазілінійній оптимізаційної моделі умовно можна розбити на три групи:

1) Максимальні обсяги впроваджених заходів виробничого процесу, з урахуванням їх позитивності  $0 \leq X_i \leq m_i$ , для кожного  $i$  из  $1 \leq i \leq n$

2) Максимальні об'єми впроваджених ЛЗ для відповідного заходу виробничого процесу, з урахуванням їх невід'ємності

$$0 \leq Y_{ij} \leq m_{ij}, \text{ для кожного } i \text{ из } 1 \leq i \leq n \text{ и } j \text{ из } 1 \leq j \leq k_i$$

3) Додаткові обмеження на загальні параметри моделі

3.1 Зниження собівартості за формулою (1.2):

$$\sum_{i=1}^n (a_i + \sum_{j=1}^{k_i} a_{ij} Y_{ij}) X_i \geq A \quad (1.2)$$

3.2 Зниження витрат праці за формулою (1.3):

$$\sum_{i=1}^n (b_i + \sum_{j=1}^{k_i} b_{ij} Y_{ij}) X_i \geq B \quad (1.3)$$

3.3 Додаткові капітальні витрати за формулою (1.4):

$$\sum_{i=1}^n (d_i + \sum_{j=1}^{k_i} d_{ij} Y_{ij}) X_i \geq D \quad (1.4)$$

Сукупність приведених вище обмежень у вигляді нерівностей і цільової функції є загальним формулюванням квазілінійного оптимізаційного завдання з обмеженнями показана на рисунку 1.4.

Опис алгоритму

1. Перевіряється значення лічильників точок і спроб. Якщо хоч би один з них досяг максимального значення, то виконання програми припиняється.

2. Формується рівномірне випадкове число в діапазоні від 0 до максимального значення змінної. Число формується N разів, де N – сумарна кількість основних і додаткових змінних. Максимальне значення змінної вибирається для відповідної змінної. У результаті виходить точки в N-мірному просторі, координати якої не перевищують максимальне значення відповідної змінної.

3. Перевіряється приналежність точки області, в якій шукається рішення. Для цього координати підставляються у формули додаткових обмежень і, якщо всі нерівності стають істинними, точка належить області. Інакше точка області не належить і відкидається. Лічильник крапок при цьому не змінюється, лічильник спроб збільшується на одиницю.

4. Якщо точка належить області, розраховуються коефіцієнти цільової функції і обмежень для значень додаткових змінних з координат отриманої точки з області. Квазілінійне завдання стає лінійним.

5. Вирішується отримане лінійне завдання стандартним симплекс-методом.

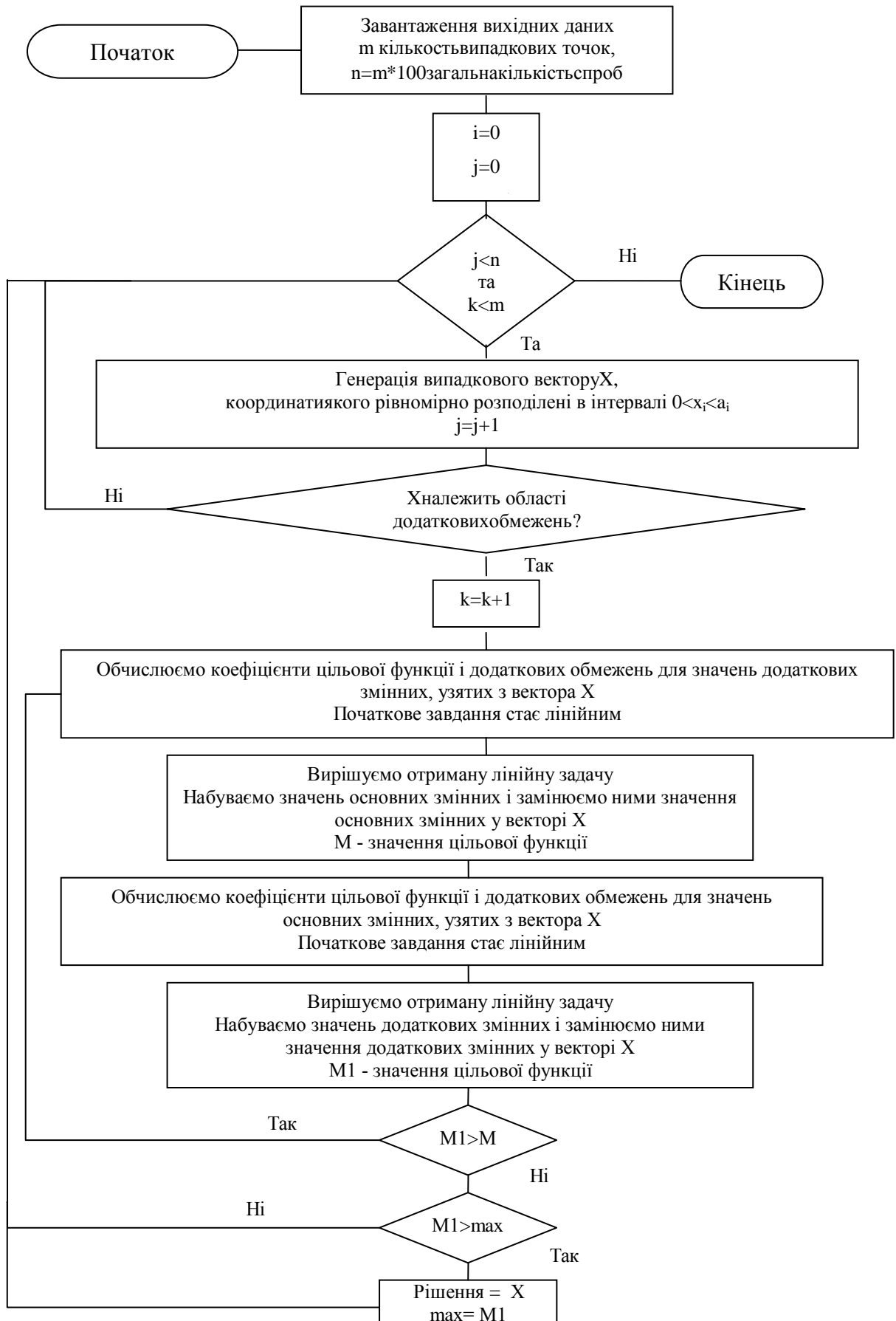


Рисунок 1.4 – Алгоритм пошуку оптимальних заходів на базі квазілінійної моделі

Формується рішення квазілінійної задачі, при цьому значення додаткових змінних беруться з координат точки, значення основних – з отриманого рішення.

Визначається значення цільової функції для сформованого вирішення.

6. розраховуються коефіцієнти цільової функції і обмежень для значень основних змінних з координат сформованого рішення.

Квазілінійне завдання стає лінійним.

7. Вирішується отримане лінійне завдання стандартним симплекс-методом.

Формується рішення квазілінійної задачі, при цьому значення основних змінних беруться з попереднього рішення, значення додаткових – з отриманого рішення.

Визначається значення цільової функції для сформованого вирішення.

8. Якщо значення цільової функції, отримане на кроці 7 більше отриманого на кроці 5, як рішення береться рішення отримане на кроці 7, інакше і повторюються кроки з 4 по 7, при цьому як точка області для кроку 4 береться рішення отримане на кроці 7.

Інакше обробка точки області, отриманої по методу Монте Карло припиняється.

9. Порівнюється значення цільової функції отримане на кроці 8 і максимальне значення цільової функції, отримане при обробці попередніх точок області.

Якщо останнє значення більше попереднього, як рішення береться крапка, отримана на кроці 8 і максимальне значення цільової функції для цього рішення.

10. Здійснюється перехід на крок 1.

## 1.4 Алгоритм рішення квазілінійної оптимізаційної задачі

Аналіз рівнянь цільової функції і обмежень дозволяє зробити наступні висновки про властивості квазілінійного завдання.

- 1) Допустима область значень визначається як безліч точок в  $s = n + \sum_{i=1}^n k_i$ -мірному просторі. Набір обмежень на основні і додаткові змінні формує  $s$ -мірний паралелепіпед в просторі.
- 2) Кожен доданок кожної додаткової нерівності є  $k_i + 1$ -мірною сідлоподібною поверхню в  $s$ -мірному просторі. Отже, сума таких поверхонь представляє вже  $s-1$ -мерну сідловидну поверхню. Ця поверхня відсікає частину в  $s$ -мірному паралелепіпеді, перетин всіх частин напівпросторів і паралелепіпеда формують допустиму область рішень квазілінійної задачі. Межами цієї області будуть частини сідловидних поверхонь і, в загальному випадку, площин, що обмежують паралелепіпед.
- 3) Цільова функція також є  $s$ -мірною сідловидною поверхнею, областю допустимих значень якої є область, описана в пункті 2.

Специфічний вид цільової функції дозволяє сформулювати деякі її властивості, що дозволяють визначити властивості рішення квазілінійної задачі (рис. 1.5).

Такими властивостями є – безперервність, дифференцируемість, монотонність по кожній змінній і відсутність екстремумів.

Враховуючи перераховані властивості можна зробити висновок, що максимальне (мінімальне) значення цільової функції в допустимій області рішень знаходиться на межі допустимої області.

Ця властивість рішення квазілінійної задачі дозволяє застосувати для його знаходження послідовне знаходження рішення лінійної задачі (зафіксувавши частину змінних) симплекс-методом з подальшого коректування області рішень і зміні набору шуканих змінних.

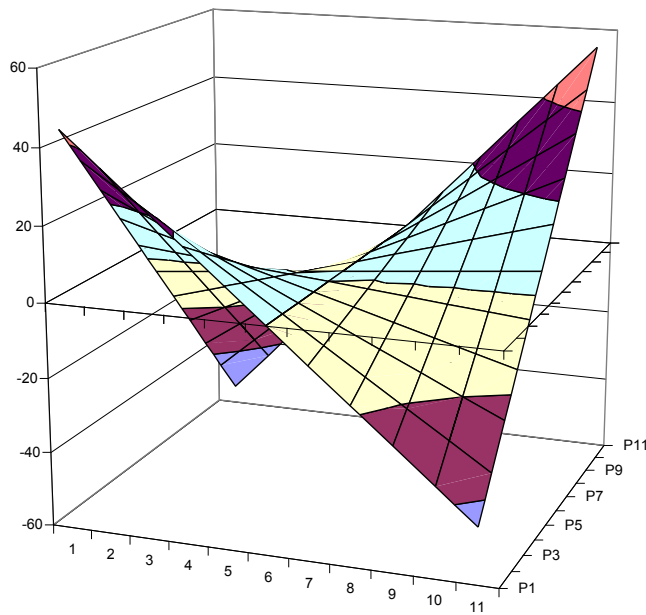


Рисунок 1.5 – s-1-мірна сідловидна поверхня

Пропонується наступний алгоритм пошуку рішення:

Спочатку задаємо фіксовані значення додаткових змінних. При цьому коефіцієнти при основних змінних у цільовій функції і додаткових обмежень стають константами і завдання в цілому перетворюється на лінійне. Цю задачу вирішуємо стандартним симплекс-методом і знаходимо значення основних змінних, що доставляють максимум цільової функції в області, що є n-мірне перетином допустимої області загального завдання при фіксованих значеннях додаткових змінних.

На наступному кроці фіксуємо знайдені значення основних змінних і перераховуємо коефіцієнти цільової функції і додаткових обмежень. Таким чином квазілінійне завдання знову перетворюється на лінійну на  $\sum_{i=1}^n k_i$ -мірному перетині допустимої області при фіксованих значеннях основних змінних. Області, на яких шукається рішення на першому і другому кроках ортогональні.

Отриману таким чином лінійну задачу також вирішуємо стандартним симплекс-методом і знаходимо координати додаткових змінних, що доставляють максимум цільової функції.

Максимум, знайдений на другому кроці, не може бути менше максимуму на першому кроці, оскільки обидві області мають хоч би одну загальну крапку (крапку з координатами основних змінних, знайдених на першому кроці і координатами додаткових змінних, заданими початковою точкою).

Процедуру завершуємо, якщо максимуми на двох послідовних кроках відрізняються менше ніж на задану величину. Знайдене рішення може не доставляти абсолютного максимуму, а зійтися в області локального. Для виключення подібних випадків використовується метод Монте-Карло для генерації початкової точки. Для кожної з них знаходиться максимум і з них вибирається абсолютний.

Точність і надійність даного методу залежить щільності початкових точок в допустимій області.

Опис програми пошуку рішення квазілінійної оптимізаційної задачі.

Програма розрахунку максимальних значень цільової функції квазілінійного оптимізаційного завдання з обмеженнями складається з двох основних модулів – інтерфейсу введення параметрів обмежень, цільової функції і точки входу (початкової точки), і модуля ітераційного пошуку рішення з використанням симплекс-метода.

Вікно введення даних полягає і чотирьох частин, організованих у вигляді закладок (рис. 1.6).

На закладці «Переменные и значения» задаються максимально допустимі значення основних і додаткових змінних. За умовчанням передбачено введення чотири основних ( $X_i$ ) і п'яти додаткових ( $Y_i$ ) змінних. Мінімальне значення для кожної змінної вважається рівним нулю. При необхідності для додавання або видалення змінних (основних і додаткових)

можна скористатися кнопками «добавить/удалить», розташованих внизу кожного списку.

На закладці «Ограничения» задаються додаткові обмеження. У верхній частині вікна розташовані елементи, що управляють, – вибір номера додаткового нерівності-ограничителя, кнопки «добавить/удалить» додаткова нерівність.

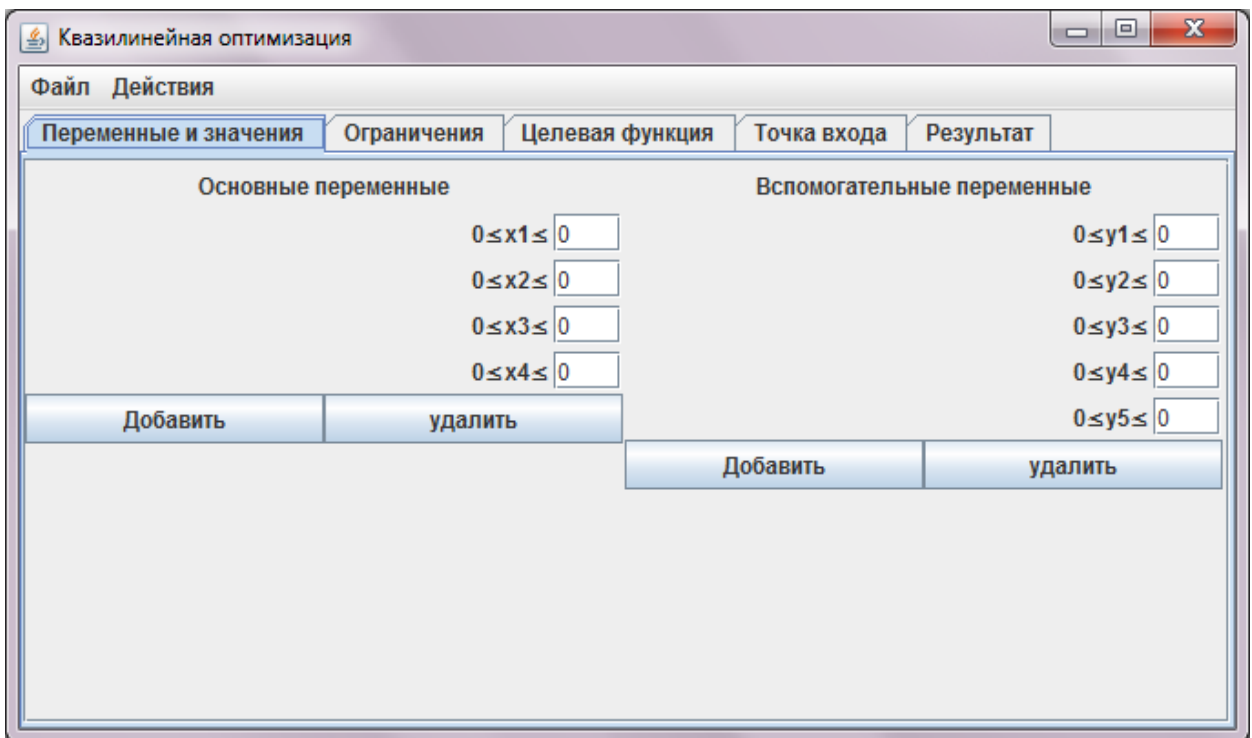


Рисунок 1.6 – Вікно введення даних програми «Квазілінійна оптимізація»

Даними, що вводяться, є коефіцієнти при додаткових змінних і константи (коефіцієнти) при основних змінних. Для отримання нерівності в звичному вигляді, необхідно кожен коефіцієнт  $i$ -того рядка помножити на відповідний  $Y_i$ , додати значення з поля const і отриману суму помножити на відповідний  $X_i$ . Отримані вирази складаються і в результаті виходить вираз для додаткової нерівності.

Аналогічно заповнюються параметри наступних додаткових нерівностей.



Слід відмітити, що коефіцієнти при змінних додаткових нерівностей, ставляться з тим знаком, який виходить після приведення його до вигляду нерівність типу більше з нульовою правою частиною.

На закладці «Целевая функция» задаються параметри цільової функції. Параметри задаються аналогічно введенню параметрів додаткових нерівностей, тільки цільова функція при цьому приводиться до рівності з нульовою правою частиною.

Закладка «Точка входа» призначена для введення значення точки входу (початкової точки) ітераційного процесу.

Тут вводяться значення додаткових змінних, виступаючи як початкові для ітераційного процесу.

Введені параметри можна зберегти в текстовий файл, структура якого приведена в таблиці 1.5. Вивантаження здійснюється вибором в пункті меню «Файл» команди «Сохранить как».

Аналогічним чином можна завантажити дані з існуючого текстового файлу, як збереженого їх програми, так і сформованого уручну відповідно до приведеної структури.

У всіх рядках даних роздільники між однотипними значеннями – пропуски.

На закладці «Результат» відображаються результати розрахунку. Безпосередньо розрахунок запускається з пункту меню «Действие» командою «Рассчитать».

В результаті розрахунку відображається результати кожної ітерації.

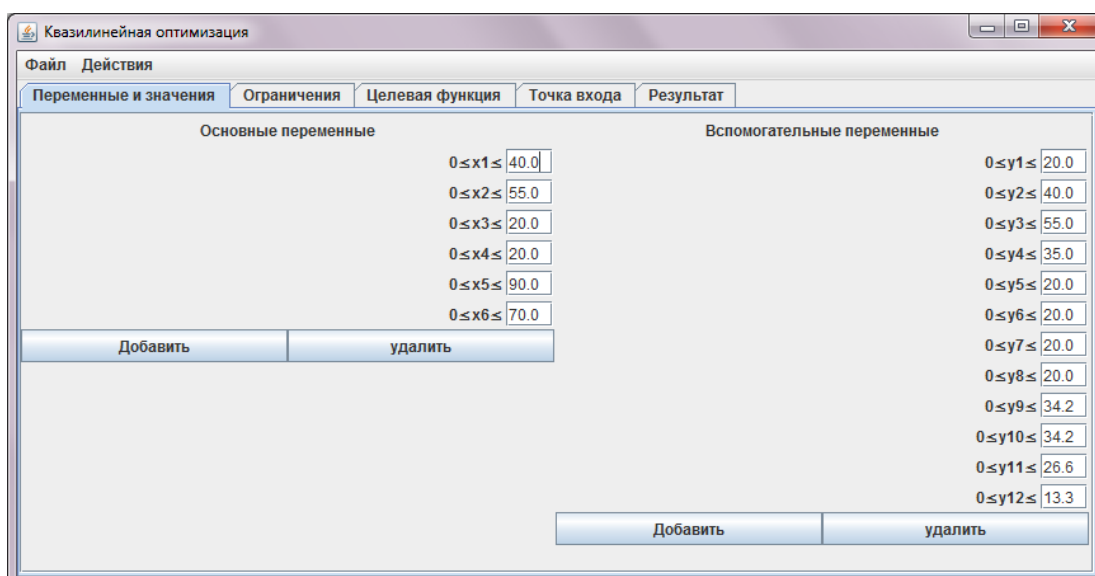
У другому рядку приведені значення основних змінних знайдені в результаті розрахунку, в третій – значення додаткових змінних, що є або точкою входу, або значеннями знайдені на наступному кроці алгоритму.

Таблиця 1.5 – Опис програми

№ ряд	Зміст даних	Закладка, на якій введені дані
1	Кількість основних змінних	Змінні і обмеження
2	Список максимальних значень основних змінних через пропуск	Змінні і обмеження
3	Кількість додаткових змінних	Змінні і обмеження
4	Список максимальних значень додаткових змінних через пропуск	Змінні і обмеження
5	Службова інформація	
6	Список координат точки входу через пропуск	Точка входу
7	Кількість нерівностей додаткових обмежень	Обмеження
8 і далі	Список коефіцієнтів додаткових нерівностей, кожен рядок якого – список коефіцієнтів для відповідної основної змінної через пропуск, останній рядок – константа нерівності. Кількість значень в кожному рядку повинна співпадати з кількістю додаткових змінних плюс один (константа), кількість рядків – з кількістю основних змінних плюс один (рядок константи)	Обмеження
	Останній набір у файлі по структурі співпадає із структурою опису додаткових нерівностей і є описом цільової функції.	Цільова функція

Початкове завдання розраховується в програмі «Квазілінійна оптимізація»

### 1. Введення початкових даних



## 2. Введення обмежень

Квазилинейная оптимизация

Файл Действия

Переменные и значения Ограничения Целевая функция Точка входа Результат

Редактируемое ограничение: 1

	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	const
x1	155.0	125.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1417.0
x2	0.0	0.0	145.0	120.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1390.0
x3	0.0	0.0	0.0	0.0	107.0	110.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	138.0
x4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	107.0	110.0	0.0	0.0	0.0	0.0	135.0
x5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	165.0	145.0	0.0	0.0	1467.0
x6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0	135.0	1385.0
const	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-11000

Квазилинейная оптимизация

Файл Действия

Переменные и значения Ограничения Целевая функция Точка входа Результат

Редактируемое ограничение: 2

	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	const
x1	0.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	498.0
x2	0.0	0.0	3.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	376.0
x3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	319.0
x4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	344.0
x5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.5	0.0	0.0	15.0
x6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	18.0
const	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13000.0

Квазилинейная оптимизация

Файл Действия

Переменные и значения Ограничения Целевая функция Точка входа Результат

Редактируемое ограничение: 3

	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	const
x1	-175.0	-155.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1580.0
x2	0.0	0.0	-125.0	-115.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1470.0
x3	0.0	0.0	0.0	0.0	-115.0	-120.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-157.0
x4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-110.0	-125.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-159.0
x5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-175.0	-165.0	0.0	0.0	-1520.0
x6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-135.0	-140.0	-1420.0
const	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	150000

## 3. Розрахунок цільової функції

	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	const
x1	128.75	101.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1342.3
x2	0.0	0.0	126.25	102.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1333.3
x3	0.0	0.0	0.0	0.0	89.75	92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.00
x4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.5	91.25	0.0	0.0	0.0	0.0	83.42
x5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	138.75	120.25	0.0	0.0	1464.75
x6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	104.75	114	1382.45
const	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

#### 4. Розрахунок точки введення

Квазилинейная оптимизация

Количество точек для расчёта:

#### 5. Проводимо розрахунок

Point: x1 = 40.00, x2 = 55.0,  
 x3 = 20.0, x4 = 20.00,  
 x5 = 90.0, x6 = 70.00,  
 y1 = 20.0, y2 = 40.0,  
 y3 = 55.0, y4 = 35.0,  
 y5 = 20.0, y6 = 20.0,  
 y7 = 20.0, y8 = 20.0,  
 y9 = 34.2, y10 = 34.2,  
 y11 = 26.6, y12 = 13.3  
 Value: 24483.914

Point:

$$x1 = 40.0, x2 = 55.0, x3 = 20.0, x4 = 20.0, x5 = 90.00, x6 = 70.0,$$

$$y1 = 20.0, y2 = 40.0,$$

$$y3 = 55.0, y4 = 35.0,$$

$$y5 = 20.0, y6 = 20.0,$$

$$y7 = 20.0, y8 = 20.0,$$

$$y_9 = 34.2, y_{10} = 34.2,$$

$$y_{11} = 26.6, y_{12} = 13.3$$

Value: 24483.914

Останній розрахунок показує, які логістичні заходи можна запроваджувати, як вони впливають на виробничий процес БМР.

Отримані результати дозволяють підвищити економічний ефект на 7% (24483.91400 грн) за рахунок раціонального впровадження логістичних заходів при реалізації будівельно-монтажних робіт, удосконалити моделювання процесів управління матеріальними та інформаційними потоками, що їх супроводжують, на основі розробленої архітектури моделювання.

## **Висновки до розділу 1**

1. Вирішено науково-прикладну задачу підвищення ефективності розвитку будівельного виробництва, як одній з основних підсистем загальної логістичної системи будівельної логістики при впровадженні оптимальних обсягів логістичних заходів на підставі управління матеріальними і інформаційними потоками на стиках і "нічийних зонах".

2. Встановлено, що для реалізації оцінки впроваджуваних обсягів виробничого процесу потрібний розгляд основних показників: собівартість і трудовитрати. Доведена необхідність розробки нової методики планування, організації і управління оптимальними обсягами виробничого процесу.

3. Аналіз досліджень показав, що найповніше завданням управління заходами відповідає використання методів квазілінійного моделювання. На основі цього методу відображена єдність моделі і взаємозв'язок всього комплексу варіантів виконання робіт, проведені інформаційний опис, який відповідає встановленим критеріям, виконаний пошук найбільш ефективного варіанту. На кожному етапі здійснення проекту аналіз квазілінійної моделі дає оперативну інформацію про стан заходів.

4. Реалізований підхід до рішення завдання, виконаний аналіз результатів вирішення прямих і подвійних завдань, встановлені переваги підходу.

5. Економічна ефективність полягає в підвищенні організації і технології, управлінні, науковій обґрунтованості і достовірності показників.

6. Безумовно економічний ефект, в результаті реалізації методики впровадження раціональної програми впливу логістичних заходів на виробничий процес складає 24483.91400грн.

7. Результати проведених досліджень можуть бути використані як в будівельних організаціях, так і на промислових підприємствах.

### **Перелік використаної літератури у розділі 1**

1. Алесинская Т.В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления: учеб. пособие. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2010. 116с.

2. Аникин Б.А., Тяпухин А.П. Коммерческая логистика: учебник. Москва, Проспект, 2013. 432 с.

3. Арутюнян І. А. Організація та управління будівельним комплексом на основі логістичних моделюючих умов: монографія. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 263 с.

4. Арутюнян І. А. Управління формуванням логістичних систем функціонування будівельного виробництва: монографія. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 308с.

5. Афанасьев А.А., Данилов Н.Н., Копылов В.Д. Технология строительных процессов: учебник. Москва: Высш. шк., 2001. 464с.

6. Бушуев С.Д., Михайлов В.С., Лямка С.Д. Автоматизирование системы управления строительством: учебник. Киев: Будівельник, 1989. 254с.

7. Воркут Т.А. Наукові основи управління логістичними системами в проектах розвитку ланцюгів постачань: дис. д-ра наук: 05.13.22. 2007. 473 с.

8. Волков В.П., Пшінько О.М., Павлов І.Д., Арутюнян І.А. Управління логістичними системами: навчальний посібник МОНУ. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2012. 259 с.
9. Гаджинский А. М. Логистика: учебник. 11-е изд., перераб. и доп. Москва: Издательство "Торговая корпорация "Дашков и К", 2005. 432с.
10. Гаджинский, А. М. Логистика: учебник для высших учебных заведений по направлению подготовки "Экономика". Москва: Дашков и К°, 2013. 420 с.
11. Герасимов, Б.И., Жариков В.В., Жариков В.Д. Основы логистики: учебник. Москва.: ИНФРА-М, 2010. 304 с.
12. Дадиверина Л.Н., Шостак Р.С. Основы логистики в организации производства: учебное пособие. Днепропетровск: Пороги, 2012. 166с.
13. Денисенко М.П., Левковець П.Р., Михайлова Л.І. Організація та проектування логістичних систем: підручник. Київ: Цент учбової літератури, 2010. 336с.
14. Жаворонков Е. П. Логистика в строительстве: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: 2010. 214 с.
15. Кірнос В.М. Розробка та аналіз планів реалізації будівельних проектів методами моделювання послідовності виконання БМР: посібник. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2000. 256с.
16. Кирнос В.М., ЗалунинВ.Ф., Дадиверина Л.Н. Организация строительства: учебник. Днепропетровск: «Пороги», 2005. 309 с.
17. Курочкин, Д. В. Логистика: [транспортная, закупочная, производственная, распределительная, складирования, информационная]: курс лекций. Минск: ФУАинформ, 2012. 268 с.
18. Логистическая организация капитального строительства: под ред. проф. В.Н. Стаханова. Ростов-на-Дону: РГСУ, 1998. 256с.
19. Неруш Ю. М. Логистика: учебник. Москва: Проспект, 2011. 517с.
20. Нечепуренко М.И., Попков В.К., Майнагашев С.М. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях: учеб. пособие. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1998. 515с.

21. Павлов І.Д., Аругюнян І.А., Терех М.Д., Павлов Ф.І. Виробнича база будівництва: навчально-методичний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2009. 240с.
22. Окландер М.А. Логістична система підприємства: монографія. Одеса: Астропринт, 2004. 312с.
23. Организация, экономика и управление строительством: учеб. пособие /Т.Н. Цай, Л.Н. Лаврецкий, А.Е. Лейбман, Г.К. Романова та ін.; под ред. Т.Н. Цая. Москва: Наука, главная ред. физ.-матем. лит.-ры, 2008. 367с.
24. Оре О. Теория графов. 2-е изд. Москва: Наука, главная ред. физ.матем. лит.-ры, 1980. 336с.
25. Організація будівництва: посібник. С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін. Київ: Кондор, 2007. 521 с.
26. Основы логистики: учебное пособие /под ред. Миротина Л.Б., Сергеева В.И. Москва: ИНФРА-М, 1999. 204с.
27. Смирчинський А., Смирчинський В., Мартинюк В. Логістичний менеджмент у будівництві: монографія. Тернопіль «ЗБРУЧ», 2006. 262с.
28. Тридід О.М., Азаренкова Г.М., Мішина С.В., Борисенко І.І. Логістика: навч. посіб. Київ: Знання, 2008. 566с.



## РОЗДІЛ 2

### МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОБ'ЄКТІВ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ ТА ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

#### Зміст до розділу 2

- 2.1 Загальні відомості
  - 2.2 Раціональні моделі природного середовища як основи для об'єктів міської забудови
  - 2.3 Взаємний впливу параметрів природної та антропогенної містобудівних систем
  - 2.4 Багатофакторна регресивна модель взаємодії об'єктів міської забудови та природного середовища
- Висновок до розділу 2
- Перелік використаної літератури у розділі 2

#### **2.1 Загальні відомості**

Близько 85 % території України складено певними інженерно-геологічними умовами, які в цілому класифікуються і відносяться до категорії складних для будівництва та експлуатації об'єктів міської забудови. До таких умов слід віднести лесові просідаючі та структурно-нестійкі ґрунти, заплавні ділянки річок з присутністю слабких мулистих ґрунтів. Велика кількість об'єктів міської забудови в процесі експлуатації піддається деформаційним впливам з боку основи, що призводить до нерівномірного осідання, і як наслідок, до зміни напружено-деформованого стану конструкцій будівель або споруд, а в деяких випадках – до зміни характеру і умов роботи окремих конструкцій і перерозподілу напружень в них.

Під впливами слід розуміти, наприклад, для просідаючих ґрунтів – виникнення і розвиток просадної воронки внаслідок замочування ґрунтової товщі, для структурно-нестійких ґрунтів – зсуви і осідання, для заплавних

ділянок річок, де проводиться наживпіщаних основ – нерівномірні деформації при навантаженні.

Останнім часом спостерігаються лавиноподібні явища, пов'язані із стрімким збільшенням кількості об'єктів міської забудови, зокрема багатопверхових житлових будівель, що мають незадовільний та аварійний технічний стан, при тому, що термін їх експлуатації, згідно до чинних будівельних норм [1], складає 100 років. Натомість, на даний момент, такі об'єкти експлуатуються лише 35...60 років. Впливам змін природного середовища під тиском антропогенних факторів також піддаються об'єкти інфраструктури, вулично-дорожньої мережі, стратегічного значення тощо.

Забезпечення сталих значень показників надійності та довговічності будівель і споруд протягом встановленого при проектуванні терміну експлуатації є одним із шляхів підвищення ефективності будівництва та в довготривалій перспективі – економії або відсутності необхідності виділення додаткових коштів на капітальні ремонти, реконструкцію, ліквідацію наслідків аварій та руйнувань від прогнозованих чинників і відновлення експлуатаційної придатності об'єктів міської забудови в умовах нестабільної економіки України.

Обчислювальні методи розрахунку конструкцій міських об'єктів та методи математичного і комп'ютерного моделювання, а також методи обліку та взаємодії об'єктів забудови з основами відображені в роботах сучасних вчених, таких як В. А. Банаха [2], М. С. Барабаш [3], А. С. Городецького [4], С. М. Клепікова [5, 6], С. Ф. Клованича, А. В. Перельмутера [7], Н. В. Савицького, В. І. Слівкерата ін.

В різний час дослідниками було запропоновано безліч різних розрахункових моделей суцільної ґрунтової основи, основними з яких є:

- модель Вінклера та її модифікації;
- моделі пружного півпростору та шару кінцевої товщини, що лінійно деформується (рекомендовані чинними нормативними документами);
- нелінійні пружно-пластичні моделі.

Одними з найактуальніших задач сучасних досліджень є розгляд і аналіз основних існуючих методів комп'ютерного моделювання ґрунтової основи, а також обґрунтування доцільності та можливості використання тривимірного масиву ґрунту в лінійній постановці у розрахунках системи «основа – фундамент – об'єкт забудови».

В монографії [8] висувалася та доводилася гіпотеза, що вирішення часткових проблем будівельної галузі та сфери міського господарства та шляхи їх запобігання слід шукати на містобудівному рівні – при прогнозуванні та плануванні розвитку міських територій (збудованих або таких, що тільки відводяться під освоєння), враховуючи комплекс природних умов та різноманітні антропогенні дії, а також їх змінення з часом та взаємний вплив.

В дослідженнях [9] окреслено множину факторів взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем, виражених у своїх обчислювальних параметрах, які є взаємно впливовими та, відповідно, взаємозалежними.

Таким чином, одним із завдань є реалізація механізму прогнозування розвитку збудованих територій у вигляді математичної моделі взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем на основі обчислювального аналізу параметрів навколишнього середовища та діючих зовнішніх факторів.

У якості вихідних даних дослідження розглядаються фактичні результати натурних досліджень та інженерних вишукувань. Параметри визначалися для одних і тих же збудованих територій з різницею у 25 років, що дозволяє дослідити зміни умов природного середовища та антропогенного тиску на нього у часовій області [10, 11].

Математичні методи, використані далі, застосовано та апробовано у дослідженнях в інших галузях науки, техніки та архітектури [12, 13], тому доцільно за аналогією застосувати їх для вирішення проблемних питань містобудування. В роботі [12] є система ознак, притаманних різноманітним факторам, а також проводиться багатофакторний аналіз цієї системи, який

ґрунтується на базових поняттях і методах, наведених у [14].

## **2.2 Раціональні моделі природного середовища як основи для об'єктів міської забудови**

Для забезпечення надійної та безаварійної експлуатації об'єктів міської забудови на всіх етапах їх життєвого циклу в складних інженерно-геологічних умовах рекомендується проведення перевірочних та прогностичних розрахунків, особливо в разі виникнення передумов до розвитку нерівномірних осідань основи. Такі розрахунки, що виконані за певними алгоритмами і методиками, дозволяють відстежувати, аналізувати та прогнозувати зміни напружено-деформованого стану будівельних конструкцій.

Сучасні вітчизняні програмні комплекси дають можливість створювати високоточні комп'ютерні моделі систем «об'єкт забудови – фундамент – основа» з необхідним ступенем деталізації.

Згідно з нормативними документами [15, 16], нормальна експлуатація та підвищення довговічності об'єктів міської забудови забезпечується усуненням нерівномірних осідань та обмеженням абсолютних і відносних переміщень фундаментів та над фундаментних конструкцій, а також запобігання наступу граничних станів I і II групи для будівельних конструкцій відповідно до нормативних документів [17, 18].

Сьогодні у вітчизняних програмних комплексах, наприклад, у ПК «ЛІРА-САПР», є можливість проводити розрахунок ґрунтової основи за різними моделями, в основі яких лежить тривимірна модель ґрунту, побудована на основі інженерно-геологічних досліджень. На підставі цієї моделі можна визначити значення коефіцієнтів постелі, що змінюються по площі будівлі, яка розраховується. У цьому випадку розрахунок проводиться за моделлю Вінклера. Тривимірну модель ґрунту можна тріангулювати, а кожному скінченному елементу (СЕ) привласнити жорсткісні характеристики

відповідно механічним властивостям ґрунту, до якого відноситься цей СЕ. Розрахунок будівель може також проводитися спільно з тривимірним масивом, що моделює ґрунтову основу, тобто розрахунок проводиться за моделлю пружного півпростору.

Комп'ютерна модель основи може бути складена наступними методами:

- за допомогою коефіцієнтів жорсткості пружної основи  $C_1$ ,  $C_2$ ;
- з використанням універсальних просторових ізопараметричних шестивузлових СЕ № 34 або восьмивузлових СЕ № 36 у пружній постановці;
- з використанням фізично нелінійних об'ємних СЕ № 273 ґрунту з можливістю завдання різних варіантів умов міцності (по теорії Кулона-Мора, Друккера-Прагера або Боткіна).

Численні дослідження показали, що розрахункову модель основи у вигляді змінних коефіцієнтів жорсткості (коефіцієнтів постелі  $C_1$  і  $C_2$ ) можна використовувати виключно для оцінки деформаційних впливів об'єктів міської забудови на ґрунтову основу за методикою, наведеною у [16].

Необхідно відзначити, що фізично нелінійні моделі дають результат відмінний від пружних моделей у лінійній постановці, що відображається на напружено-деформований стан будівельних конструкцій. А саме, згідно досліджень, що представлені у статті [19], прогини консольних частин будівлі, при моделюванні ґрунтової основи об'ємними фізично нелінійними СЕ на 10 % перевищують аналогічний результат, отриманий при моделюванні ґрунтової основи з використанням СЕ № 34, поздовжні зусилля в найбільш завантажених колонах – на 8...11 %, максимальні значення осідання фундаментних плит – на 7...20 %.

В деякій мірі, фізично нелінійні моделі ґрунтових основ більш точно описують роботу ґрунту з урахуванням його неоднорідності. Однак створення таких моделей вимагає великих затрат часу, при цьому істотно збільшується час самого розрахунку через нелінійність процесора. Для

більшості завдань з вибору розрахункових ситуацій та прогнозування зміни напружено-деформованого стану будівельних конструкцій досить використовувати моделі пружного півпростору в лінійній постановці.

Правомірність застосування лінійної теорії пружності до ґрунтів обґрунтовується тим, що відповідно до вимог [15] фундаменти повинні бути запроектовані так, щоб значення тиску на ґрунт від споруди не перевищувало 0,2...0,3 МПа, що дозволяє не зважати на не лінійність залежності осідань від тисків. Модуль деформації при цьому встановлюється за середнім значенням тангенса кута нахилу кривої «навантаження – осідання».

Моделювання ґрунтового середовища, що лінійно деформується, в ПК «ЛІРА-САПР» реалізується обчисленням осідань ґрунтової основи від заданих навантажень з використанням розрахункової схеми у вигляді півпростору, що лінійно деформується (задача Бусінеска).

У такої моделі приймаються два припущення:

1) осідання  $W(x, y)$  точки поверхні основи прямо пропорційне величині навантаження  $p(x, y)$  в цій точці;

2) осідання поширюється також за межі площі завантаження, що можна спостерігати на рис. 11.1.

На відміну від методу моделювання ґрунтової основи за допомогою коефіцієнтів постелі  $C_1$  і  $C_2$  модель півпростору, що лінійно деформується, при спільному розрахунку споруди з основою дозволяє визначити, крім контактних напружень, напружено-деформований стан ґрунту всієї основи. При такому моделюванні основи за допомогою об'ємних скінчених елементів, в якості вихідних даних вводяться тільки модуль загальних деформацій  $E$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu$  та питома вага кожного шару  $R_0$  (рис. 11.2).

Товщина шару регулюється завданням геометрії скінчених елементів. При цьому розрахункова модель ґрунтової основи фактично зводиться до шару, що стискається, та має кінцеву міцність. Деформацію ґрунту за допомогою лінійної моделі можна описати лише до певного рівня зусиль, за

межами яких лінійний зв'язок напружень та деформацій порушується. Нелінійність властивостей пояснюється утворенням незворотних структурних змін. Мікроруйнування є основною причиною дійсної не лінійності ґрунтової основи в області стискаючих напружень.

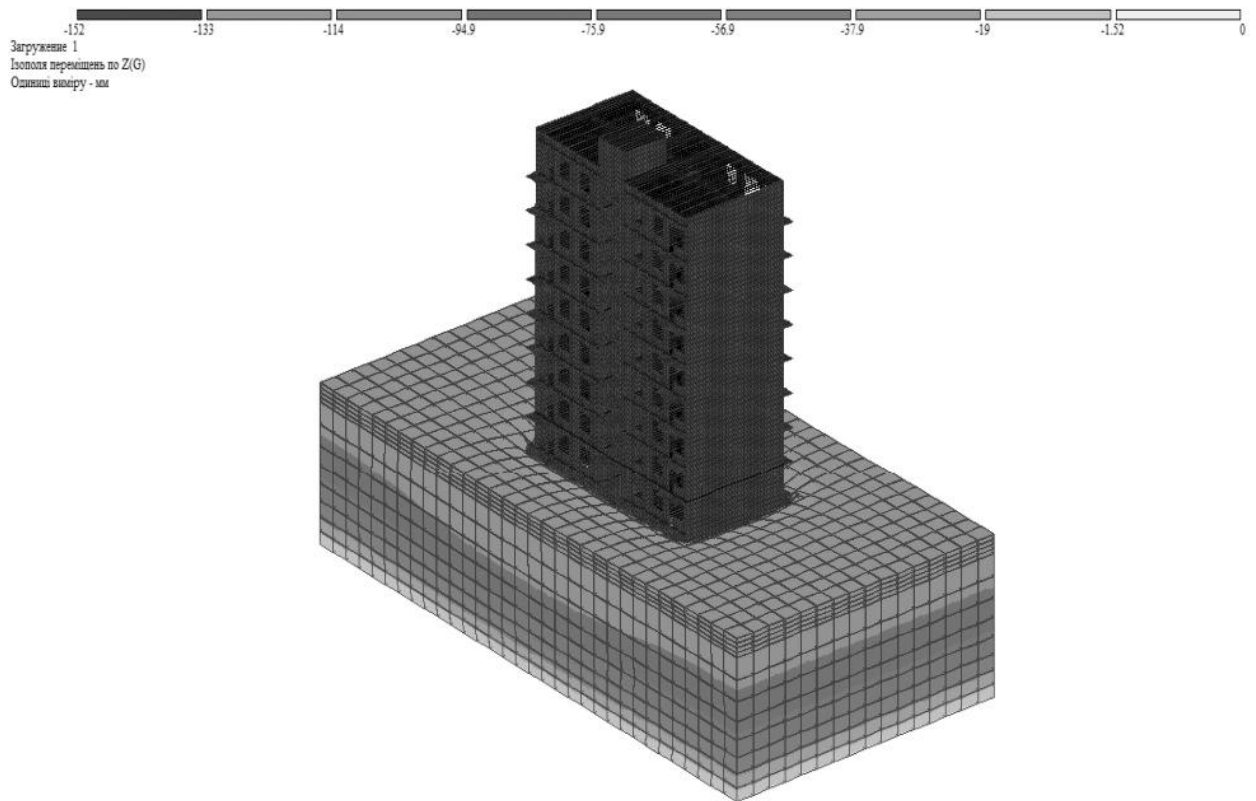


Рисунок 2.1 – Моделювання масиву ґрунту у вигляді основи, що лінійно деформується (модель пружного півпростору)

Однак для вирішення певного класу задач, пов'язаних з моделюванням впливів на забудову з боку основ, а також при прогнозуванні змін напружено-деформованого стану будівельних конструкцій, відображення ґрунтового середовища, у вигляді пружного півпростору достатньо [2]. При цьому дозволяється не враховувати фізичну нелінійність ґрунту, тому що кінцевим об'єктом дослідження є НДС будівельних конструкцій. Процеси, які відбуваються в масиві ґрунту, та які призводять до зміни його НДС не розглядаються, тому що в даному випадку не стоїть завдання дослідження впливу цих процесів на НДС конструкцій

міських об'єктів.

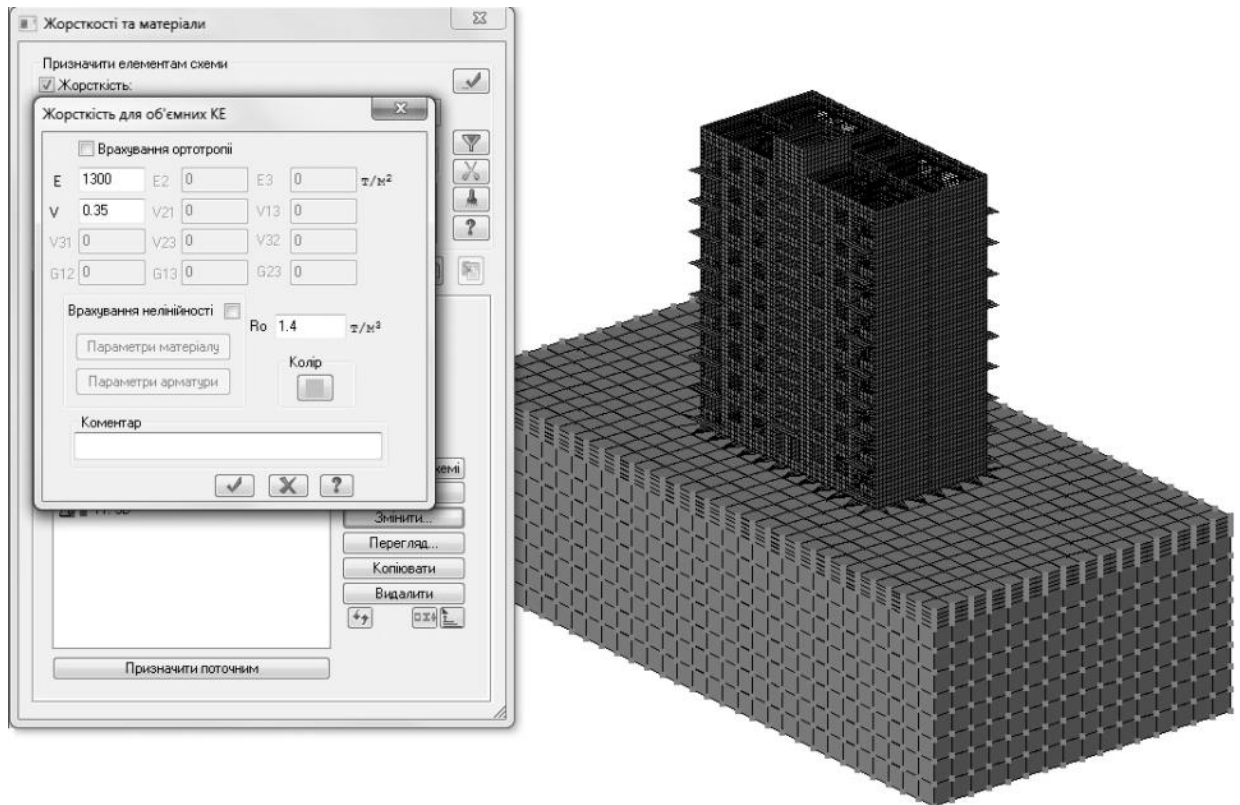


Рисунок 2.2 – Моделювання масиву ґрунту за допомогою об'ємних СЕ №34 та СЕ №36

Детальніше з результатами дослідження впливу фізичної нелінійності основи на зміну напружено-деформованого стану будівельних конструкцій можна ознайомитися у статті [19].

Модель ґрунтового масиву з об'ємних скінчених елементів, що пропонується та розглядається у цій статті, насамперед є лише середовищем для моделювання впливів з боку основи. Наприклад, моделювання впливу просадної воронки – зниженням міцності та характеристик жорсткості певних СЕ ґрунту.

Така модель врахування спільної роботи системи «основа – фундамент – об'єкт міської забудови» дозволяє стадійно розраховувати та проводити дослідження напружено-деформованого стану, а також дає можливість коригування параметрів моделі на кожному етапі розрахунку.



Наприклад, при проведенні обстеження об'єкту на предмет його подальшої реконструкції на першому етапі розрахунку оцінюється можливість та обсяги запланованої реконструкції без урахування просідання. За результатами розрахунку на даному етапі цілком можна судити про можливість та масштаб реконструкції, а також про доцільності подальшого дослідження НДС конструкцій об'єкту. На другому етапі проводиться розрахунок об'єкту спільно з основою. Отримані внутрішні зусилля і деформації (вертикальні і горизонтальні переміщення вузлів) порівнюються з гранично допустимими значеннями, які підраховуються згідно з чинними нормативними документами [15]. У разі, якщо отримані значення не перевищують гранично допустимих, виконується розрахунок системи «основа – фундамент – об'єкт міської забудови» на просідання від можливого замочування (третій етап), при цьому методом підбору треба визначити найбільш несприятливий варіант розташування просадної воронки щодо заданої системи.

У повсякденній практиці досить часто зустрічається ситуація, коли інженери обмежуються результатами розрахунку тільки першого або першого-другого етапу, не враховуючи інженерно-геологічні умови майданчика, а також можливість замочування основи під подошвою фундаменту. Оскільки переважна частина житлових і громадських будівель була побудована і введена експлуатацію в 70-80-х роках минулого століття, експлуатаційний термін підземних водоносних інженерних комунікацій вичерпаний, що підвищує ризик аварії та небезпеку просідання.

### **2.3 Взаємний впливу параметрів природної та антропогенної містобудівних систем**

У якості вихідних даних розглядаються результати інженерних вишукувань, наведені у [10, 11]. Параметри визначалися для одних і тих же територій міської забудови з різницею у 25 років, що дозволяє дослідити

зміни умов природного середовища та антропогенного тиску на нього у часовій області.

Враховуючи багатофакторність процесу, для створення математичної моделі пропонується застосувати кореляційний аналіз впливу параметрів взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем.

Обраний математичний метод застосовувався і апробований у дослідженнях в інших галузях науки, техніки та архітектури [12, 13], тому доцільно за аналогією використати його для вирішення проблемних питань містобудування. В роботі [12] є система ознак, притаманних різноманітним факторам, а також проводиться багатофакторний аналіз цієї системи, який ґрунтується на базових поняттях і методах, наведених у [14].

З усієї сукупності факторів, пов'язаних в систему, необхідно обрати одну результативну ознаку – функцію, а всі інші слід вважати факторними ознаками – змінними аргументами функції, кожна з яких виражає той чи інший параметр і вимірюється в одиницях цього параметру.

У якості результативної ознаки  $Y$  можна обирати будь-який фактор, однак найбільш показовим (небезпечним) для об'єктів забудови на даній території є осідання (просідання) ґрунту  $s$ .

Факторні ознаки позначаються  $X_1 \dots X_n$  (в даному випадку  $X_1 \dots X_8$ ) і виражають наступний набір характеристик елементів природної та антропогенної містобудівних систем, попередньо відібраних у [9]: час  $t$ ; параметр комплексу забудови  $P$ ; міцність ґрунту  $E$ ; питома вага ґрунту  $\gamma$ ; водонасиченість  $w$ , кут природного відкосу  $\varphi$ , зчеплення ґрунту  $c$ .

Забігаючи вперед до результатів розрахунку, потрібно оговорити той факт, що з набору параметрів після нульової ітерації розрахунку тимчасово був виключений один фактор, який вважається надважливим при дослідженні взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем, а саме – рівень ґрунтових вод, і подальший розрахунок проводився без його врахування.

На даному етапі дослідження з урахуванням рівня ґрунтових вод не

вдалося досягти тісного зв'язку між результативною ознакою та сукупністю факторних ознак, що входять до регресивної моделі, без чого побудова власне регресивної моделі процесу взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем не є можливою.

В той же час намічено шляхи включення вказаного фактору до моделі, починаючи від переформатування шкали вимірювання параметру, що відповідає даній факторній ознаці, й закінчуючи її інтеграцією у деякий сукупний показник природної (або антропогенної) системи, але це буде предметом одного з наступних досліджень.

Інформація про змінні величини, що характеризують природні та антропогенні фактори впливу, наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Інформація про змінні

Позначення признаку	Ознака	Одиниця вимірювання
Y	Осідання (просідання) ґрунту, s	м
X <sub>1</sub>	Час, t	рік
X <sub>2</sub>	Параметр комплексу забудови, P	т/м <sup>2</sup>
X <sub>4</sub>	Міцність ґрунту, E	МПа
X <sub>5</sub>	Питома вага ґрунту, γ	т/м <sup>3</sup>
X <sub>6</sub>	Водонасиченість, w	—
X <sub>7</sub>	Кут природного відкосу, φ	°
X <sub>8</sub>	Зчеплення ґрунту, c	МПа

Для того, щоб побудувати багатофакторну регресивну модель результативної ознаки осідання (просідання) ґрунту s, насамперед необхідно відібрати факторні ознаки у модель. З цією метою формується матриця парних коефіцієнтів кореляції, наведена в табл. 2.2.

В першому рядку цієї матриці розташовані коефіцієнти R<sub>yx</sub>, що характеризують тісноту взаємозв'язку результативної ознаки з кожною факторною ознакою.

Результати розрахунку багатомірної регресії незалежних змінних наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.2 - Парні коефіцієнти кореляції

	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
Y	1	0,9826	0,85076	-0,94659	0,98363	0,95853	0,97423	0,96774
X <sub>1</sub>	0,9826	1	0,91544	-0,98337	0,99935	0,99117	0,99482	0,98904
X <sub>2</sub>	0,85076	0,91544	1	-0,95074	0,91201	0,91918	0,9157	0,94139
X <sub>4</sub>	-0,94659	-0,98337	-0,95074	1	-0,98328	-0,97528	-0,97968	-0,98725
X <sub>5</sub>	0,98363	0,99935	0,91201	-0,98328	1	0,99045	0,99456	0,98717
X <sub>6</sub>	0,95853	0,99117	0,91918	-0,97528	0,99045	1	0,99271	0,97005
X <sub>7</sub>	0,97423	0,99482	0,9157	-0,97968	0,99456	0,99271	1	0,97742
X <sub>8</sub>	0,96774	0,98904	0,94139	-0,98725	0,98717	0,97005	0,97742	1

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку багатомірної регресії

Змінна	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення	Кореляція	Коефіцієнт регресії	T
X <sub>1</sub>	22,5	15,138	0,9826	0,01144	14,963
X <sub>2</sub>	93,25	38,134	0,85076	-0,0001289	4,5786
X <sub>4</sub>	55,6	26,086	-0,94659	0,003	-8,3034
X <sub>5</sub>	1,693	0,20216	0,98363	0,8844	15,439
X <sub>6</sub>	0,569	0,1979	0,95853	-0,7763	9,513
X <sub>7</sub>	22,28	2,2429	0,97423	0,0211	12,217
X <sub>8</sub>	0,281	0,10482	0,96774	-0,1522	10,864

При цьому залежна змінна (результативний признак) має:

- середнє значення – 0,222;
- середнє квадратичне відхилення – 0,15201.

Рівняння матриці парних коефіцієнтів кореляції має наступні значення власних показників:

- вільний член – -1,673;
- коефіцієнт множинної кореляції  $R_b$  – 0,99706;
- $S_{\text{зал.}}$  – 0,02471;
- кількість ступенів свободи  $k_1 = p - 7$ ;
- кількість ступенів свободи  $k_2 = n - p - 1 - 2$ ;
- $F_{\text{спос.}}$  – 48,369.

Аналізуючи отримані результати, спочатку потрібно розглянути вибірковий множинний коефіцієнт кореляції  $R_B = 0,99706$ .

Перш ніж робити висновок про тісноту взаємозв'язку між результативною ознакою та сукупністю факторних ознак, необхідно перевірити значущість вибіркового множинного коефіцієнту кореляції при рівні значущості 0,01. Для цього висувуються гіпотези:

$$H_0: R_{ген} = 0; \quad (2.1)$$

$$H_1: R_{ген} \neq 0. \quad (2.2)$$

Визначаються:

$$T_{спос.} = 18,401; \quad (2.3)$$

$$t_{крит.дв.}(0,01; 2) = 9,92. \quad (2.4)$$

Оскільки  $T_{спос.} > t_{крит.дв.}(0,01; 2)$ , нульова гіпотеза відкидається, отже справедливою є конкуруюча гіпотеза  $H_1: R_{ген} \neq 0$ . Таким чином,  $R_B = 0,99706$  є значущим, і зв'язок між результативною ознакою та сукупністю факторних ознак, що входять до регресивної моделі, тісний.

Також для побудови множинної регресивної моделі необхідно визначити коефіцієнт детермінації:

$$D = (R_B)^2 \cdot 100 \% = (0,99706)^2 \cdot 100 \% = 99,4129 \%. \quad (2.5)$$

Отже, варіація результативної ознаки (осідання або просідання ґрунту  $s$ ) в середньому на 99,4129 % пояснюється за рахунок варіації факторних ознак, що входять у модель (час  $t$ , параметр комплексу забудови  $P$ , міцність ґрунту  $E$ , питома вага ґрунту  $\gamma$ , водонасиченість  $w$ , кут природного відкосу  $\varphi$ , зчеплення ґрунту  $c$ ).

Множинна регресивна модель має вигляд:

$$Y = -1,673 + 0,01144 \cdot X_1 - 0,0001289 \cdot X_2 + 0,003 \cdot X_4 + \\ + 0,8844 \cdot X_5 - 0,07763 \cdot X_6 + 0,0211 \cdot X_7 - 0,1522 \cdot X_8. \quad (2.6)$$

Аналізуючи сформовану модель, необхідно перевірити її значущість при рівні значущості 0,01. Для цього висувуються гіпотези:

$$H_0: \text{ модель незначуща } (H_0: A_1 = A_2 = \dots = A_p = 0);$$

$$H_1: \text{ модель значуща } (H_1: \text{ хоча б одне } A_i \neq 0 \text{ та змінюється від } 1 \text{ до } p).$$

Нульова гіпотеза перевіряється за допомогою випадкової величини  $F$ , яка має розподіл Фішера-Снедекора. Визначається:

$$F_{\text{спос.}} = 48,369; \quad (2.7)$$

$$F_{\text{крит.}}(0,01; 7; 2) = 99,36. \quad (2.8)$$

Оскільки  $F_{\text{спос.}} < F_{\text{крит.}}(0,01; 7; 2)$ , правильною є нульова гіпотеза, тобто багатofакторна регресивна модель незначуща.

В такому випадку неможливо надалі продовжувати розрахунок: неможливо визначити ні зміст коефіцієнтів регресії – ступінь впливу на результативну ознаку, ані коефіцієнти еластичності моделі, що показують ступінь змінення значення результативної ознаки при зміненні будь-якої факторної ознаки на визначену величину.

Також неможливо скласти рівняння регресії в стандартизованому вигляді та визначити його коефіцієнти, за якими визначається значущість впливу тієї чи іншої факторної ознаки на результат. Відповідно, немає підстави для розрахунку похибки визначення залежної змінної (результуючого фактору), що має особливий науковий інтерес при побудові та перевірці моделі процесу, що розглядається.

## **2.4 Багатofакторна регресивна модель взаємодії об'єктів міської забудови та природного середовища**

Виходячи з попередньої ітерації визначення залежності, що формалізує взаємний вплив параметрів природної та антропогенної містобудівних систем, зрозуміло, що з усієї сукупності факторів, пов'язаних в єдину систему, необхідно обрати одну результуючу ознаку – функцію, а всі інші слід вважати факторними ознаками – змінними аргументами функції, кожна з яких виражає той чи інший параметр і вимірюється в одиницях цього параметру.

У якості результуючої ознаки  $Y$  можна обирати будь-який фактор, однак найбільш показовим (небезпечним) для об'єктів забудови на даній

території є осідання (просідання) ґрунту  $s$ .

Факторні ознаки позначаються  $X_1 \dots X_n$  (в даному випадку  $X_1 \dots X_2$ ) і виражають узагальнені характеристик елементів природної та антропогенної містобудівних систем, попередньо розглянуті у [9]. Враховуючи тривалість процесу деформування та вплив різних факторів на результуючу ознаку, у якості узагальнених параметрів доцільно обрати час  $t$  і параметр комплексу забудови (тиск на ґрунт або поверхню території)  $P$ .

Інформація про змінні величини, що характеризують природні та антропогенні фактори впливу, наведена в табл. 2.4.

Для того, щоб побудувати багатофакторну регресивну модель результуючої ознаки осідання (просідання) ґрунту  $s$ , насамперед необхідно відібрати факторні ознаки у модель. З цією метою формується матриця парних коефіцієнтів кореляції, наведена в табл. 2.5.

Таблиця 2.4 - Інформація про змінні

Позначення признаку	Ознака	Одиниця вимірювання
$Y$	Осідання (просідання) ґрунту, $s$	м
$X_1$	Час, $t$	рік
$X_2$	Параметр комплексу забудови (тиск на поверхню), $P$	т/м <sup>2</sup>

Таблиця 2.5 - Парні коефіцієнти кореляції

	$Y$	$X_1$	$X_2$
$Y$	1	0,99116	0,8759
$X_1$	0,99116	1	0,91544
$X_2$	0,8759	0,91544	1

В першому рядку цієї матриці розташовані коефіцієнти  $R_{yx}$ , що характеризують тісноту взаємозв'язку результуючої ознаки з кожною факторною ознакою.

Результати розрахунку багатомірної регресії незалежних змінних наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Результати розрахунку багатомірної регресії

Змінна	Середнє значення	Середнє квадратичне відхилення	Кореляція	Коефіцієнт регресії	T
X <sub>1</sub>	22,5	15,138	0,99116	0,01099	21,13
X <sub>2</sub>	93,25	38,134	0,8759	-0,0007248	5,1346

При цьому залежна змінна (результуючий признак) має:

- середнє значення – 0,217;
- середнє квадратичне відхилення – 0,14236.

Рівняння матриці парних коефіцієнтів кореляції має наступні значення власних показників:

- вільний член – 0,03625;
- коефіцієнт множинної кореляції  $R_B$  – 0,99424;
- $S_{\text{зал.}}$  – 0,017304;
- кількість ступенів свободи  $k_1 = p - 2$ ;
- кількість ступенів свободи  $k_2 = n - p - 1 = 7$ ;
- $F_{\text{спос.}}$  – 301,09.

Аналізуючи отримані результати, спочатку потрібно розглянути вибіркового множинного коефіцієнта кореляції  $R_B = 0,99424$ .

Перш ніж робити висновок про тісноту взаємозв'язку між результуючою ознакою та сукупністю факторних ознак, необхідно перевірити значущість вибіркового множинного коефіцієнту кореляції при рівні значущості 0,01. Для цього висувуються гіпотези:

$$H_0: R_{\text{ген}} = 0; \quad (2.9)$$

$$H_1: R_{\text{ген}} \neq 0. \quad (2.10)$$

Визначаються:

$$T_{\text{спос.}} = 24,539; \quad (2.11)$$

$$t_{\text{крит.дв.}}(0,01; 7) = 3,5. \quad (2.12)$$

Оскільки  $T_{\text{спос.}} > t_{\text{крит.дв.}}(0,01; 2)$ , нульова гіпотеза відкидається, отже справедливою є конкуруюча гіпотеза  $H_1: R_{\text{ген}} \neq 0$ . Таким чином,  $R_B =$



0,99424 є значущим, і зв'язок між результуючою ознакою та сукупністю факторних ознак, що входять до регресивної моделі, тісний.

Також для побудови множинної регресивної моделі необхідно визначити коефіцієнт детермінації:

$$D = (R_B)^2 \cdot 100 \% = (0,99424)^2 \cdot 100 \% = 98,8513 \%. \quad (2.13)$$

Отже, варіація результуючої ознаки (осідання або просідання ґрунту  $s$ ) в середньому на 98,8513 % пояснюється за рахунок варіації факторних ознак, що входять у модель (час  $t$ , параметр комплексу забудови – тиск на поверхню  $P$ ).

Множинна регресивна модель має вигляд:

$$Y = 0,03725 + 0,01099 \cdot X_1 - 0,0007248 \cdot X_2. \quad (2.14)$$

Аналізуючи сформовану модель, необхідно перевірити її значущість при рівні значущості 0,01. Для цього висуваються гіпотези:

$H_0$ : модель незначуща ( $H_0: A_1 = A_2 = \dots = A_p = 0$ );

$H_1$ : модель значуща ( $H_1$ : хоча б одне  $A_i \neq 0$  та змінюється від 1 до  $p$ ).

Нульова гіпотеза перевіряється за допомогою випадкової величини  $F$ , яка має розподіл Фішера-Снедекора. Визначається:

$$F_{\text{спос.}} = 301,09; \quad (2.15)$$

$$F_{\text{крит.}}(0,01; 2; 7) = 9,55. \quad (2.16)$$

Оскільки  $F_{\text{спос.}} > F_{\text{крит.}}(0,01; 7; 2)$ , нульова гіпотеза відкидається, дійсною є конкуруюча гіпотеза, тобто багатofакторна регресивна модель є значущою.

Зміст коефіцієнтів регресії полягає в тому, наскільки зміниться результуючий фактор (осідання ґрунту  $s$ ) при збільшенні відповідного факторного признаку на одиницю:

- при збільшенні часу  $t$  – на 0,01099;

- при збільшенні тиску на поверхню  $P$  – на  $-0,0007248$ .

Від коефіцієнтів регресії можна перейти до коефіцієнтів еластичності, які показують, на скільки відсотків зміниться результуючий фактор (осідання ґрунту  $s$ ) при збільшенні відповідного факторного признаку на 1 %:

- при збільшенні часу  $t$  – на 1,14;

- при збільшенні тиску на поверхню  $P$  – на  $-0,311$ .

Порівнюючи коефіцієнти еластичності за абсолютною величиною, можна стверджувати, що результуючий признак (осідання ґрунту  $s$ ) більш чутливіший до змінення факторного признаку часу  $t$ .

У стандартизованому масштабі рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 6,62 \cdot X_1 - 1,62 \cdot X_2. \quad (2.17)$$

Порівнюючи коефіцієнти рівняння за абсолютною величиною, можна стверджувати, що найбільший вплив на результуючий признак (осідання ґрунту  $s$ ) здійснює факторний признак час  $t$ .

Перераховуючи значення результуючого признаку (осідання ґрунту  $s$ ) за допомогою отриманого рівняння, можна одержати залишки визначення залежної змінної, наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Результати розрахунку багатомірної регресії

Задане значення	Визначене значення	Залишок	Відхилення, %
0,03	0,029	0,001	3,45
0,05	0,052	-0,005	-5,77
0,1	0,0983	0,0017	1,73
0,15	0,145	0,005	3,45
0,18	0,181	-0,001	-0,55
0,24	0,232	0,008	3,45
0,25	0,26	-0,01	-3,85
0,32	0,335	-0,015	-4,48
0,4	0,386	0,014	3,63
0,45	0,441	0,009	2,04

З табл. 2.7 видно, що абсолютне значення максимального відхилення результуючого фактору – осідання ґрунту, – що визначалося за рівнянням регресивної моделі, складає 5,77 % у порівнянні з фактично визначеним значенням за результатами інженерних вишукувань і натурних досліджень. Тому отриману багатомірну регресивну модель взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем можна вважати адекватною.

Графічно результати моделювання зручно представляти у вигляді просторового графіку залежності результуючого фактору від узагальнених параметрів природної та антропогенної містобудівних систем, показано на рис.2.3 (побудований за результатами даного дослідження).

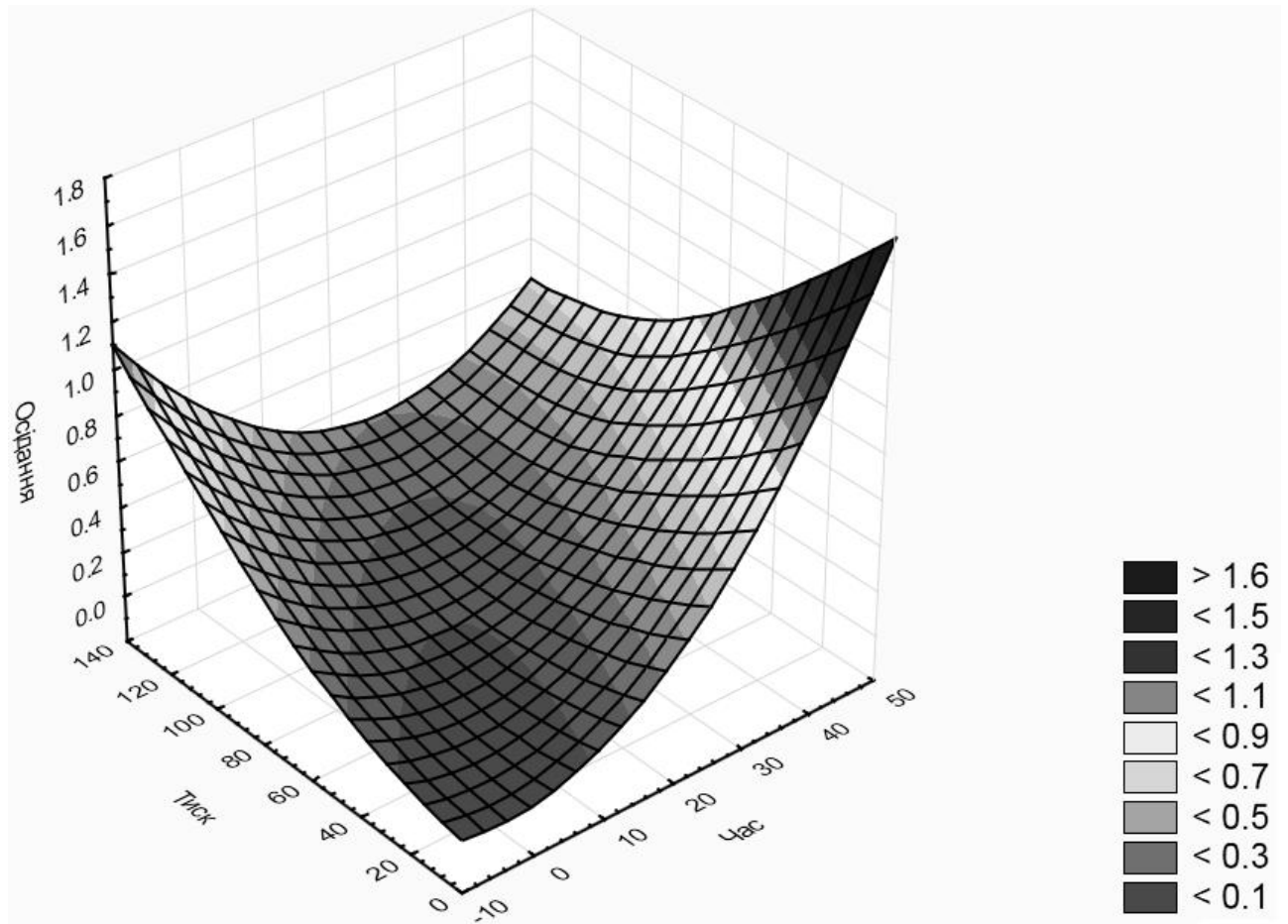


Рисунок 2.3 – Просторовий графік залежності узагальнених параметрів моделі

При цьому функцією отриманої поверхні просторового графіку, наведеного на рис. 2.3, є поліном другого ступеня:

$$s = 0,0189 + 0,0039 \cdot t - 0,0003 \cdot P + 0,0006 \cdot t^2 - 0,0002 \cdot t \cdot P + 3,7348 \cdot 10^{-5} \cdot y^2. \quad (2.18)$$

## Висновки до розділу 2

У якості раціональної моделі природного середовища як основи для об'єктів міської забудови запропонована модель пружного півпростору ґрунтової основи у вигляді тривимірного масиву з об'ємних універсальних СЕ № 34 (СЕ № 36), яка:

- дозволяє проводити перевірочні розрахунки об'єктів міської забудови на всіх етапах їх життєвого циклу, а також при прогнозуванні змін напружено-деформованого стану їх будівельних конструкцій при подальшій експлуатації;

- відповідає всім вимогам чинних нормативних документів;

- апробована на практиці, має достатній рівень адекватності та відповідності натурним даним обстежень;

- для певного класу задач дозволяє не враховувати фізичну нелінійність ґрунтової основи, що значно спрощує моделювання.

При моделювання поведінки об'єкту міської забудови в часовій області нагальною є необхідність зменшення кількості факторних ознак задля підвищення значущості багатофакторної регресивної моделі, наприклад, шляхом попереднього визначення двох-трьох інтегральних факторних ознак, що виражали би стан і властивості природної системи в певний момент часу та, відповідно, стан і властивості антропогенної системи в той самий момент.

При виділенні інтегральних факторних ознак отримано багатофакторну регресивну модель, яка пов'язує узагальнений параметр природної містобудівної системи – осідання ґрунту, узагальнений параметр антропогенної містобудівної системи – тиск на поверхню забудованої території, і час взаємодії.

Абсолютне значення максимальної розбіжності результатів інженерних вишукувань і натурних досліджень та тих самих параметрів, розрахованих за отриманою моделлю, складає 5,77 %, що говорить про її адекватність.

Отримана модель дозволить прогнозувати можливі погіршення показників надійності та довговічності будівель, споруд, інших об'єктів міської забудови у довготривалій перспективі (навіть більшій за

нормативний термін експлуатації об'єкту), а також раціонально планувати розвиток міст і вид забудови у питанні функціонального призначення територій в залежності від фактично встановлених природних умов.

## **Перелік використаної літератури у розділі 2**

1. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 30 с.
2. Банах В. А. Статико-динамические расчетные модели зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. Запорожье: ЗГИА, 2012. 334 с.
3. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства. Киев: Сталь, 2014. 301 с.
4. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Киев: Факт, 2005. 344 с.
5. Клепиков С. Н., Трегуб А. С., Матвеев И. В. Расчет зданий и сооружений на просадочных грунтах. Киев: Будивельник, 1987. 200 с.
6. Клепиков С. Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. Киев: НИИСК, 1996. 203 с.
7. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Москва: АСВ, 2011. 736 с.
8. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста. Київ: КНУБА, 2005. 386 с.
9. Банах А. В. Параметри взаємодії природної та антропогенної містобудівних систем. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Київ: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2018. Вип. 52. 454 с. С. 160-164.
10. Руденко А. А., Копейкин В. И., Варвинец Н. Характеристика инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории г.

Запорожье : технический отчет. Запорожье: ЗКО «УкрВостокГИИИНТИз», 1973. 21 с.

11. Ищенко В. И., Копейкин В. И. Особенности инженерно-геологических условий территории г. Запорожье : технический отчет по теме № 9052. Запорожье: ЗФ «УкрНИИИНТИз», 1997. 11 с.

12. Полтавець М. О. Оптимізаційна система показників оцінки технологічних властивостей проектних рішень просторових систем покриттів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.* – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2014. Вип. 29. С. 483-490.

13. Baird G. *The Architectural Expression of Environmental Control Systems.* SponPress, 2001. 246 p.

14. Гусаков А. А. Системотехника строительства :энциклопедический словарь. Москва: Ассоциация строительных ВУЗов, 2004. 320 с.

15. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. [Чинний від 2009-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 104 с.

16. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. [Чинний від 2017-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 23 с.

17. ДБН В.2.6-162:2010. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2011-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 97 с.

18. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

19. Барабаш М.С. Методы численного моделирования и расчета осадки здания. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* Москва: АСВ, 2015. Vol. 11, Issue 2. С. 69-78.

## **РОЗДІЛ 3**

### **ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

Зміст до розділу 3

3.1 Надійність будівництва в умовах невизначеності

3.2 Концепції організаційно-технологічного проектування будівельних проектів

Висновки до розділу 3

Перелік використаної літератури у розділі 3

#### **3.1 Надійність будівництва в умовах невизначеності**

Основне завдання теорії надійності на етапі організаційно-технологічного проектування – прийняття обґрунтованих рішень, що стосуються вибору структури робіт та їх виконавців, послідовності зведення об'єктів будівництва, кількості і типу тимчасових комунікацій і будівель, фронту робіт, матеріально-технічних та інших ресурсів, варіантів організаційно-технологічних моделей побудови оптимальної системи оперативного планування і управління і т.д [13].

Організаційно-технологічна надійність в будівництві є складною імовірнісною системою, залежною від безлічі виробничих факторів, більшість з яких – випадкові події.

Імовірнісний характер будівництва полягає в тому, що на хід робіт весь час впливають різні випадкові чинники [22]. Ці впливи важко передбачити і оцінити. Випадкові фактори мають вельми різноманітну природу, і наслідки їх впливу різноманітні.

Випадкові чинники можна класифікувати за наступними категоріями:

1. Випадкові фактори технічного порядку: всілякі поломки машин, механізмів, деталей, транспортних засобів, низька якість матеріалів,

конструкцій, що не дозволяє застосувати їх за призначенням; зміна проектних рішень у процесі будівництва.

2. Випадкові фактори технологічного порядку: усунення браку, переробка неякісно виконаних робіт; поява непередбачених робіт.

3. Випадкові чинники організаційного порядку: порушення постачання матеріалів, конструкцій, зрив узгоджених термінів робіт, відсутність робочих необхідної спеціальності або кваліфікації.

4. Випадкові чинники кліматичного порядку.

5. Випадкові чинники соціального порядку: невихід працівника на виробництво, невиконання виробничого завдання при повному забезпеченні робіт, навмисне псування або розкрадання матеріалів, обладнання.

Дуже важливо оцінити вплив випадкових факторів, передбачити їх появу.

Вплив випадкових факторів конкретно виражається в тому, що при будь-якому різноманітному поєднанні випадкових величин і при різній їх природі сукупний вплив, в кінцевому рахунку, виражається, в основному, наступним чином: фактична тривалість робіт і фактичні витрати ресурсів на виконання цих робіт відхиляються від значень, прийнятих у вихідних планах і графіках.

Проблема організаційно-технологічної надійності об'єднує теоретичні, методологічні, практичні шляхи і рішення багатofакторних організаційних завдань на різних структурних рівнях спорудження об'єктів та експлуатаційного їх змісту.

У процесі проектування організації будівництва основним завданням є побудова організаційно-технологічної моделі, що враховує склад і структуру будівельних підрозділів, бригад, машин, а також характер їх функціонування та взаємодії [21]. Процедура оцінки надійності будівництва представлена логічною моделлю на рис. 3.1.

Організаційно-технологічна надійність проектування оцінюється в умовах невизначеності. Теорія статистичних рішень може бути витлумачена



як теорія пошуку оптимально недетермінованої поведінки в умовах невизначеності. Вибір найкращих рішень в умовах неповної інформації є одним з основних занять людей[16, 20, 22].

В якості критеріїв оцінки організаційно-технологічної надійності можна спиратися на існуючі критерії оцінки ризиків та прийняття рішень.

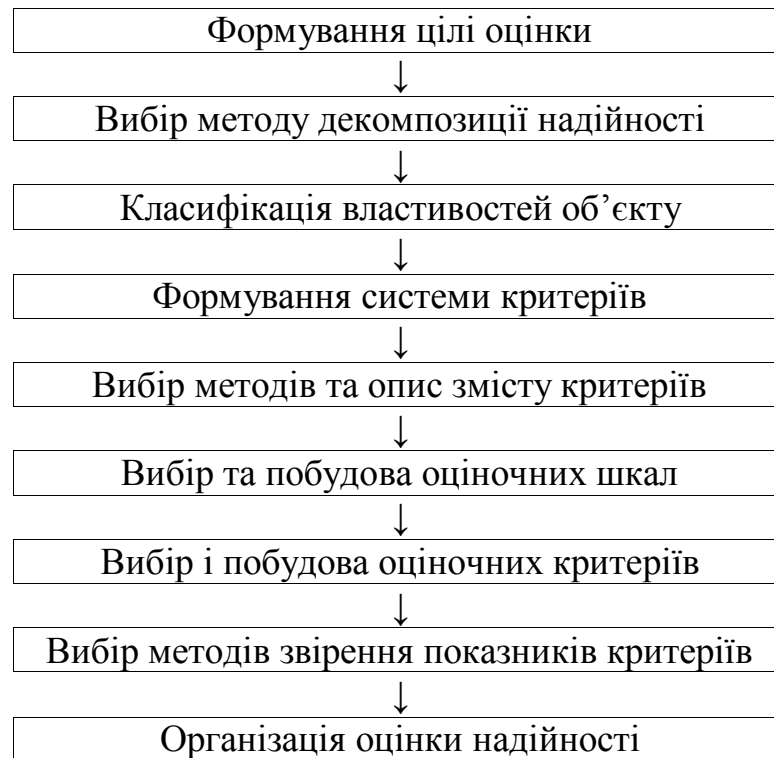


Рисунок 3.1 – Структурна схема оцінки надійності

Критерій мінімальних витрат – критерій Вальда (3.1). Згідно цьому критерію обирається найкраще вирішення питання, яке є кращим при найбільш несприятливих умовах.

$$W = \max_{i=1..m} \min_{j=1..n} W_{ij}, \quad (3.1)$$

де  $W_{ij}$  – витрати при  $i$ -му рішенні та  $j$ -му стані середовища;  $i$  – номер рішення ( $i=1..m$ );  $m$  – кількість допустимих рішень;  $j$  – стан середовища ( $j=1..n$ );  $n$  – кількість станів середовища.

Критерій мінімальних витрат є найбільш обережним, консервативним і застраховує від несприятливих наслідків при найбільш несприятливих випадкових вихідних даних.

Застосування цього критерію виправдовується, якщо ситуація, в якій приймається рішення, наступна: про можливість зовнішніх проявів станів середовища нічого не відомо; доводиться враховувати прояви різноманітних зовнішніх станів середовища; рішення реалізується одноразово; необхідно виключити будь-який ризик.

Критерій мінімального ризику (критерій Севіджа). Згідно цього критерію обирається той варіант поєднання параметрів будівельної системи, для якого найбільший ризик менший за найбільший ризик для будь-якого іншого варіанту. При виборі рішення за цим критерієм порівнюється матриця функції користі з матрицею збитків по формулі (3.2):

$$D_{ij} = W_{ij} - \max_i (R_{ij}), \quad (3.2)$$

де  $R_{ij}$  – величина ризику при використанні сукупності параметрів  $i$  та сукупності вихідних даних  $j$ .

За песимістичним критерієм Вальда отримуємо мінімальне значення максимального шкодування прийняття  $i$ -го рішення у  $j$ -му стані. За допомогою матриці  $D$  по формулі (3.3) обирається рішення:

$$W = \max_{i=1..m} \min_{j=1..n} D_{ij}. \quad (3.3)$$

Критерій мінімального ризику не допускає занадто високих втрат (відхилень), до яких може призвести невірне рішення, хоча у нього є деякі переваги перед критерієм мінімальних витрат, він є досить обережним.

Критерій узагальненого мінімаксу – критерій Гурвіца (3.4). Згідно з цим критерієм знаходиться зважена комбінація найкращого і найгіршого поєднання випадкових величин за допомогою коефіцієнта оптимізму (песимізму)  $\alpha$ , за якого критерій Гурвіца сягає мінімуму:

$$W = \max_{i=1..m} [\alpha \cdot \max_{i=1..m} W_{ij} + (1-\alpha) \cdot \min_{i=1..n} W_{ij}], \quad (3.4)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт оптимізму.

Недолік критерію – складність вибору обґрунтованого коефіцієнта оптимізму. Критерій Гурвіца застосовується у випадках, коли: про вірогідності появи стану  $j$  нічого не відомо; з появою стану  $j$  необхідно

рахуватись;реалізується невелика кількість рішень;допускається деякий ризик.

Критерій недостатньої обґрунтованості (критерій Байеса-Лапласа). Відповідно до цього критерію обирається той варіант поєднання параметрів, для якого досягається мінімум середньоарифметичного значення витрат. Критерій недостатньої обґрунтованості відповідає критерію мінімуму математичного очікування, якщо припустити, що вірогідності окремих поєднань випадкових вихідних даних однакові. Однак, це не завжди виконується.

Остаточне рішення після використання всіх вищенаведених критеріїв оптимізації в умовах невизначеності приймається виходячи з наявного досвіду, інтуїції та різноманітних додаткових міркувань, не врахованих при комплектуванні.

Критерій надійності – це ознака, за якою оцінюється надійність будівельного виробництва.

Оцінити організаційно-технологічну надійність будівельного виробництва можна за допомогою великої кількості критеріїв[17].

Надійність характеризується такими критеріями як, безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість, справність, працездатність. Для будівельного виробництва багато з них не характерні, а ті, які можуть оцінити будівельне виробництво, повинні бути переосмислені, з точки зору, особливостей будівельного виробництва.

Відмови і тимчасові складові нормального виробничого циклу можна розглядати як випадкові процеси. Кількісні показники надійності тоді матимуть імовірнісний характер. При цьому кількісним показникам корисно давати статистичне і вірогідне тлумачення. Перше виявляється необхідним при визначенні кількісних показників надійності з досвіду, друге – при теоретичному аналізі надійності.

Неможливо оцінити надійність будівельного виробництва будь-яким одним кількісним показником з розглянутих нормальних циклів виробництва

робіт, необхідно мати сукупність таких показників. Подібними показниками можуть бути: імовірність безвідмовної роботи, середній час між відмовами, інтенсивність відмов, їх частота, коефіцієнти надійності. Перелік критеріїв надійності і відповідних їм кількісних показників, а також їх визначення наведені в таблиці 3.1.

Основною кількісною характеристикою надійності системи є імовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу  $t$  [9], що визначається за формулою (3.5):

$$p(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (3.5)$$

де  $N$  – число однорідних елементів на початку роботи;  $n(t)$  – число елементів, які відмовили (частково або повністю вийшли з ладу) за час роботи  $t$ .

Імовірність безвідмовної роботи є спадною функцією часу і має властивості: в початковий момент часу (при  $t=0$ )  $p(0)=1$ , а при  $t \rightarrow \infty$  функція  $p(t)$  прагне до нуля.

На практиці іноді більш зручною характеристикою є імовірність відмови  $Q(t)$ . Безвідмовна робота системи і поява відмови є подіями, несумісними і протилежними, тому сума їх імовірностей дорівнює 1 і виражається рівнянням (3.6):

$$Q(t) = 1 - p(t). \quad (3.6)$$

Для систем будівельного виробництва характерними є не повні відмови, а часткові, тобто збої в роботі, які самоусуваються в процесі безперервного функціонування системи. Тому в більшості робіт з організаційно-технологічної надійності будівництва в якості основного показника надійності системи використовується коефіцієнт готовності  $k_2$ , який знаходиться за формулою (3.7). Він являє собою відношення тривалості безвідмовної роботи системи за даний період її функціонування до суми тривалості безвідмовної роботи і відмов (збоїв або простоїв) за той же період часу:

Таблиця 3.1 – Перелік критеріїв надійності

Кри- терій	Показник надійності	Визначення
Безвід- мовність	Вірогідність безвідмовної роботи (вірогідність своєчасного виконання робіт)	Вірогідність того, що в рамках заданого періоду функціонування потоку відмова не виникне. Вірогідність того, що запланований об'єм робіт буде виконаний в строк.
Безвідмовність	Середнє напрацювання на відмову	Математичне очікування напрацювання процесу (поток) до відмови. Відношення напрацювання потоку до математичного очікування кількості відмов протягом цього напрацювання.
	Середнє напрацювання між відмовами	Математичне очікування напрацювання об'єкта між відмовами. Випадкова тривалість, виконана будівельним підрозділом до настання деякої події або моменту часу закінчення обсягу робіт, введення об'єкта в експлуатацію.
	Інтенсивність відмов	Щільність розподілу напрацювання потоку до відмови, обумовлена за умови, що до розглянутого моменту відмова не виникла.
	Провідна функція потоку відмов	Математичне очікування числа відмов будівельного потоку протягом заданого напрацювання.
	Параметр потоку	Перша похідна провідної функції потоку відмов
Ремонтопридат- ність	Імовірність відновлення	Імовірність того, що фактична тривалість робіт з відновлення працездатності будівельного потоку не перевищить заданої
	Середній час простою	Математичне очікування часу вимушеного нерегламентованого перебування будівельного потоку в стані непрацездатності.
Ремонтоприд- атність	Середній час відновлення	Математичне очікування часу відновлення працездатності будівельного потоку.
	Інтенсивність відновлення	Щільність імовірності моменту закінчення відновлення будівельного потоку, визначена за умови, що до даного моменту відновлення завершено.
Безвідмовність і ремонтпридатність	Коефіцієнт готовності	Доля часу, протягом якого будівельний потік знаходиться в працездатному стані в сталому стаціонарному процесі виробництва робіт.
	Коефіцієнт простою	Доля часу, протягом якого будівельний потік знаходиться в непрацездатному стані в сталому процесі виробництва робіт.
	Коефіцієнт технічного використання	Відношення середнього напрацювання будівельного потоку в одиницях часу за деякий період функціонування потоку до суми середніх значень напрацювання; часу простою, обумовленого технічним обслуговуванням, і часу ремонтів за цей же період функціонування потоку.
	Коефіцієнт оперативної готовності	Імовірність того, що будівельний потік, виявиться працездатним в заданий момент часу в процесі виробництва робіт і, починаючи з цього моменту часу, працюватиме безвідмовно протягом заданого інтервалу часу.

$$k_2 = \frac{T}{T + \sum_{i=1}^n t_{\text{відм}}}, \quad (3.7)$$

де  $T$  – тривалість безвідмовної роботи;  $t_{\text{відм}}$  – тривалість відмов  $i$ -го елемента системи;  $i = \overline{1; n}$ .

Безвідмовність як поняття ОТН – це властивість об'єкта зберігати працездатний стан протягом деякого заданого часу. Імовірність безвідмовної роботи – це імовірність того, що в заданих межах часу відмова в роботі системи не виникає.

Оцінка ОТН системи може бути проведена тільки за результатом діяльності системи. Цей результат формулюється як імовірність виконання всього проекту або певних робіт до встановленого терміну [9, 17]. Тому під оцінкою надійності будівельних систем слід розуміти оцінку імовірності досягнення мети.

В якості основи для кількісної оцінки ОТН використовується середній час безвідмовної роботи системи без внесення змін в структуру і характер діяльності цієї системи [10]. Знаючи середній фактичний час безвідмовного функціонування системи і планований час її дії, можна, використовуючи закони теорії імовірностей, визначити імовірність безвідмовного функціонування системи протягом всього заданого часу (імовірність безвідмовної роботи –  $p$ ). Ця імовірність, тобто надійність системи, виражається у відсотках або чисельно в інтервалі  $0 \dots 1$ :  $0 < p \leq 1$ .

Система в процесі функціонування може перебувати в стані відмови або безвідмовності. У результаті встановлюється співвідношення між планованою  $T_{\text{пл}}$  і фактичною  $T_{\text{ф}}$  тривалістю виконання робіт. Отже, умови відмови і безвідмовності можна записати як: відмова –  $T_{\text{ф}} > T_{\text{пл}}$ ; безвідмовність –  $T \leq T_{\text{пл}}$ .

Для розрахунку надійності використовується апарат теорії імовірностей, так як  $p$  є функцією розподілу випадкової величини  $T_{\text{ф}}$ . Чим

більше  $p$ , тим надійніше система, тому критерій надійності виробничої системи можна представити у вигляді виразу (3.8):

$$p(T_{\phi} < T_{nl}) \rightarrow \max . \quad (3.8)$$

Вплив зовнішніх і внутрішніх випадкових факторів призводить до того, що хід виробничого процесу відхиляється від раніше запланованого. У зв'язку з цим керуюча система повинна періодично виробляти ( $B$ ) і реалізовувати ( $P$ ) заходи, які ліквідують негативні відхилення і забезпечують досягнення об'єктом управління заданого результату.

Імовірність  $p$  виконання цих дій системою управління на даному рівні керівництва  $U$  визначає надійність функціонування даної системи  $p(U)$  за формулою (3.9):

$$p(U) = p(B, P). \quad (3.9)$$

Відповідно до цієї формули вирішення проблеми надійності полягає у розробці та реалізації заходів (планів, організаційних і управлінських рішень), що забезпечують досягнення заданого результату об'єктом управління.

У теорії імовірностей, як відомо, існує так зване правило множення імовірностей, яке для залежних подій свідчить: імовірність спільного наступу двох подій дорівнює добутку імовірності першої події на умовну імовірність другої, обчислену в припущенні, що перша подія відбулася. Аналізуючи це правило, цілком виразно можна інтерпретувати взаємозв'язок між підсистемою вироблення рішень і підсистемою їх реалізації.

Тоді вираз (3.9) можна представити у вигляді (3.10):

$$p(U) = p(B, P) = p(B) \times p_B(P), \quad (3.10)$$

де  $p(B)$  – імовірність вироблення системою рішень, що забезпечують досягнення заданої мети системи;  $p_B(P)$  – імовірність реалізації системою вироблених рішень по досягненню заданої мети системи.

Із виразу (3.10) випливає, що імовірність вироблення рішень і імовірність їх реалізації можна розглядати окремо. Цей висновок визначає

два напрямки в практиці вирішення проблеми надійності: розгляд надійності вироблення рішень і забезпечення надійності функціонування системи в процесі реалізації рішень.

В якості першого шляху багато дослідників обирають проблему забезпечення надійності організаційно-технологічних моделей будівництва об'єктів, до числа яких відносяться календарні плани виробництва будівельно-монтажних робіт (в лінійному, сітьовому чи іншому зображенні).

### **3.2 Концепції організаційно-технологічного проектування будівельних проектів**

Перехід до ринкових відносин зумовив необхідність розвитку нових методів організаційно-технологічного проектування. Тому розробка нових систем підвищення ефективності організаційно-технологічного проектування будівництва є актуальною проблемою, має наукове і практичне значення.

Узагальнення та аналіз вітчизняних і зарубіжних літературних джерел і безпосереднього досвіду організаційно-технологічного проектування будівельного виробництва дозволили встановити, що накопичений великий досвід в області технології та організації виробництва робіт, однак це не виключає можливості подальшого розвитку та вдосконалення методик прийняття рішень [15, 12].

Теорія організаційно-технологічного проектування, яка представлена в роботах видатних вчених, не відбиває питання взаємозв'язку організаційно-технологічних і керуючих систем, що ускладнює їх використання для вирішення проблем сучасного будівельного виробництва [1, 2, 3].

Відсутність чітких рішень з цих питань зумовлює необхідність застосування ряду логічних і методичних рішень для підвищення ефективності та надійності організаційно-технологічного проектування в сформованих умовах – розробку нових підходів і методів при організаційно-технологічному проектуванні будівельного виробництва з метою стабілізації



рівня його надійності, термінів виконання робіт і введення об'єктів в експлуатацію[12].

Сучасний аналіз будівельної сфери показує, що продовжують знижуватися фізичні обсяги робіт, забезпеченість матеріальними та трудовими ресурсами, інвестиціями.

У процесі організаційно-технологічного проектування перед будівельними організаціями встають різні питання. Найбільш важливі з них: які раціональні терміни завершення комплексу робіт або задачі об'єкта в експлуатацію з урахуванням їх технологічних особливостей і ресурсних можливостей організації; як скоротити терміни задачі об'єктів замовнику (збільшити оборот капіталу) без істотних змін витрат на ресурси (матеріальні, трудові і т.д.).

Певне коло питань пов'язане з формуванням плану робіт на найближчу перспективу: як оцінити можливості організації щодо збільшення плану робіт в результаті укладення договорів на будівництво тих чи інших об'єктів, враховуючи наявні фінансові та інші ресурси, наскільки вплине на плановані результати діяльності організації порушення договірних зобов'язань одним з партнерів; чи будуть завершені роботи на конкретному об'єкті або в цілому по комплексу об'єктів до конкретних календарних дат; які терміни завершення робіт на об'єктах з урахуванням заданої величини ризику і характеристик співвиконавців.

Всі перераховані вище питання дозволять удосконалити організаційно-технологічне проектування, спрямоване на раціональне використання всіх видів ресурсів, для досягнення кінцевого результату – задачу об'єкта з експлуатацію в намічені терміни, із запланованою якістю і максимальним прибутком.

Склад та обсяг проектної документації з організації будівництва і виконання робіт, включаючи питання підготовки будівельного виробництва, матеріально-технічного забезпечення, механізації та транспорту, організації праці, забезпечення якості будівельно-монтажних робіт, оперативно-

диспетчерського управління, охорони навколишнього середовища встановлюються затвердженими Міністерством регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України Будівельними нормами і правилами – ДБН А.3.1-5-2016 «Організація будівельного виробництва» [18].

Вимоги ДБН слід обов'язково враховувати при зведенні нових, а також розширенні і реконструкції діючих об'єктів (підприємств, будівель, споруд та їх комплексів) усіх галузей народного господарства і видів будівництва. Вони обов'язкові для всіх учасників будівництва і спрямовані на забезпечення своєчасного виконання робіт. Особливу увагу в ДБН приділено вимогам до розробки проектів організації будівництва (ПОБ) і проектів виконання робіт (ПВР).

Організаційно-технологічна документація є складовою частиною проектів підприємств, будівель і споруд, і розробка цієї документації, так само як і проектів в цілому, може здійснюватися в одну або дві стадії. При одностадійному проектуванні в складі затверджуваних проектів розробляється проект організації будівництва (розділ «Організація будівництва»). Такий же розділ розробляється і при двостадійному проектуванні на першій стадії в складі робочих проектів.

На другій стадії в складі робочої документації та на її основі розробляється проект виконання робіт. Склад і зміст кожної стадії передбачені Державними будівельними нормами.

До складу організаційно-технологічної документації зазвичай входять календарні плани або сітьові графіки будівництва, будівельний генеральний план, схеми зведення основних будівель і споруд, технологічні карти та опис методів виробництва складних будівельно-монтажних робіт, вказівки по геодезичній розбивочній основі, відомості обсягів робіт, графіки потреби в будівельних матеріалах, конструкціях, машинах і робочих кадрах, документація з управління будівництвом, пояснювальна записка.

Обов'язковою вимогою до організаційно-технологічного проектування є врахування в проектах умов будівництва.

На даний час існує безліч методів для ефективного способу проведення будівельно-монтажних робіт[4]. Хоча деякі з них не отримали подальшого розвитку через недостатній рівень організаційно-технологічного проектування.

Розглядаючи економічні аспекти в області ринкових відносин можна побачити, що з часом став скорочуватися обсяг і зміст організаційно-технологічної документації, в наслідок чого стало необхідно вивчати більш детально ті фактори, які впливають на підвищення ефективності та надійності будівельного виробництва.

Маючи правильні уявлення про проектне виробництво, ми повинні ґрунтуватися на сучасних технологічних підходах, спрямованих на забезпечення управління процесами розробки якісної і конкурентоспроможної проектною та робочою документації для будівництва в умовах проектно-вишукувальних та інших організацій будівельного комплексу.

Основним завданням кожної організації є випуск якісної проектною продукції або надання якісних проектних та вишукувальних послуг. Цьому завданню повинні відповідати всі процеси проектного виробництва, а також інформаційне забезпечення, підготовка персоналу, обчислювальні роботи, матеріально-технічне постачання та ін.

Розглядаючи основні правила в напрямку технологічного проектування об'єктів будівництва можна виділити наступне:

- організаційно-технологічний порядок проведення основних видів проектних робіт і типові процеси розробки проектною продукції;
- загальні вимоги щодо порядку оцінки та контролю якості проектною продукції;
- положення щодо організаційного та технологічного забезпечення якості проектною продукції та ефективності проектного виробництва;

- терміни та визначення, що застосовуються в технології проектування.

Важливим завданням в області організаційно-технологічного проектування є забезпечення фахівців і керівників проектно-вишукувальних та будівельних організацій, установ та служб замовника (інвестора) та інших зацікавлених організацій – учасників інвестиційного процесу – організаційно-методичними матеріалами з технології проектування, які дозволяють на єдиній системній, методологічній та термінологічній основі розробляти і застосовувати високоефективні технологічні процеси проектування підприємств, будівель і споруд, що забезпечують якість і конкурентоспроможність цих об'єктів будівельних інвестицій.

Виконаємо моделювання надійності календарного планування.

Значення показника організаційно-технологічної надійності будівництва у багатьох методиках являє собою вірогідність виконання графіка будівництва у запланований термін.

Одним з основних факторів, що використовується на всіх стадіях розвитку інвестиційного проекту, є календарний графік будівництва об'єкта [8]. Календарний графік пов'язаний як з управлінням, так і з реалізацією проекту, тому повинен бути актуальним і відображати поточний стан будь-якої проектованої будівлі чи споруди та всього будівництва в цілому в будь-який період або момент часу. Форма представлення графіку (лінійний графік, сітьовий чи циклограма) залежить від складності, розміру та суті виконуваних задач та робіт, а також від вимог, що висуваються до графіка.

При аналізі організаційно-технологічної надійності будівництва[11] встановлено, що незалежно від кризи значення показника знаходяться в діапазоні від 0,5 до 0,7. За такої надійності рішення відповідного технологічного процесу, можна виконувати календарний план у намічені строки. Перевищення даних значень призводить до, так званої, надмірної надійності, до перевитрат ресурсів, що вкладаються у забезпечення

надійності будівництва. Розрахунок надійності планів надає можливості оцінювати їхню якість з точки зору їх реальності.

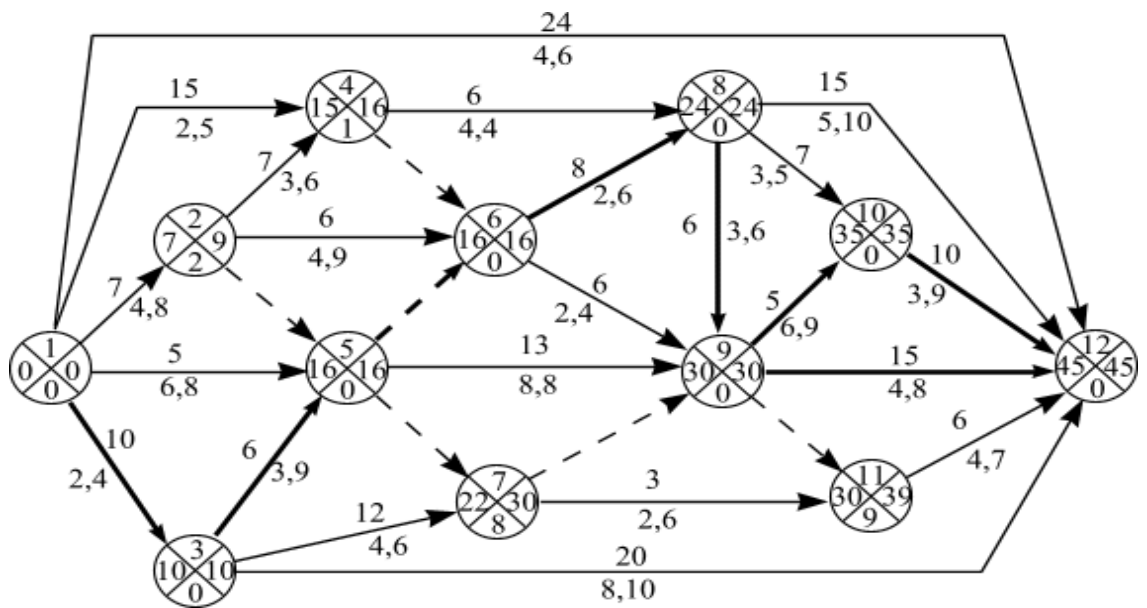


Рисунок 3.2 – Організаційно-технологічна модель будівельного проекту (сітьовий графік будівництва)

Наведені розрахункові параметри сітьових графіків:

- тривалість роботи –  $t_{ij}$ ;
- найбільш ранній (або просто ранній) момент початку роботи –  $T_{ij}^{pn}$ ;
- ранній момент часу закінчення роботи –  $T_{ij}^{pz}$ ;
- пізній момент часу початку роботи –  $T_{ij}^{nn}$ ;
- пізній час закінчення роботи –  $T_{ij}^{nz}$ ;
- загальний (повний) резерв робочого часу –  $R_{ij}$ ;
- частний резерв робочого часу –  $r_{ij}$ ;
- ранній час звершення події –  $T_i^p$  (найбільш ранній момент часу);
- час пізнього звершення події –  $T_i^n$ ;
- тривалість критичного шляху –  $t_{кр}$ ;
- потенціал події –  $t_i^n$ .

Тривалість робіт визначається за формулами (3.11)-(3.12):

а) при механізованому способі виконання робіт:

$$t_{ij} = \frac{V_i}{\Pi_{e.зм} \cdot n_{зм} \cdot K_n}, \quad (3.11)$$

де  $V_i$  – об'єм робіт  $i$ -го виду;  $\Pi_{e.зм}$  – змінна експлуатаційна продуктивність машин;  $n_{зм}$  – кількість робочих змін в добі;  $K_n$  – коефіцієнт перевиконання норм.

б) при ручному способі виконання робіт:

$$t_{i-j} = \frac{V_i \cdot H_{час}}{N_i \cdot n_{зм} \cdot K_n}, \quad (3.12)$$

де  $H_{час}$  – норма часу;  $N_i$  – кількість людей в бригаді на  $i$ -му виді робіт.

Для визначення тривалості процесів з заданою вірогідністю слід в нормативних документах наводити середню величину та середнє квадратичне відхилення норми часу. Тоді тривалість виконання процесів з мінімальним ризиком можна буде визначити за формулою (3.13):

$$t = \bar{t} + r, \quad (3.13)$$

де  $r$  – ризик тривалості виконання процесів;  $\bar{t}$  – середня тривалість виконання процесів.

Ризик тривалості виконання процесів визначається за формулою (3.14):

$$r = \sqrt{V} \quad (3.14)$$

де  $V$  – варіація відхилення від середнього значення тривалості виконання процесів.

Варіація відхилення від середнього значення тривалості виконання процесів визначається за формулою (3.15):

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} V_{ij}}{n^2}, \quad (3.15)$$

де  $V_{ij}^n$  – коваріація тривалості виконання процесів при використанні  $i$ -го та  $j$ -го випробування.

Коваріація тривалості виконання процесів за використання  $i$ -го та  $j$ -го випробування визначається за формулою (3.16):

$$V_{ij} = (t_i - \bar{t}) \cdot (t_j - \bar{t}). \quad (3.16)$$

За наявності результатів натурних іспитів по відповідним технологічним процесам можна розрахувати організаційно-технологічну надійність будівництва будівель і споруд.

Мінімізувати організаційно-технологічний ризик та підвищити ОТН будівництва пропонується за допомогою рекомендацій. Якщо врахувати, що в промисловому та громадському будівництві близько 85% робіт виконується машинами, то можна стверджувати, що за нормальної організації надійність будівництва в значній мірі залежить від ефективної роботи будівельних і транспортних машин.

Тривалість критичного (максимального за тривалістю) шляху визначається за формулою (3.17):

$$t_{kp} = \max_{S \in L_{i_0z}} l^S = \max_{i \in V_z^+} T_{iz}^{p3} \quad (3.17)$$

де  $T_{iz}^{p3}$  – час раннього закінчення роботи, що завершується останньою (Z) подією сітьового графіку;  $l^S$  – довжина S-го шляху із  $L_{i_0z}$ ;  $L_{i_0z}$  – множина шляхів із  $i_0$  в Z;  $V_z^+$  – множина початкових вершин дуг, що входять до Z.

Параметри робіт сітьового графіка (рис. 3.3) розраховуються за формулами (3.18)-(3.23):

$$T_{ij}^{p3} = \max_{h \in V_z^+} T_{hi}^{p3} = T_i^p; \quad (3.18)$$

$$T_{ij}^{p3} = T_i^p + t_{ij}; \quad (3.19)$$

$$T_{ij}^{nn} = T_{ij}^{n3} - t_{ij}; \quad (3.20)$$

$$T_{ij}^{n3} = \min_{k \in V_z^+} T_{jk}^{nn} = T_j^n; \quad (3.21)$$

$$R_{ij} = T_{ij}^{n3} - T_{ij}^{p3} = T_{ij}^{nn} - T_{ij}^{pn}; \quad (3.22)$$

$$r_{ij} = T_{jk}^{pn} - T_{ij}^{p3}. \quad (3.23)$$

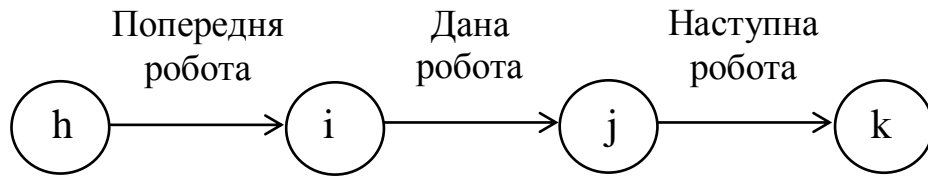


Рисунок 3.3 – Схема утворення сітьового графіка

Визначення ранніх параметрів виконується від вихідної події графіку (вершина  $i_0$ ) до кінцевої. Визначення пізніх параметрів виконується зворотнім ходом від кінцевої до вихідної події графіку. При кінцевій ( $Z$ ) події графіку справедливою є рівність (3.24):

$$T_z^p = T_z^n = \max_{i \in V_z^+} T_{iz}^{p3} = t_{kp} . \quad (3.24)$$

Потенціал  $t_i^n$  (3.25) відповідає довжині шляху найбільшої тривалості від події  $i$  до кінцевої  $z$  :

$$t_i^n = \max(t_i^n + t_{iz}) , \quad (3.25)$$

де  $t_{iz}$  – тривалість роботи від події  $i$  до фінальної  $z$  .

Вірогідна доля фактичного відхилення тривалості робіт від тривалості, передбаченої в сітьовому графіку, визначається за формулою (3.26):

$$p = 1.0 + P_\delta \cdot \text{Random} / 100 , \quad (3.26)$$

де  $P_\delta$  – максимальний коефіцієнт можливого відхилення від очікуваних тривалостей робіт.

Тривалість робіт в сітьовому імітаційному графіку визначається за формулою (3.27):

$$t_i^u = t_i \cdot p . \quad (3.27)$$

При скороченні термінів будівництва економічний ефект утворюється за рахунок 3-х складових [15], які розраховуються за формулами (3.27)-(3.30).

1. Скорочення накладних витрат (заробітна платня інженерно-технічним робітникам, організація робіт на будмайданчику, обслуговування робітників і т.п.):



$$E_n = H_y \cdot \left(1 - \frac{T_\phi}{T_n}\right), \quad (3.28)$$

де  $H_y$  – умовно-постійна частина накладних витрат (НВ),  $H_y = 0,6HB$ ;  $T_\phi$  і  $T_n$  – відповідно фактичний і нормативний терміни будівництва.

Враховується частина НВ, тому що накладні витрати залежать від часу. Якщо зменшити  $T_\phi$ , то необхідно збільшити кількість машин та робітників.

2. Використання основних фондів на інших будівництвах:

$$E_\phi = C_n \cdot \Phi \cdot (T_n - T_\phi), \quad (3.29)$$

де  $C_n$  – норматив приведення різночасових витрат, що дорівнює ставці плати за кредитні ресурси;  $\Phi$  – вартість основних фондів, що звільняються.

3. Отримання додаткового прибутку при достроковому введенні об'єкта в експлуатацію:

$$E_{np} = \Delta\Pi \cdot (T_n - T_\phi), \quad (3.30)$$

де  $\Delta\Pi$  – річний прибуток від побудованого об'єкта.

Загальний ефект від скорочення термінів будівництва розраховується по формулі (3.31):

$$E_\phi = E_n + E_\phi + E_{np}. \quad (3.31)$$

При визначенні показника ОТН календарного графіка будівництва і ступеня ризику учасників інвестиційного процесу [20] в якості прикладу розглянемо сітьовий графік будівництва 16-поверхового житлового будинку для малосімейних груп населення по вул. Історичній, 8 в м. Запоріжжя.

Характеристика об'єкту і вихідні дані для проведення розрахунків наведені в таблиці 3.2 і таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика основних об'єктів будівництва

Найменування об'єктів	Площа забудови, м <sup>2</sup>	Буд. обсяг м <sup>3</sup>	Розмір в плані, м×м	Умовна висота, м	Констр. каркасу
16-ти поверховий цегляний житловий будинок	1006,0	48260,0	35,40×40,75	47,0	цегла

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку сітьового графіка

Назва видів робіт	Код роботи	Тривалість роботи $t_{cp}$ , днів
Демонтаж прибудованих приміщень	1-2	62
Влаштування покрівлі	2-3	44
Монтаж гіпсових перегородок	2-4	112
Заповнення віконних і дверних отворів	4-5	63
Пробивання додаткових отворів для комунікацій	5-6	36
Влаштування підлоги	5-7	91
Утеплення технічного поверху	7-8	8
Опорядження фасаду	7-9	52
Внутрішня штукатурка	7-10	104
Здача об'єкта в експлуатацію	10-11	1

Найважливішими показниками сітьового графіка є резерви часу. Резерви часу кожного шляху показують, на скільки може бути збільшена тривалість даного шляху без шкоди для настання завершальної події. Оскільки кожен некритичний шлях сітьового графіка має свій повний резерв часу, то і кожна подія цього шляху має свій резерв часу.

Резерв часу події показує, на який допустимий період часу можна затримати настання цієї події, не викликаючи при цьому збільшення терміну виконання комплексу робіт.

Для визначення резервів часу по подіях мережі розраховують найбільш ранні  $t_p$  і найбільш пізні  $t_n$  терміни звершення подій. Будь-яка подія не може наступити раніше, ніж здійсняться всі передуючі їй події і не будуть виконані всі попередні роботи. Тому ранній (або очікуваний) термін  $t_p(i)$  звершення  $i$ -тої події визначається тривалістю максимального шляху, що передує цій події, по формулі (3.32):

$$t_p(i) = \max(t(L_{ni})), \quad (3.32)$$

де  $L_{ni}$  – будь-який шлях, що передує  $i$ -тій події, тобто шлях від вихідної до  $i$ -тої події мережі.

Якщо подія  $j$  має кілька попередніх шляхів, а отже, кілька попередніх подій  $i$ , то ранній термін звершення події  $j$  зручно знаходити за формулою (3.33):

$$t_p(j) = \max[t_p(i) + t(i, j)]. \quad (3.33)$$

Затримка звершення події  $i$  по відношенню до свого раннього терміну не відіб'ється на терміні звершення завершальної події (а значить, і на терміні виконання комплексу робіт) до тих пір, поки сума строку звершення цієї події і тривалості (довжини) максимального з наступних за ним шляхів не перевищить довжини критичного шляху. Тому пізній (або граничний) термін  $t_n(i)$  звершення  $i$ -тої події розраховується за формулою (3.34):

$$t_n(i) = t_{np} - \max(t(L_{ci})), \quad (3.34)$$

де  $L_{ci}$  – будь-який шлях, наступний за  $i$ -тою подією, тобто шлях від  $i$ -тої до завершальної події мережі.

Якщо подія  $i$  має кілька наступних шляхів, а отже, кілька наступних подій  $j$ , то пізній термін звершення події  $i$  зручно знаходити за формулою (3.35):

$$t_n(i) = \min[t_n(j) - t(i, j)]. \quad (3.35)$$

Резерв часу  $R(i)$   $i$ -тої події визначається як різниця між пізнім і раннім термінами його звершення знаходиться по формулі (3.36):

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i). \quad (3.36)$$

Резерв часу події показує, на який допустимий період часу можна затримати настання цієї події, не викликаючи при цьому збільшення терміну виконання комплексу робіт.

Критичні події резервів часу не мають, так як будь-яка затримка в звершенні події, що знаходиться на критичному шляху, викличе таку ж затримку в звершенні завершальної події. Таким чином, визначивши ранній термін настання завершальної події мережі, ми тим самим визначаємо довжину критичного шляху.

При визначенні ранніх термінів звершення подій  $t_p(i)$  рухаємося по сітьовому графіку зліва направо.

Довжина критичного шляху дорівнює ранньому терміну звершення завершальної події.

При визначенні пізніх термінів звершення подій  $t_n(i)$  рухаємося по мережі у зворотному напрямку, тобто справа наліво і використовуємо формули (3.35) та (3.36).

Результати визначення термінів звершення подій і резервів наведені на рисунку 3.4 та у таблицях 3.4-3.5.

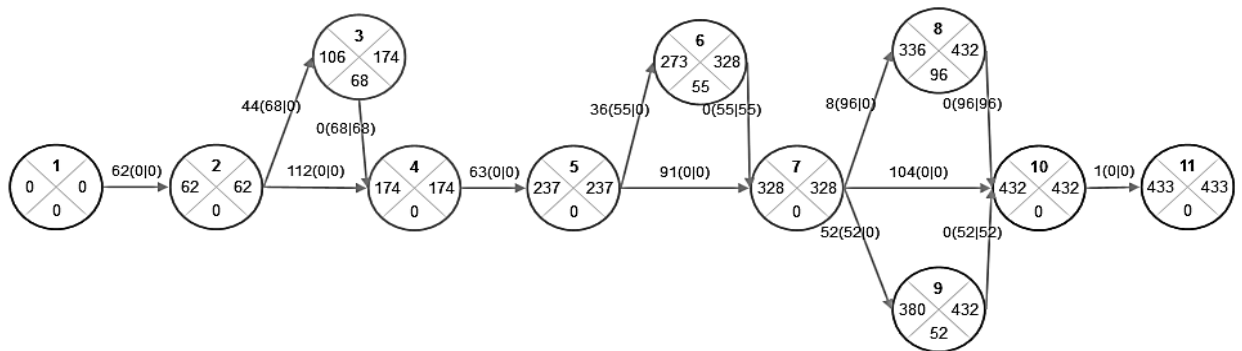


Рисунок 3.4 – Сітьовий графік будівництва об'єкту

Таблиця 3.4 – Розрахунок резерву подій

Номер події	Терміни звершення події		Резерв часу, $R(i)$
	Ранній $t_p(i)$	Пізній $t_n(i)$	
1	0	0	0
2	62	62	0
3	106	174	68
4	174	174	0
5	237	237	0
6	273	328	55
7	328	328	0
8	336	432	96
9	380	432	52
10	432	432	0
11	433	433	0

Таблиця 3.5 – Аналіз сітьової моделі за часом

№ п/п	Робота, (i, j)	Кількість попередніх робіт	Тривалість, $t_{ij}$	Ранні терміни		Пізні терміни		Резерви часу			
				Початок $t_{ij}^{pn}$	Кінець $t_{ij}^{pk}$	Початок $t_{ij}^{pn}$	Кінець $t_{ij}^{pk}$	Повний $R_{ij}^n$	Незалежний резерв $R_{ij}^n$	Часний резерв I роду $R_{ij}^1$	Часний резерв II роду $R_{ij}^c$
1	(1,2)	0	62	0	62	0	62	0	0	0	0
2	(2,3)	1	44	62	106	130	174	68	0	68	0
3	(2,4)	1	112	62	174	62	174	0	0	0	0
4	(3,4)	1	0	106	106	174	174	68	0	0	68
5	(4,5)	2	63	174	237	174	237	0	0	0	0
6	(5,6)	1	36	237	273	292	328	55	0	55	0
7	(5,7)	1	91	237	328	237	328	0	0	0	0
8	(6,7)	1	0	273	273	328	328	55	0	0	55
9	(7,8)	2	8	328	336	424	432	96	0	96	0
10	(7,9)	2	52	328	380	380	432	52	0	52	0
11	(7,10)	2	104	328	432	328	432	0	0	0	0
12	(8,10)	1	0	336	336	432	432	96	0	0	96
13	(9,10)	1	0	380	380	432	432	52	0	0	52
14	(10,11)	3	1	432	433	432	433	0	0	0	0

Для робіт критичного шляху характерна відсутність резервів часу, отже строки початку і закінчення критичних робіт співпадають (рис. 3.5, 3.6).

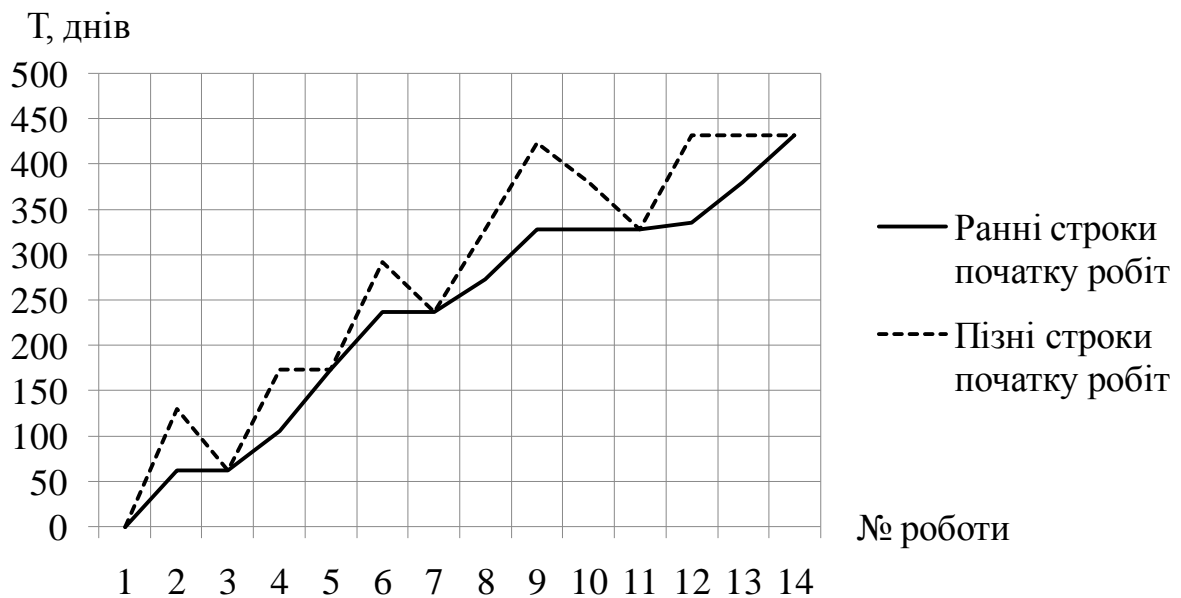


Рисунок 3.5 – Порівняльний графік ранніх та пізніх строків початку робіт з врахуванням резервів часу.

Слід зазначити, що крім повного резерву часу роботи, виділяють ще три різновиди резервів [23].

Частний резерв часу першого виду  $R_1$  – частина повного резерву часу, на яку можна збільшити тривалість роботи, не змінивши при цьому пізнього строку її початкового події.  $R_1$  знаходиться за формулою (3.37):

$$R(i, j) = R_n(i, j) - R(i) \quad (3.37)$$

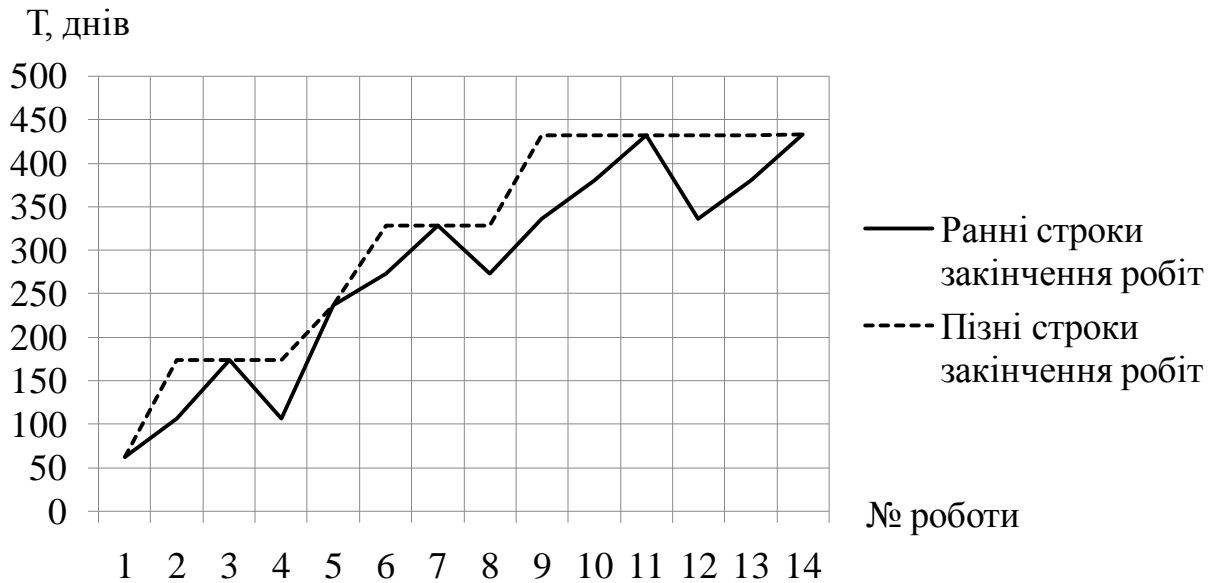


Рисунок 3.6 – Порівняльний графік ранніх та пізніх строків закінчення робіт з врахуванням резервів часу.

Частний резерв часу другого виду, або вільний резерв часу  $R_c$  роботи  $(i, j)$  являє собою частину повного резерву часу, на яку можна збільшити тривалість роботи, не змінивши при цьому раннього терміну її кінцевої події.  $R_c$  знаходиться за формулою (3.38):

$$R(i, j) = R_n(i, j) - R(j) . \quad (3.38)$$

Значення вільного резерву часу роботи вказує на розташування резервів, необхідних для оптимізації.

Незалежний резерв часу  $R_n$  роботи  $(i, j)$  – частина повного резерву, одержувана для випадку, коли всі попередні роботи закінчуються в пізні

терміни, а всі наступні починаються в ранні терміни.  $R_n$  знаходиться за формулою (3.39):

$$R(i, j) = R_n(i, j) - R(i) - R(j). \quad (3.39)$$

Визначені параметри досліджуваного проекту (див. додаток А):

- Критичний шлях: (1,2) (2,4) (4,5) (5,7) (7,10) (10,11).
- Тривалість критичного шляху: 433 дні.

Складність сітьового графіка оцінюється коефіцієнтом складності, який визначається за формулою (3.40):

$$K_c = n_{pab} / n_{cob}, \quad (3.40)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт складності сітьового графіка;  $n_{pab}$  – кількість робіт, од.;  $n_{cob}$  – кількість подій, од.

Сітьові графіки, що мають коефіцієнт складності від 1,0 до 1,5, є простими, від 1,51 до 2,0 – середньої складності, більше 2,1 – складними.

$$K_c = 14/11 = 1,27$$

Оскільки  $K_c < 1.5$ , то сітьовий графік є простим.

Коефіцієнтом напруженості  $K_H$  роботи  $P_{i,j}$  називається відношення тривалості неспівпадаючих (укладених між одними і тими ж подіями) відрізків шляху, одним з яких є шлях максимальної тривалості, що проходить через цю роботу, а іншим – критичний шлях [7]:

$$K_H = \frac{t(L_{\max}) - t1_{kp}}{t_{kp} - t1_{kp}}, \quad (3.41)$$

де  $t(L_{\max})$  – тривалість максимального шляху, що проходить через роботу  $P_{i,j}$  від початку до кінця сітьового графіка;  $t_{kp}$  – тривалість (довжина) критичного шляху;  $t1_{kp}$  – тривалість відрізка розглянутого максимального шляху, що збігається з критичним шляхом.

Коефіцієнт напруженості  $K_H$  роботи  $P_{i,j}$  може змінюватися в межах від 0 (для робіт, у яких відрізки максимального із шляхів, що не збігаються з критичним шляхом, складаються з фіктивних робіт нульовий тривалості) до 1

(для робіт критичного шляху). Чим ближче до 1 коефіцієнт напруженості  $K_H$  роботи  $P_{i,j}$ , тим складніше виконати дану роботу у встановлені терміни. Чим ближче  $K_H$  роботи  $P_{i,j}$  до нуля, тим більшим відносним резервом володіє максимальний шлях, що проходить через дану роботу.

Обчислені коефіцієнти напруженості дозволяють додатково класифікувати роботи по зонам. Залежно від величини  $K_H$  виділяють три зони: критичну ( $K_H > 0,8$ ); підкритичну ( $0,6 < K_H < 0,8$ ); резервну ( $K_H < 0,6$ ).

Результати розрахунків коефіцієнтів напруженості робіт наведені у таблиці 3.6.

Областями найбільш раціонального застосування сітьових моделей на рівні підрядних будівельно-монтажних організацій є:

- формування календарного плану виконання БМР на часовий проміжок (незалежно від специфіки будівельної організації);
- формування календарного плану виконання будівельно-монтажних робіт при місячному та тижнево-добовому плануванні (для об'єктів з порівняно складною технологією побудови);
- формування календарного розкладу виконання будівельно-монтажних робіт за умови потокової організації робіт;
- цільові будівельні розробки (програми) (які включають науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, проектування, дослідне виробництво, випробування і т.п.) складних систем;
- розподіл ресурсів, визначення найбільш імовірного терміну завершення комплексу робіт, прогнозування витрат;
- матеріально-технічне постачання будівництва.

Об'єктами сітьового моделювання є комплекси робіт, при виконанні яких силами організацій, розпорядженні необхідними ресурсами (робочою силою, машинами, обладнанням, матеріалами, грошовими коштами тощо), забезпечується досягнення намічених цілей (отримання заданих результатів).



Таблиця 3.6 – Коефіцієнти напруженості робіт

Робота	Шлях	Макс. шлях, $t(L_{\max})$	Співпадаючі роботи	$t1_{kp}$	Розра- хунок	$K_H$
1	2	3	4	5	6	7
(1,2)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	(1,2)(2,4)(4,5)(5,7) (7,10) (10,11)	433	$\frac{(433 - 433)}{(433 - 433)}$	0
(2,3)	(1,2)(2,3)(3,4) (4,5)(5,7)(7,10)(1 0,11)	365	(1,2)(4,5)(5,7) (7,10)(10,11)	321	$\frac{(365 - 321)}{(433 - 321)}$	0.39
(2,4)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	$\frac{(433 - 433)}{(433 - 433)}$	0
(3,4)	(1,2)(2,3)(3,4) (4,5)(5,7)(7,10)(1 0,11)	365	(1,2)(4,5)(5,7) (7,10)(10,11)	321	$\frac{(365 - 321)}{(433 - 321)}$	0.39
(4,5)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	$\frac{(433 - 433)}{(433 - 433)}$	0
(5,6)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,6)(6,7)(7,10)(1 0,11)	378	(1,2)(2,4)(4,5) (7,10)(10,11)	342	$\frac{(378 - 342)}{(433 - 342)}$	0.4
(5,7)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	$\frac{(433 - 433)}{(433 - 433)}$	0
(6,7)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,6)(6,7)(7,10)(1 0,11)	378	(1,2)(2,4)(4,5) (7,10)(10,11)	342	$\frac{(378 - 342)}{(433 - 342)}$	0.4
(7,8)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,8)(8,10)(1 0,11)	337	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(10,11)	329	$\frac{(337 - 329)}{(433 - 329)}$	0.077
(7,9)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,9)(9,10)(1 0,11)	381	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(10,11)	329	$\frac{(381 - 329)}{(433 - 329)}$	0.5
(7,10)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	$\frac{(433 - 433)}{(433 - 433)}$	0
(8,10)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,8)(8,10)(1 0,11)	337	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(10,11)	329	$\frac{(337 - 329)}{(433 - 329)}$	0.077
(9,10)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,9)(9,10)(1 0,11)	381	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(10,11)	329	$\frac{(381 - 329)}{(433 - 329)}$	0.5
(10,11)	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	(1,2)(2,4)(4,5) (5,7)(7,10) (10,11)	433	$\frac{(433 - 433)}{(433 - 433)}$	0

Сітьові графіки (моделі) за характером використовуваних оцінок робіт діляться на детерміністичні (детерміновані) і імовірнісні (стохастичні) [5, 18]. Детерміністичними називають сітьові графіки, які є моделями процесів, які характеризуються чітко визначеною структурою і цілком певною(детермінованою) оцінкою робіт за обраним критерієм (час, виконавці, вартість і т. д.).

Наприклад, оцінкою тривалості роботи може бути нормативний час  $T_n$ , який можна визначити із виразу (2.32):

$$T_n = V / P, \quad (3.42)$$

де  $V$  – об'єм роботи, намічений до виконання певним виконавцем;  $P$  – нормативна продуктивність виконавця (бригади або ланки робітників, окремої машини або комплекту машин).

Імовірнісними називають сітьові графіки, які є моделями процесів, що мають деяку невизначеність, пов'язану з імовірнісним характером системи. При наявності невизначеності користуються імовірнісними оцінками робіт. Так, при визначенні тривалості робіт, замість однієї оцінки приймаються дві або три імовірнісні:

$T_{нс}$  – найбільш імовірний час виконання роботи. Це тривалість роботи при нормальних умовах та в умовах, що часто зустрічаються ;

$T_o$  – оптимістична оцінка – час, необхідний для виконання роботи при найбільш сприятливому збігу обставин;

$T_n$  – песимістична оцінка – час, необхідний для виконання роботи при найбільш несприятливому збігу обставин.

Імовірнісні сітьові моделі використовуються в системі PERT (метод оцінки і огляду програм), в якій прийнято, що тривалість робіт підпорядковується закону  $\beta$ -розподілення, а час завершення всього комплексу робіт – нормальному закону розподілення[5]. При цьому застосовується метод усереднення, що дозволяє обчислити очікувану тривалість роботи  $T_{oc}$  – тимчасову оцінку, яка виражається через імовірнісні

оцінки і використовується для розрахунку сітьової моделі, і величину дисперсії ( $\sigma^2$ ) – міру невизначеності цієї тривалості, по якій оцінюють надійність моделі.

Очікуване значення тривалості роботи розраховується або за трьома тимчасовим оцінками ( $T_o, T_{нс}, T_n$ ) по формулі (3.43):

$$T_{оч} = \frac{(T_o + 4T_{нс} + T_n)}{6}, \quad (3.43)$$

або за двома оцінками ( $T_o, T_n$ ) по формулі (3.44):

$$T_{оч} = \frac{(3T_o + 2T_n)}{5}. \quad (3.44)$$

Дисперсія тривалості роботи визначається за формулами (3.45)-(3.46):

- при трьох часових оцінках як:

$$\sigma^2 = \left[ \frac{T_n - T_o}{6} \right]^2, \quad (3.45)$$

- при двох оцінках як:

$$\sigma^2 = \left[ \frac{T_n - T_o}{5} \right]^2. \quad (3.46)$$

Далі значення  $T_{оч}$  по кожній роботі використовуються при розрахунку ймовірнісної сітьової моделі тими ж методами, що і детермінованої моделі. Визначаються ранні та пізні терміни звершення подій, тривалість критичних шляхів, загальний і частні резерви часу. Крім тривалості робіт, у ймовірнісної сітьової моделі визначається також дисперсія тривалості критичного шляху (чи звершення будь-якої події) шляхом підсумовування дисперсій послідовностей робіт, що характеризують термін звершення аналізованої події. Цей прийом дозволяє визначити параметри, що враховують імовірнісний характер модельованого процесу і надійність моделі. При цьому, під надійністю сітьової моделі розуміється ймовірність завершення робіт, що входять у неї, у заданий термін.

Так як критичний шлях сітьового графіка складається з ланцюга робіт, тривалості яких розподіляються за випадковим законом, то згідно з основною граничною теоремою теорії ймовірностей розподіл імовірних термінів

закінчення проекту (комплексу робіт) підпорядковується нормальному закону [5, 18, 23].

Таким чином, імовірність звершення завершальної події сітьової моделі у встановлений термін (надійність сітьової моделі) може бути визначена за формулою (3.47):

$$p(T_{кр} \leq T_{зад}) = \Phi \left( \frac{T_{зад} - T_{кр}}{\sqrt{\sum \sigma^2}} \right) = \Phi(t), \quad (3.47)$$

де  $p$  – імовірність звершення кінцевої події у встановлений термін;  $T_{зад}$  – заданий термін закінчення робіт на об'єкті;  $T_{кр}$  – очікуваний термін завершення всього комплексу робіт сітьової моделі (тривалість критичного шляху);  $\Phi(t)$  – значення функції нормального розподілу (функція Лапласа).

Значення функції Лапласа наводяться в численних посібниках з математичної статистики.

Часові оцінки робіт сітьової моделі  $T_{нв}$ ,  $T_o$ ,  $T_n$ , а також розраховані за формулами (2.33-2.36)  $T_{оч}$  і  $\sigma^2$  наведені у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Вихідні дані для розрахунку вірогіднісної сітьової моделі

Код роботи	Оцінка часу, днів			Очікувана тривалість, $T_{оч}$ , днів	Дисперсія, $\sigma^2$
	$T_o$	$T_n$	$T_{нв}$		
1	2	3	4	5	6
(1,2)	48	83	62	63.167	34.028
(2,3)	37	52	44	44.167	6.250
(2,4)	107	148	112	117.167	46.694
(3,4)	0	0	0	0.000	0.000
(4,5)	74	49	63	62.500	17.361
(5,6)	33	42	36	36.500	2.250
(5,7)	86	114	91	94.000	21.778
(6,7)	0	0	0	0.000	0.000
(7,8)	7	12	8	8.500	0.694
(7,9)	32	58	52	49.667	18.778
(7,10)	86	142	104	107.333	87.111
(8,10)	0	0	0	0.000	0.000
(9,10)	0	0	0	0.000	0.000
(10,11)	1	1	1	1.000	0.000

Якщо критичний шлях (шляхи) в ході реалізації графіка не змінюються, то оцінити надійність сітьового графіка можна достовірно. У випадках, коли критичний шлях може змінитися, метод найчастіше дає помилкові результати [18]. У цьому випадку доцільно оцінювати надійність графіків за допомогою статистичного програшу (статистичних випробувань).

Метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло) являє собою сукупність прийомів і правил, що дозволяють імітувати (відтворювати) ймовірні процеси із застосуванням при цьому апарату випадкових чисел. Цей метод в даний час є найбільш універсальним з чисельних методів розв'язання математичних, інженерних, економічних і будь-яких інших завдань, що мають і ймовірнісний і детермінований характер [19].

Метод заснований на багаторазовому програванні процесів на побудованій моделі з метою отримання якомога більшого числа значень кількісних характеристик. Потім отримані значення піддаються статистичній обробці, що дозволяє виявити відповідні закономірності даного процесу у вигляді ряду кількісних оцінок. Наприклад, багаторазово змінюючи тривалості робіт сітьової моделі, можна в підсумку одержати вибірку значень тривалості критичного шляху, на підставі якої оцінити ймовірність виконання проекту в задані терміни.

Для моделювання процесу використовуються так звані випадкові числа з різними законами розподілу. Найчастіше випадкові числа – це рівномірна випадкова послідовність чисел в інтервалі 0-1. Такі послідовності випадкових чисел можна отримати трьома способами:

- побудовою таблиць випадкових чисел;
- створенням генераторів випадкових чисел;
- використанням методу псевдовипадкових чисел.

Використаємо таблицю нормальних нормованих випадкових відхилень [18]. З її допомогою багаторазово змінюються тривалості робіт  $t_{ij}$  сітьової моделі:

$$t_{ij} = T_{oc} + \sigma_{ij}\gamma , \quad (3.48)$$

де  $\sigma_{ij}$  – середньоквадратичне відхилення від  $T_{oc}$ ;  $\gamma$  – нормовані випадкові відхилення в долях  $\sigma_{ij}$ .

Результати статистичних випробувань моделі наведені у табл. 3.8-3.9.

Таблиця 3.8 – Перша реалізація моделі

Код роботи	$T_{oc}$	$\sigma_{ij}$	$\gamma$	$t_{ij}$
1	2	3	4	5
(1,2)	63.167	34.028	-0.202	56.293
(2,3)	44.167	6.250	0.42	46.792
(2,4)	117.167	46.694	2.417	230.027
(3,4)	0.000	0.000	0.26	0.000
(4,5)	62.500	17.361	0.353	68.628
(5,6)	36.500	2.250	2.555	42.249
(5,7)	94.000	21.778	0.666	108.504
(6,7)	0.000	0.000	0.077	0.000
(7,8)	8.500	0.694	-1.365	7.552
(7,9)	49.667	18.778	1.833	84.086
(7,10)	107.333	87.111	0.308	134.164
(8,10)	0.000	0.000	0.768	0.000
(9,10)	0.000	0.000	-0.957	0.000
(10,11)	1.000	0.000	-0.094	1.000

Таблиця 3.9 – Результати статистичних випробувань моделі

Код роботи	Значення $t_{ij}$ по реалізаціям сітьової моделі									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(1,2)	56.29	18.83	40.33	58.40	62.55	116.42	53.50	42.00	133.71	79.53
(2,3)	46.79	37.27	45.27	51.04	43.59	41.15	47.56	42.80	33.65	61.89
(2,4)	230.03	172.31	109.32	106.05	143.32	30.92	114.32	144.16	141.12	211.21
(3,4)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(4,5)	68.63	59.88	34.86	41.44	65.78	44.90	50.73	55.35	65.36	64.25
(5,6)	42.25	34.90	37.78	36.31	40.53	36.76	37.07	32.73	36.77	35.72
(5,7)	108.50	90.76	123.60	77.45	98.66	103.71	108.85	106.72	91.26	108.42
(6,7)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(7,8)	7.55	8.48	8.33	8.31	8.84	8.48	8.77	9.37	7.99	8.63
(7,9)	84.09	46.77	83.54	41.89	51.60	63.92	50.68	40.20	50.91	80.59
(7,10)	134.16	328.33	213.61	-1.56	75.02	1.93	186.26	54.72	-11.22	62.12
(8,10)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(9,10)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(10,11)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Таблиця 3.10 – Значення  $T_{кр}$  по реалізаціям сітьової моделі

Реалізація	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{кр}$	598,6	671,1	522,7	282,8	446,3	298,9	514,7	403,9	421,2	526,5

Провівши  $N$  реалізацій сітьової моделі (додаток В), отримано в підсумку  $N$  значень тривалості критичного шляху.

При цьому частина значень  $T_{кр}$  буде задовольняти умові (3.49):

$$T_{кр} \leq T_{зад}, \quad (3.49)$$

де  $T_{зад}$  – заданий строк виконання комплексу робіт.

Оцінка надійності звершення робіт у заданий строк оцінюється за формулою (3.50):

$$p(T_{кр} \leq T_{\delta}) = N_1 / N. \quad (3.50)$$

де  $N_1$  – число реалізацій, у яких виконалася умова (2.39);  $N$  – кількість проведених реалізацій.

Максимальне і мінімальне значення критичного шляху при заданій вірогідності  $p = 0,98$ ,  $\lambda = 3,02$  вираховуються за формулами (3.51) і (3.52):

$$\max T_{кр} = M \cdot (T_{кр}) + \lambda \cdot S(T_{кр}), \quad (3.51)$$

$$\min T_{кр} = M \cdot (T_{кр}) - \lambda \cdot S(T_{кр}). \quad (3.52)$$

Результати оцінки надійності сітьової моделі наведені на рисунку 3.7 і на рисунку 3.8.

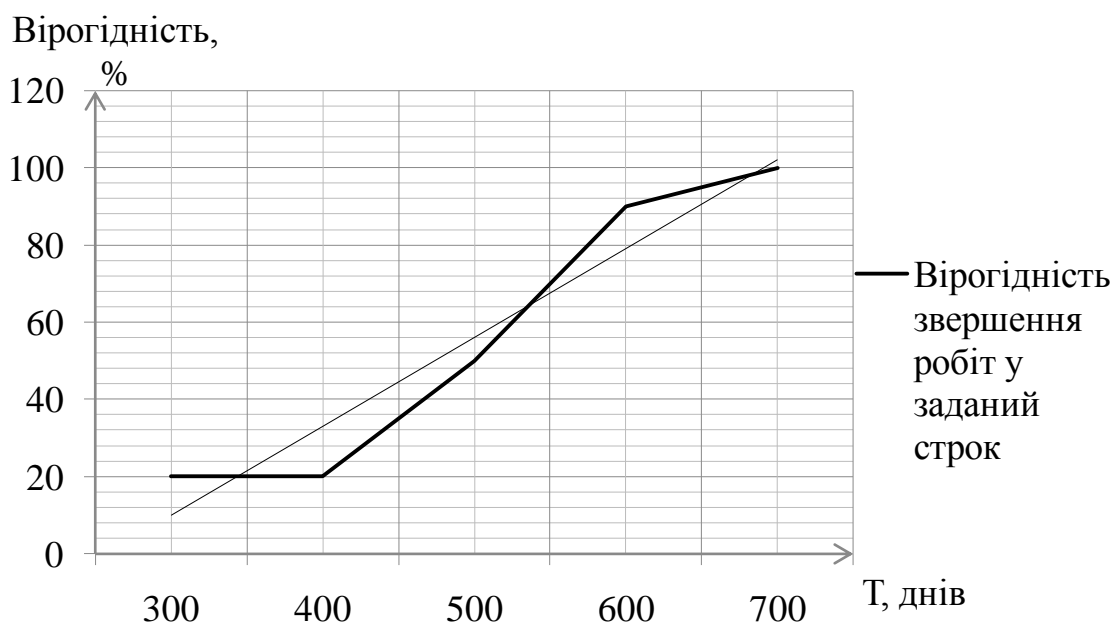


Рисунок 3.7 – Вірогідність звершення робіт у заданий строк

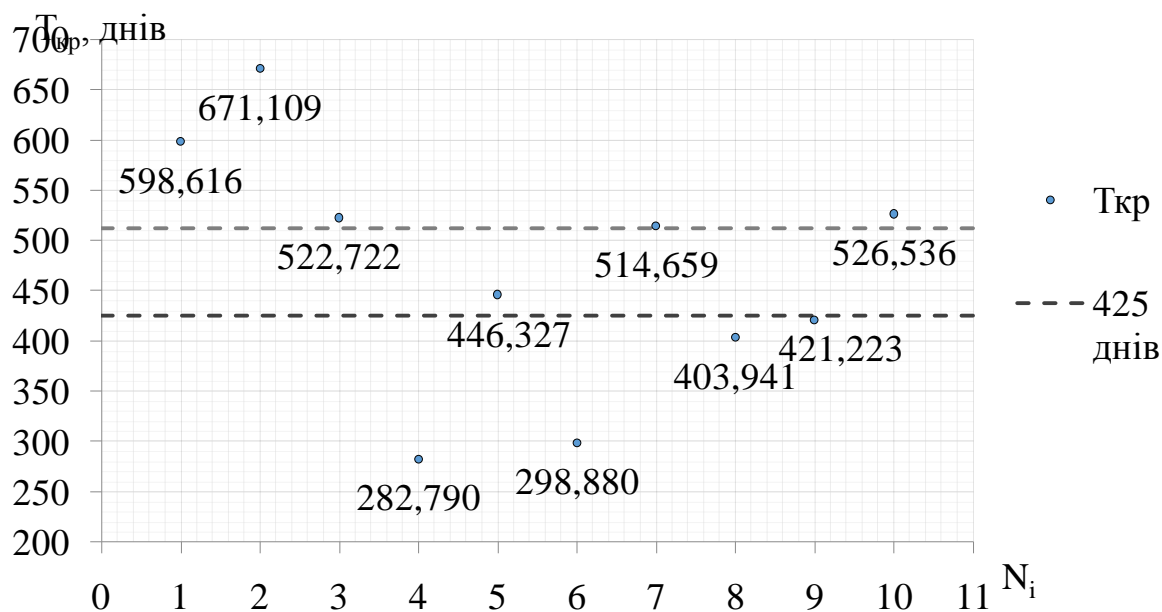


Рисунок 3.8 – Оцінка відповідності строків по реалізаціям границям мінімальної і максимальної довжини критичного шляху  
( $\min T_{кр} = 425 \text{ дн.}$ ,  $\max T_{кр} = 512 \text{ дн.}$ )

Виконаємо аналіз коефіцієнту напруженості роботи як фактору впливу на надійність зведення будівель. Розробимо рекомендації по вдосконаленню організаційно-технологічного проектування.

Одним з параметрів календарного плану будівництва, який безпосередньо стосується надійності організаційно-технологічного проектування, є коефіцієнт напруженості  $K_H$  роботи.

Значення коефіцієнту  $K_H$  перебуває у межах  $0 < K_H < 1$ . Прямо пропорційно зростанню коефіцієнта збільшується складність своєчасного виконання робіт, а отже, зменшується вірогідність досягнення кінцевого результату – введення в дію об'єктів з необхідною якістю, у встановлені терміни з максимальним прибутком підрядника.

Аналіз коефіцієнту  $K_H$  дозволяє виявити основні залежності, які впливають на надійність зведення будівлі у заданий термін.

Для зручності проведення дослідження вихідні дані, взяті із таблиці 2.3, занесені у таблицю 3.11.



Таблиця 3.11 – Вихідні дані для побудови графіків

Код роботи	$t(L_{\max})$ , днів	$t_{kp}$ , днів	Збігання тривалості шляхів $t(L_{\max})$ і $t_{kp}$ , %	$K_H$
(1,2)	433	433	100	0
(2,3)	365	321	87,9	0,39
(5,6)	378	342	90,5	0,4
(7,8)	337	329	97,6	0,077
(7,9)	381	329	86,35	0,5

Спираючись на отримані результати розрахунку сітьового графіка 16-ти поверхового житлового будинку для наглядності побудований графік (рис. 3.9). Екстраполяцією отримані значення для всього проміжку значень  $0 < K_H < 1$  (рис. 3.9).

До резервної зони входять всі значення, які відповідають ( $K_H < 0,6$ ). Із рисунку 3.10 видно, що в резервну зону входять роботи, у яких тривалість шляхів, які проходять через них, збігається з тривалістю критичного шляху на більш ніж 83,3%.

Під визначення підкритичної зони підпадають роботи з ( $0,6 < K_H < 0,8$ ). Виходячи з графіку, підкритичними є роботи, у яких співпадіння тривалості шляху, який проходить через них, збігається з тривалістю критичного шляху у межах 73,3 – 83,3 %.

Роботи, у яких  $t_{kp}$  складає менш ніж на 73,3 % від  $t(L_{\max})$ , є критичними, коефіцієнт напруженості перевищує 0,8.

Аналіз рисунків 3.9-3.10 показує:

- 1) роботи, через які проходять критичний шлях, мають нульовий коефіцієнт напруженості;
- 2) чим більша тривалість співпадаючих робіт критичного шляху та шляху максимальної довжини, що проходить через задану роботу, тим менший коефіцієнт напруженості цієї роботи;
- 3) якщо співпадіння дорівнює менше 70 % роботу вкрай складно виконати вчасно.

Співпадіння  
тривалості  
шляхів, %

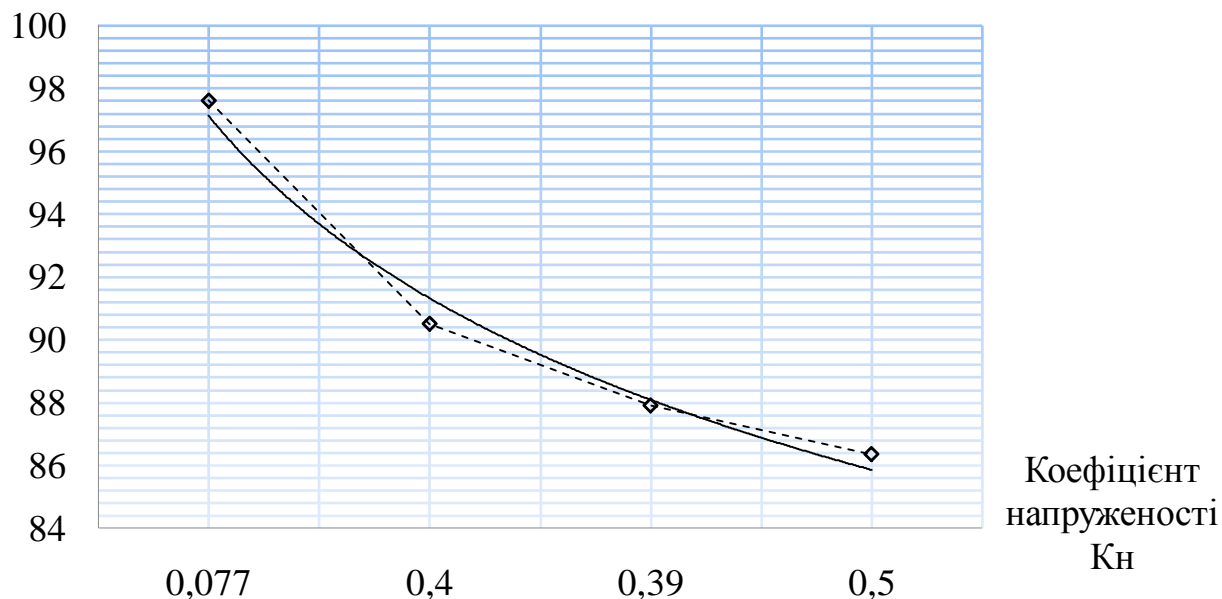


Рисунок 3.9 – Графічне зображення залежності  $K_H$  від величини співпадіння тривалості шляхів  $t(L_{max})$  і  $t_{kp}$  у %

Співпадіння  
тривалості  
шляхів, %

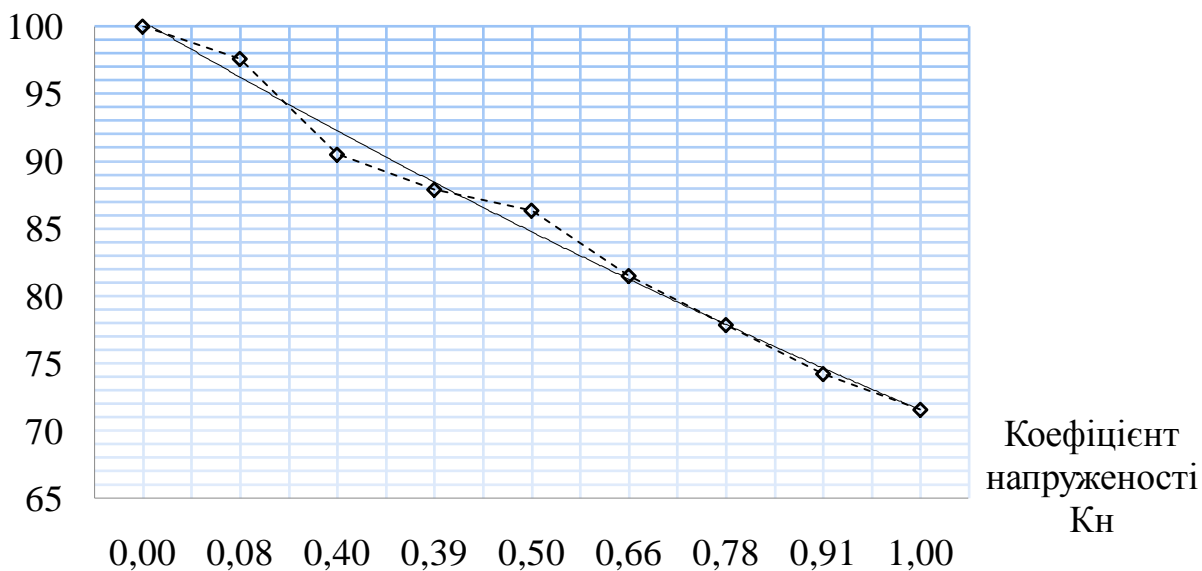


Рисунок 3.10 – Графічне зображення залежності  $K_H$  від величини співпадіння тривалості шляхів  $t(L_{max})$  і  $t_{kp}$  у % для значень  $K_H$  від 0 до 1.

Надійність зведення житлових будівель істотно впливає на ефективність капітальних вкладень. Підвищення рівня якості організаційно-технологічного проектування – основний метод отримання максимального прибутку.

Серед великої кількості факторів впливу на будівельне виробництво найбільш значними є організаційно-технологічні. Такі чинники, як тип виробництва, рівень механізації робіт, характер і особливості процесу, природні і метеорологічні умови, призводять до явних і прихованих втрат часу, які часом перевищують 30% від запланованого.

Критерії надійності організаційно-технологічного проектування тісно пов'язані з вірогідністю виникнення відмов під час будівельного процесу. Найбільш ефективним шляхом підвищення надійності організаційно-технологічного проектування є усунення причин виникнення відмов. На основі аналізу факторів, які спричиняють виникнення відмов при виконанні будівельно-монтажних робіт, розроблені рекомендації, дотримання яких дозволить вдосконалити організаційно-технологічне проектування і підвищити надійність зведення житлових будівель.

Заходи щодо підвищення організаційно-технологічної надійності проектування:

1. Оперативне управління і планування. Система оперативного управління і планування базується на контролі дій всіх виконавців. Сучасні документи розробляються за виробничими нормами тривалості і трудомісткості будівельно-монтажних робіт. Суворе регламентація строків та методів виконання робіт дозволяє підвищити надійність своєчасного закінчення будівельного процесу із необхідною якістю.

2. Якісна організація диспетчерської служби. Оперативно-диспетчерська служба забезпечує оперативне керівництво і координацію робіт усіх учасників інвестиційного проекту, ґрунтуючись на графіках виконання робіт, контролює технологічну комплектацію об'єктів виробами і матеріалами, оперативно враховує надходження основних будівельних

виробів і конструкцій, виходячи з графіків поставок. Диспетчерська служба стежить за наявністю на складах мінімального запасу виробів і матеріалів. Від кожної зі сфер діяльності оперативно-диспетчерської служби залежить надійність зведення будівлі за проектом.

3. Своєчасне забезпечення об'єктів будівельними конструкціями, матеріалами і виробами. Для цього розробляються транспортно-технологічні карти погодинної поставки виробів і матеріалів і комплектувальних відомостей, що визначають систему постачання матеріально-технічних ресурсів на кожен об'єкт. Всі рішення, наведені у документах щодо поставок мають бути суворо дотримані.

4. Створення страхових запасів виробів і матеріалів. Розрахунок запасу ґрунтується на статистичних даних відмов через відсутність матеріалів і виробів даної будівельно-монтажної організації. Залежно від заданого рівня надійності визначається обсяг страхових запасів на об'єктах будівництва.

5. Організаційно-технологічна підготовка будівельного виробництва. Організаційно-технологічна підготовка будівельного виробництва являє собою комплекс організаційних, технічних, технологічних і планово-економічних заходів, що дозволяють реалізувати вимогу рівномірної і безперервної роботи, своєчасне її розгортання та ефективне виконання робіт на основі високої організаційно-технологічної надійності проектування будівельного виробництва. Для цього необхідно ретельно і своєчасно виконувати внутрішньо майданчикові підготовчі роботи: здача-прийняття геодезичної розбивочної основи для будівництва; знесення будівель; планування території будмайданчика; прокладка постійних і тимчасових доріг; влаштування тимчасового огороження будівельного майданчика; організація майданчиків складування і приміщень для будівельних матеріалів; прокладка тимчасових інженерних мереж і комунікацій та їх підключення; організація зв'язку для оперативно-диспетчерського управління; забезпечення будівельного майданчика протипожежним водопостачанням та інвентарем, освітленням і засобами сигналізації, тимчасовими будівлями і спорудами.

### Висновки до розділу 3

Виявлено, що надійність організаційно-технологічного проектування є складною імовірнісною системою, на яку впливають 5 категорій факторів випадкових чинників: технічні, технологічні, організаційні, кліматичні, соціальні. Результатом дії випадкових чинників є відхилення фактичних строків і витрат ресурсів від планових. Усунення будь-якого із зазначених факторів призводить до скорочення затримок будівельного виробництва.

Виділені та описані такі критерії для оцінки організаційно-технологічної надійності, як імовірність безвідмовної роботи, середній час між відмовами, інтенсивність відмов, їх частота, коефіцієнти надійності. Визначення їх кількісних показників дозволяє дати оцінку надійності роботи будівельної системи, тобто оцінити імовірність безвідмовної роботи будівельного виробництва.

Організаційно-технологічне проектування являє собою процес досягнення основного результату всього будівельного виробництва, необхідний для забезпечення надійності проекту виробництва робіт при зведенні об'єктів будівництва при укладенні договорів підряду.

Досліджена методика оцінки надійності календарних планів та порядку будівництва дозволяє приймати рішення з реальною надійністю. Отримані результати і методика оцінки дозволяють організаціям здійснювати управління будівництвом з гарантованою якістю об'єктів, що зводяться. Використання випадкових чисел для моделювання будівельних процесів дозволяє з достатньою долею вірогідності розрахувати імовірність звершення робіт у заданих строк та оцінити надійність сітьової моделі об'єкту будівництва.

Значну частку впливу на надійність зведення житлових будівель здійснює календарний графік, який пов'язаний як з управлінням, так і з реалізацією проекту. Статистичні випробування дозволяють врахувати імовірнісний характер будівництва і вплив випадкових факторів на процес зведення будинку.

Схема оптимізації організаційно-технологічної надійності проектування являє собою механізм протидії ризиковим ситуаціям та їх наслідкам і необхідна для підвищення надійності всього будівельного процесу.

### Перелік використаної літератури у розділі 3

- 1 Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях. / Нечепуренко Н.И., Попков В.К. и др. . Новосибирск : Наука. сиб. отд-ние, 1990.515 с.
- 2 Баркалов С.А. Теория и практика календарного планирования строительного производства. Воронеж. гос. архитектур.-строит. акад. : Воронеж , 1999. 216 с.
- 3 Баркалов С.А. Моделирование и автоматизация организационно-технологического проектирования строительного производства : Учебное пособие . Воронеж : Изд-во ВГАСА, 1997. 120 с.
- 4 Гусаков А.А., Григорьев Э.Н., Ткаченко О.С. Выбор проектных решений в строительстве. Москва : Стройиздат, 1982. 268 с.
- 5 Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства. Москва: Стройиздат, 1974. 252 с.
- 6 Гусаков А.А. Системотехника в строительстве. / Предисловие Г.С.Поспелова. Москва: Стройиздат, 1983.440 с.
- 7 Кофман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования и их применение / пер. с фр. В.З. Беленький. Москва : Прогресс, 1968. 181 с.
- 8 Кудинов, А.И. Календарное планирование строительного производства. Москва : Стройиздат, 1974. 91 с.
- 9 Кузнецов С.М., Сироткин Н.А., Легостаева О.А., Ячменьков С.Н. Оценка организационно-технологической надежности строительства зданий и сооружений. *Экономика и организация строительства. Автоматизация и технология строительного производства.* 2006. №2. с. 47-52.
- 10 Информационные модели функциональных систем / под общ. ред. К.В. Судакова , А.А. Гусакова. Москва : Фонд «Новое тысячелетие», 2004. 304 с.
- 11 Лазебник В.М., Кравец Н.И. Расчет уровня надежности поточного строительства. *Строительное производство.* 1996. Вып.19. с. 3-7.

- 12 Лapidус А.А. Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта. *Вестник МГСУ*, №1. Москва, 2014. С. 175-180.
- 13 Мастаченко В.Н. Методы выбора вариантных проектных решений зданий и сооружений: учебное пособие. Москва : МИИТ, 1994. 52 с.
- 14 Менеiлюк А.И., Ершов М.Н., Никифоров А.Л. Оптимизация организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений. Київ : ТОВ НВП «Інтерсервіс», 2016. 332 с.
- 15 Мироносецкий Н.Б. Экономико-математические методы календарного планирования / под. ред. К.А. Багриновского. Новосибирск : Наука, 1973 . 140 с.
- 16 Млодецкий В.Р., Тян Р.Б., Попова А.В., Мартыш А.А. Организационно-технологическая и экономическая надежность в строительстве . Днепрпетровск : Наука и образование, 2013. 193 с
- 17 Недавний О.И., Базилевич С.В., Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов . *Системы. Методы. Технологии*. 2013. №2. с. 137-141.
- 18 ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва [Чинні від 2012-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 61 с.
- 19 Організація будівельного виробництва: підручник / за ред. С.А. Ушацького. Київ: Кондор, 2007. 521 с.
- 20 Организационно-технологическая надежность строительства: учебник / под. ред. А.А. Гусакова. Москва : Аргус, 1994. 472 с.
- 21 Резниченко В.С. Современная информационная технология в управлении строительством . Москва : Дом знаний, 1992. 132 с.
- 22 Седых Ю.И., Лазебник Ю.И. Организационно-технологическая надежность жилищно-гражданского строительства. Москва : Стройиздат, 1989. 396 с.
- 23 Шкляров А.Ф. Надежность систем управления в строительстве. Ленинград: Стройиздат, 1974. 96 с.

## РОЗДІЛ 4

### ДЕЯКІ ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВІДНОВЛЕННЯ ГІДРОІЗОЛЮЮЧОЇ ПРИДАТНОСТІ М'ЯКИХ ПОКРІВЕЛЬ

#### Зміст до розділу 4

4.1 Фактори визначення напрямку вдосконалення засобів ремонту м'яких багатошарових покрівель

4.2 Науково-теоретичні напрямки вдосконалення засобів ремонту багатошарового м'якого покрівельного килиму

4.3 Визначення матеріалів і способів відновлення м'яких покрівель

Висновки до розділу 4

Перелік використаної літератури у розділі 4

#### **4.1 Фактори визначення напрямку вдосконалення засобів ремонту м'яких багатошарових покрівель**

В сучасних умовах розвитку будівельної галузі найбільше поширення в процесах ремонту м'яких багатошарових покрівель отримали технології і матеріали, запозичені з нового будівництва без істотної їхньої трансформації щодо визначення діючих чинників впливу.

Загальний фонд м'яких покрівель в Україні складає понад 500 млн. м<sup>2</sup>, який згідно з нормативними даними підлягає періодичному ремонту кожні 5...7 років у відповідних обсягах у зв'язку із систематичною появою пошкоджень та наступною втратою гідроізолюючої придатності. Покрівельні роботи з нового будівництва переорієнтовані в ремонтну сферу і частка їх складає не менше 80% загального об'єму, а вартість сягає близько 50% від первинної.

На даний час технології ремонтних покрівельних робіт в порівнянні з влаштуванням нових покриттів ускладнені необхідністю попереднього усунення дефектів і пошкоджень поверхні, потребують кваліфікованих



виконавців, високоякісних матеріалів спеціального ремонтного призначення, ефективних технологічних операцій, сучасних засобів механізації.

Аналіз методології, науково-методичних підходів та науково-прикладних результатів, а також практичного досвіду виконання будівельних робіт дозволив стверджувати, що традиційні ремонтно-відновлювані технології покрівельних робіт потребують додатково науково-практичного обґрунтування та дослідження, із застосуванням передових аналітичних інструментів, спрямованих на мінімізацію витрат ресурсів, зменшення залежностей від впливу помилок та кваліфікації виконавців та дотримання вимог, які визначені нормативними положеннями. Таким чином виникає необхідність комплексу технологічних вирішень та рекомендацій покликаних в процесі виконання робіт мінімізувати їх ресурсомісткість та оптимізувати функціонально-організаційні та організаційно-технологічні засади.

Успішне відновлення експлуатаційної придатності багат шарового покрівельного килиму можливе при виконанні двох головних умов - усунення його локальних пошкоджень в процесі підготовки передремонтної поверхні та втрати водонепроникності, вирішення яких допомагає врахування кінетики змін фізичного стану в часі.

До найбільш складних і остаточно технологічно не вирішених проблем відносяться усунення пошкоджень у вигляді розшарувань і здуттів, в той час як інші завдання в ремонтній сфері можуть вважатися порівняно простими у виконанні.

Необхідно врахувати, що механізм кінетики зниження експлуатаційної придатності покрівлі пов'язаний з поступовою зношеністю поверхні та утворенням дефектів і пошкоджень критичних значень. А також аналіз ремонтних технологій з їхньою затратністю і незначними гарантованими міжремонтними періодами, дозволяють виявити напрямок розробки максимально придатних рішень для досягнення необхідних результатів з урахуванням умов поставленого завдання [1...3].

Зрозуміло, причини прискореної втрати гідроізолюючої здатності

знаходимо у взаємозв'язку з неминучою наявністю пошкоджень в післяремонтній покрівлі та подальшій дії зовнішніх чинників згідно класифікатору основних видів дефектів в будівництві. Якщо спочатку рулонні покрівлі є носіями дефектів, багато з яких на стадії ремонтних робіт практично не підлягають усуненню, то в період відновлення належної роботопридатності покриття підбір певних технологічних рішень дозволить попередити появу нових дефектів, а також нівелювати руйнівний вплив раніше утворених. Щодо впливу атмосферних чинників літературні дані показують, а практика підтверджує успішну можливість вирішення проблеми зниження їхнього деструктивного впливу за рахунок заходів, які базуються на можливостях використання бітумних матеріалів з модифікуючими добавками з числа полімерів і канчуків [4...6].

Визначити основний напрямок пошуку ефективних технологічних рішень відновлення гідроізолюючої придатності покрівельного шару представляється можливим, якщо взяти до уваги усі відомі спектр і кінетику розвитку дефектів і пошкоджень поверхні килиму. Згідно названих нормативів, технічний стан покрівлі оцінюють по 4-х категоріях від нормального до аварійного з проміжними задовільним та незадовільним в залежності від обсягу пошкоджень, відсутності або наявності протікань. Послідовне наростання погіршення стану поверхні з переходом її в непридатний вказує на таку ж кінетику наростання пошкоджень через несвоєчасне усунення наявних та попередження появи нових на інших ділянках покрівлі.

Очевидно, що окремі ділянки якийсь час можуть зберігати роботопридатність. Попередити подальші деструктивні процеси представляється можливим за рахунок поповнення втраченими інгредієнтами бітумних складових покривних шарів рулонного матеріалу або захисних шарів м'якого килиму. Як вже зазначалося раніше, деструктивні процеси в природних умовах пов'язані з переходом маломолекулярних рідков'язких і густов'язких з'єднань у високомолекулярні тверді, схильних до

розтріскування з подальшими відшаровуваннями як причинами появи каналів проникання води.

Наведена в класифікаторі пошкоджень градація технічного стану покрівельного покриття, якому відповідають різні ступені пошкодження поверхні в залежності від результатів розвитку деструктивних процесів, вказує на збереження на кожній стадії певного залишкового гідроізолюючого ресурсу та поступове його зниження на послідуєчих етапах експлуатації.

Згідно з рекомендаціями деяких вчених, візуально встановлюються точкові і локальні пошкодження, а також руйнування водоізолюючого покрівельного килиму. До перших, що мають назву точкових, відносяться проломи, прориви, здуття, тріщини, загинання полотнищ рулонного матеріалу, наскрізні прориви, раковини, лущення, наскрізні тріщини. Усі вони є наслідком механічного впливу на покрівлю.

Наведений перелік пошкоджень умовно слід поділити на три групи. Одна група не включає безпосередньо наскрізні руйнування поверхні і представлена тільки здуттями і розшаруваннями, а також відривом килиму від примикань до вертикальних частин дахів, які фіксуються результатами візуального огляду.

До другої групи можуть бути віднесені пошкодження поверхні килиму у вигляді суцільного лущення мастичного шару, відсутність покривного шару на поверхні полотнищ. У третю групу можуть бути включені наскрізні руйнування.

Традиційне відновлення експлуатаційної придатності рулонного покриття вирішується, як правило, нанесенням додаткового шару рулонного або одного з видів мастичного матеріалу, в тому числі бітумних емульсій, згідно до технологій, запозичених з нового будівництва.

Як відзначають Сокова С. Д., Печений Б. Г., влаштування додаткового шару по існуючому багатшаровому килиму призводить до збереження усіх причин, в тому числі і зволоженості нижньої товщі покрівлі, які викликають прискорену втрату експлуатаційних функцій. Якщо оцінювати мастичні

технології, то результати цілком залежать від таких факторів, як придатність проникати і заповнювати тріщини, проколи в разі зволоженого стану, адгезія приклеювання, здатність усувати міжшарові порожнечі, які неминуче стануть осередками накопичення конденсату з його фазовими перетвореннями і з цих причин наступним передчасним руйнуванням.

З аналогічних позицій слід оцінювати відомі технології ремонту точкових і локальних ушкоджень, які в основному представлені тріщинами, наскрізними проривами, раковинами, луценням, загинами рулонного полотна і які традиційно усувають нанесенням мастичного або руберойдного шару.

В усіх названих технологіях наноситься клейовий шар, який має недостатню здатність проникати в тріщини руберойдного килиму або луцення покривного шару, а також в інші дефектні місця поверхні. Звідси випливає необхідність орієнтації на технології, здатні формувати покриття з глибоким прониканням компонентів ремонтного матеріалу в поверхневі шари.

Викладені уявлення про взаємозв'язок технологій ремонту пошкоджень рулонного багат шарового килиму з його післяремонтною довговічністю вказують на головні принципи оптимального вирішення проблеми ефективності, які лежать в площині створення способів, придатних забезпечити достатнє проникання як в пошкоджені точкові і локальні зони, заповнювати їх, надавати герметичність і водонепроникність, так і в глибоко контактованій поверхні килиму.

В цілому ремонтній технології відводиться роль використання залишкового гідроізолюючого ресурсу зі значним його посиленням до рівня, що перевищує початковий.

Розшарування та здуття гідроізоляційного багат шарового килиму відносяться до особливого виду ушкоджень, для усунення яких відомі кілька технологій, які не можуть бути віднесені до розряду, здатних задовольнити потреби по головним оціночним критеріям. Конкурентоспроможною зможе

бути технологія, яка здатна забезпечити максимально можливу надійність і довговічність при відносно незначних витратах ресурсів.

Одні відомі розробки технології усунення розшарувань і здуттів спрямовані на відновлення цілісності багат шарового м'якого килиму простим зрізанням дефектних місць і повторним локальним наклеюванням шматків рулонного матеріалу. Інші методи передбачають приклеювання розшарованих поверхонь з використанням впроваджуваних в утворену порожнину клеючих мастик, розчинників, бітумно-водних емульсій або за рахунок розплавлення залишків бітумних матеріалів до клеєподібного стану електропрогріванням.

Кожна з названих технологій має характерні недоліки, які досить суттєво впливають на кінцеві результати як надійності, так і по ресурсоемності детально розглянуті в попередньому розділі. Найбільш доступною, надійною і ресурсозберігаючою може бути технологія, яка здатна поєднати вирішення декількох завдань.

Зрозуміло, визначені принципи розробки технології усунення дефектів у вигляді розшарувань. Можуть бути найбільш дієвими технологічними рішеннями за умови попередження впливу зволоженості поверхонь порожнини, а також способи перетворення залишкових бітумних матеріалів з твердого, важкорозчинного стану в клеєподібний.

Важливим моментом технології слід вважати можливість повернути відремонтованій ділянці не тільки попередній цілісний стан, але наділити якісно новими домінуючими властивостями, перш за все, водонепроникністю і паропроникністю.

Отже, технології відновлення гідроізолюючої придатності та усунення здуттів і розшарувань повинні бути спрямовані на досягнення наступного комплексу результатів (рис. 4.1):

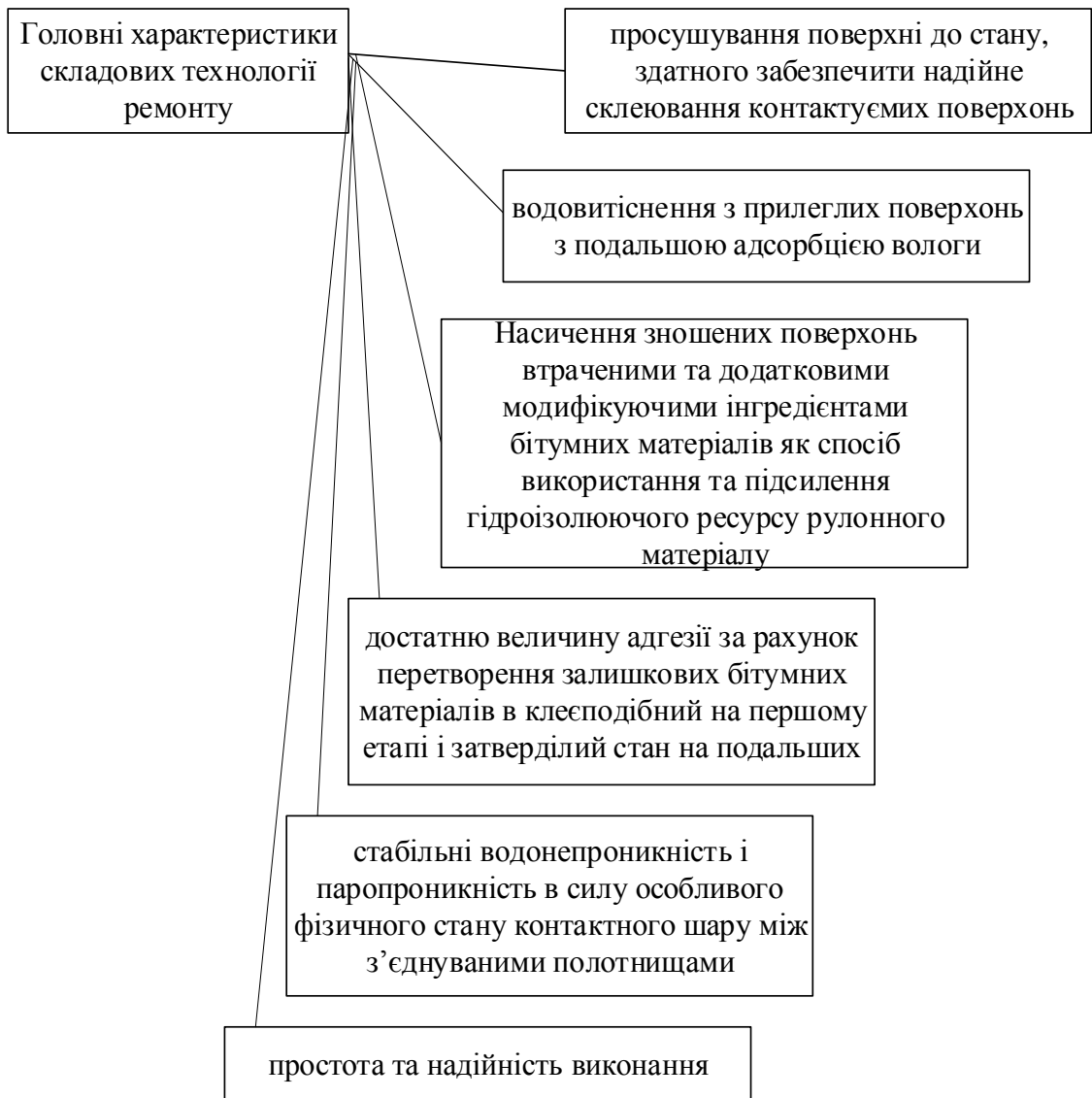


Рисунок 4.1 - Схема визначення потрібних характеристик результатів відновлення м'яких покрівель

#### **4.2 Науково-теоретичні напрямки вдосконалення засобів ремонту багат шарового м'якого покрівельного килиму**

Необхідність формування конкурентоспроможних технологічних рішень, спрямованих на відновлення гідроізолюючої здатності багат шарових покрівельних покриттів з урахуванням їхнього технічного стану, зажадала виявити головні показники недосконалості відомих технологій і намітити шляхи їхнього усунення.

Для визначення проблем, які відносяться до відновлення експлуатаційної придатності м'яких покрівель, були узагальнені результати виявлених проблемних питань відносно технологій ремонту.

Виявлені проблеми дозволяють висунути наукову гіпотезу стосовно можливості удосконалення технологічних рішень ремонту м'якої покрівлі, яка полягає в тому, що усунення існуючого зношеного стану поверхні, розшарувань та здуттів бітумно-руберойдового килиму базується на використанні і посиленні залишкового гідроізоляційного ресурсу покривних шарів нанесенням спеціальних ремонтних бітумно-полімерних композицій, здатних впровадити втрачені і додаткові модифікуючі компоненти, усунути вплив залишкової вологості і тим самим збільшити термін експлуатації м'яких багатошарових покрівель зі зниженням витрат матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів.

Отже, технології можливо вдосконалювати в напрямку більш повного використання з одночасним посиленням залишкового гідроізолюючого ресурсу деструктованого покривного або захисного шарів до рівня, що перевищує початковий за рахунок їхнього насичення втраченими і додатковими модифікуючими інгредієнтами, такими як уайт-спірит, каучук, дизельне мастило, ГКЖ-11.

Технологічні рішення в напрямку передумов максимально можливого використання залишкового гідроізоляційного ресурсу покривного і захисного шарів при відновленні експлуатаційної придатності м'якої покрівлі передбачають такі шляхи:

- нанесення шару ремонтної композиції підвищеної здатності проникати в зношені шари килиму і насичувати їх втраченими і додатковими модифікуючими інгредієнтами;
- зниження ймовірності виходу в атмосферу компонентів ремонтної композиції використанням додаткового бронюючого шару;
- усунення розшарувань і здуттів покрівельного килиму шляхом використання водовитісняючої і водовбираючої здатності ремонтної

композиції, що створює умови зневоднення, розчинення і насичення поверхневих шарів порожнини для їхнього надійного склеювання;

- зниження до мінімально можливого рівня впливу кваліфікації виконавців і випадкових помилок на кінцеві результати за рахунок механізованого виконання робіт спрощеними методами.

Виявлені проблемні елементи технологій і можливості їхнього рішення згруповані в таблиці 1.

Іншим аспектом висунутих елементів наукової гіпотези є передумови про можливість її достатнього обґрунтування завдяки розробленим ремонтним композиціям спеціальних складів.

З метою підтвердження достовірності висунутої гіпотези відносно вдосконалення відновлення гідроізолюючої функції покрівлі проведені дослідження по кожній окремій проблемі.

Таблиця 4.1 - Елементи вдосконалення технологічних рішень відновлення гідроізолюючої придатності багат шарового покрівельного килиму

№ п/п	Найменування проблемних технологій	Сутність елементів технологій відновлення	Науково-теоретичні напрямки усунення проблемних питань
1	2	3	4
1	Відновлення гідроізолюючої придатності покрівлі нанесенням додаткового рулонного шару	Проблемні елементи технології: - ресурсоємність; - не використовується залишковий гідроізолюючий ресурс; - необхідність в сухій поверхні; - потреба вирівнюван-ня поверхні; - залишки причин та наслідків втрати приско-реної гідроізолюючої придатності; - неухильність утворення міжшарових порожнин як причин прискореного руйнуван-ня; - слабка адгезія наклеєних полотнищ.	Розробити спосіб підвищеного дифузійного проникання компонентів ремонтних композицій в деструктовані покривні і захисні шари рулонного килиму, насичувати їх втраченими і додатковими модифікуючими інгредієнтами, а також можливості водовитіснення з поверхневих тріщин і пор, заповнен-ня їх, створення міцних адгезійно-когезійних зв'язків для максимально можливого використання залишкового гідроізолю-ючого ресурсу



Продовження таблиці 4.1			
2	Відновлення гідроізолюючої придатності додатковим мастичним шаром	Проблемні елементи технології: - не використовується залишковий гідроізолю-ючий ресурс покриття; - залишки причин та наслідків втрати прискореної гідроізолю-ючої придатності; - потреба сушки поверхні; - слабка адгезія нанесеного шару; - підвищена витрат-ність ресурсів.	Теж
3	Усунення розшарувань і здуттів килиму	Проблемні елементи технологій: - висока трудоміст-кість процесів розрізан-ня та зрізання місць пошкодження; - енергоємність електроконтактних способів; - неможливість забезпечити необхідний ступінь висихання поверхні порожнин при використанні мастик, розчинників і емульсій; - не використовується залишковий потенціал бітумних матеріалів на поверхні утворених порожнин; - низька адгезія склеювання.	Розробити спосіб отримання високої міцності склеювання утворених поверхонь порожнин за рахунок придатності водовитіснення і абсорбції витісненої з поверхні води, а також дифузійно-абсорбційних процесів формування клейового з'єднання.
4	Технології ремонту багат шарового м'якого покриття	Проблемні елементи технологій залежать від ряду факторів, в тому числі кваліфікаційного рівня виконавців і впливу випадкових помилок.	Розробити спосіб нівелювання впливу малопідготовлених фахівців і випадкових помилок завдяки високомеханізо-ваним процесам робіт і достатній надійності відновлення.

Аналіз і оцінка відомих потенційно можливих складових ремонтних композицій, здатних надати необхідні властивості і відповідати вимогам технологічності, вказують на придатність для таких цілей гасу або уайт-спіриту в поєднанні з дизельним мастилом, нафтобітумом та добавками каучуку або полімеру, а також одного з видів неорганічних в'язучих речовин в технології усунення розшарувань і здуттів. В цілому, в названому поєднанні кожен компонент має властивість самотійно виконувати свою головну і підсилити функції інших:

- гас або уайт-спірит мають найбільше проникання в прилеглі поверхні і здатність переносити інші складові в рідков'язкому стані в контактовані

шари килиму і тим самим насичувати та збагачувати їх потрібними інгредієнтами;

- дизельне мастило посилює гідрофобність органічних складових суміші і надає композиції довгострокову підвищену водонепроникність та можливу паропроникність, попереджує деформативність та збільшує довговічність;

- бітум з його властивостями в'язучої речовини і гідрофобністю, дозволяє відновлювати початкові характеристики та утворювати гідроізолюючий шар завдяки перенесенню в прилеглі поверхні і насиченню наявних матеріалів;

- каучук або полімер підсилюють клеючу здатність, деформативність, адгезію і довговічність;

- стосовно технологічних рішень усунення розшарувань і здуттів важливу роль в складі ремонтних композицій можуть мати неорганічні в'язучі речовини, в тому числі гіпсові або портландцементні, які здатні абсорбувати залишки поверхневої вологи, і тим самим покращувати адгезію, довговічність, паропроникність.

Потреба в ефективних технологіях відновлення експлуатаційної придатності багат шарових покрівельних покриттів, орієнтованих на використання і підсилення їхнього залишкового гідроізолюючого ресурсу, з одного боку, і відсутність науково обґрунтованої конкретизації, з іншого, складають кризову ситуацію, на вирішення якої спрямовані дослідження.

#### **4.3 Визначення матеріалів і способів відновлення м'яких покрівель**

Згідно запропонованої технології для відновленого покривного шару шляхом його насичення з метою надати існуючому багат шаровому покрівельному килиму належну гідроізолюючу надійність і довговічність необхідно передбачити комплекс заходів проти руйнівної дії зовнішнього середовища.

Одним з таких заходів може стати зниження руйнівної дії води на покривні матеріали килиму завдяки ефекту насичення залишкових бітумних матеріалів дифундуючими компонентами, в тому числі гідрофобізуючими і стабілізуючими [8]. Результатом неминуче настане зменшення інтенсивності молекулярної взаємодії покривних шарів з водним зовнішнім середовищем.

Технологію використання і підсилення залишкового гідроізолюючого ресурсу, умовно названу проникаюче-насичуючою, вважається можливим успішно реалізувати за рахунок достатньої здатності нанесеної на поверхню композиційної суміші дифундувати в контактовані покривні шари килиму.

Вимогам до названих технологій в найбільшій мірі відповідають суміші компонентів, здатних забезпечити їхню підвищену проникаючу дію в існуючі покривні і захисні шари бітумного килиму та надати їм надійну водонепроникність і високу гідрофобність. Зазначені умови можуть виконувати поєднання в певному співвідношенні уайт-спіриту або гасу, дизельного мастила, нафтобітуму, каучуку, а також кремнійорганічної рідини.

В такому поєднанні кожен компонент наділений визначеною головною функцією. Зазначалося, що найбільшу проникаючу здатність мають уайт-спірит або гас, які можуть розглядатися як головні компоненти, що дозволяють забезпечити перенесення інших складових та насичувати шари покрівельного килиму.

Дизельне мастило разом з уайт-спіритом та іншими компонентами здатні надати покриттю підвищену гідрофобність і водонепроникність.

Каучук СКИ-4, проникаючи в нафтобітум і товщу існуючого покриття, виконує функцію забезпечення довговічності.

Як видно, усі названі компоненти в сукупності призначені надати зношеній поверхні килиму якісно нову композиційну структуру довготривалої стабільності.

Отримані експериментальні результати можуть слугувати вихідною базою для вдосконалення технології, в якій ремонтна композиція за рахунок

перенесення компонентів в товщу картонної основи або покривного шару рулонного матеріалу здатна відновити і збагатити їх втраченими в процесі експлуатації інгредієнтами. Йдеться про можливість технології доповнити покривні або захисні шари мало- і високомолекулярними складовими бітуму і додатково ввести полімерні, зокрема каучук, а так само гідрофобізуюче дизельне мастило.

Виходячи з названих підходів для досліджень були прийняті чотирнадцять композицій, до складу яких введені уайт-спірит, дизельне мастило, нафтобітум і каучук. Їхній склад наведено в таблиці 4.1.

Властивості набутих значень визначали на зразках зношеного руберойду, який втратив покривний шар. Кожен дослід включав по три зразки. На поверхню досліджуваних пластин руберойду за допомогою градуйованого шприца наносили строго дозований обсяг композиції з розрахунку  $400 \text{ г/м}^2$ .

Утворені покриття оцінювали показниками проникаючої здатності, гідрофобності, водопоглинання, водонепроникності, тобто тими властивостями, які мають максимально характеризувати технологію в умовах дії атмосферних чинників.

Проникаючу здатність кожної композиції оцінювали по глибині їхньої міграції в багат шарову товщу фільтрувального паперу. Гідрофобність визначали по діаметру розпливу фіксованого обсягу води  $1 \text{ мл (см}^3\text{)}$ , нанесеного за допомогою градуйованого шприцу на поверхню, насичену досліджуваними композиціями.

Отримані результати проведених досліджень як показники середніх величин трьох випробувань представлені в таблицях 4.1.,4.2.

Як видно з наведених даних, найбільшу проникаючу здатність виявляють гас і уайт-спірит, яка дорівнюється  $5 \text{ мм}$ , що підтверджує їхню загальновідому властивість і придатність для отримання необхідного ремонтного ефекту. Показники проникання дизельного і трансформаторного мастил практично ідентичні і мають величину біля  $3 \text{ мм}$ , що значно менше по

відношенню до гасу або уайт-спіриту. З позицій більшої доступності уайт-спіриту та дизельного мастила для подальших досліджень були обрані названі компоненти.

Певний практичний інтерес представляє поєднання гасу і дизельного мастила. Їх співвідношення 2:1 і 1:1 показують результати, наближені до глибини проникнення чистого гасу і уайт-спіриту відповідно 5,5 і 4,2 мм.

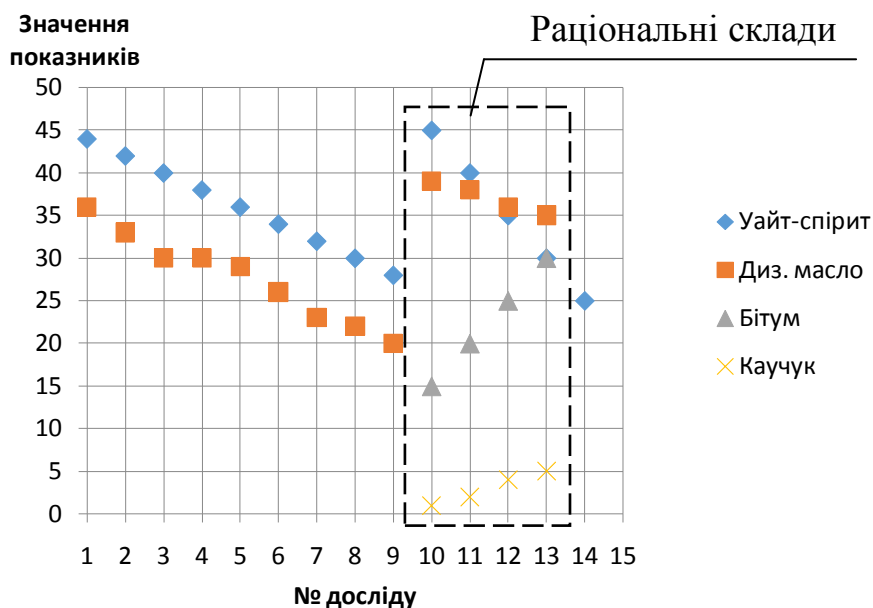


Рисунок 4.2 - Визначення залежності показників насичуюче-проникаючих технологій від складу ремонтних композицій

Результатами досліджень визначені показники здатності технологій забезпечити проникання окремих речовин і їх сумішей в руберойд, у якого відсутній покривний шар. Повноту просочення в товщу полотнища забезпечують уайт-спірит в суміші з дизельним мастилом в співвідношенні 1:1 і 2:1. Наведені показники свідчать, що уайт-спірит може оцінюватися як компонент, який здатний успішно впроваджувати менш проникаючі речовини в бітумні і рулонні матеріали.

Таблиця 4.2 - Склади досліджуваних композиційних сумішей в проникаюче-насихуючих технологіях

№ п. п	Найменування компонентів	№ складу суміші, мас.%													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Уайт-спірит	44	42	40	38	36	34	32	30	28	45	40	35	30	25
2	Дизельне мастило	36	33	30	30	29	26	23	22	20	39	38	36	35	
3	Бітум БНК-90										15	20	25	30	
4	Каучук										1	2	4	5	

Таблиця 4.3 - Залежність ефективності проникаюче-насихуючого ефекту від складу застосованих композиційних сумішей

№ п. п	Найменування показників	№ досліду												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Проникаюча здатність, см	5,0	5,0	5,0	4,8	4,6	4,6	3,5	2,8	2,5	4,8	4,8	4,5	4,2
2	Гідрофобність, діаметр розпливу, мм	1,0	1,1	0,9	0,01	0,01	0,01	0,00			0,9	0,9	0,01	0,01
3	Водопоглинання, %	5,73	4,21	3,08	1,233	0,841	0,621	0,512	0,511	0,538	0,58	0,58	0,58	0,58
4	Водонепроникність	в	і	д	с	у	т	н	є	-	-	-	-	-

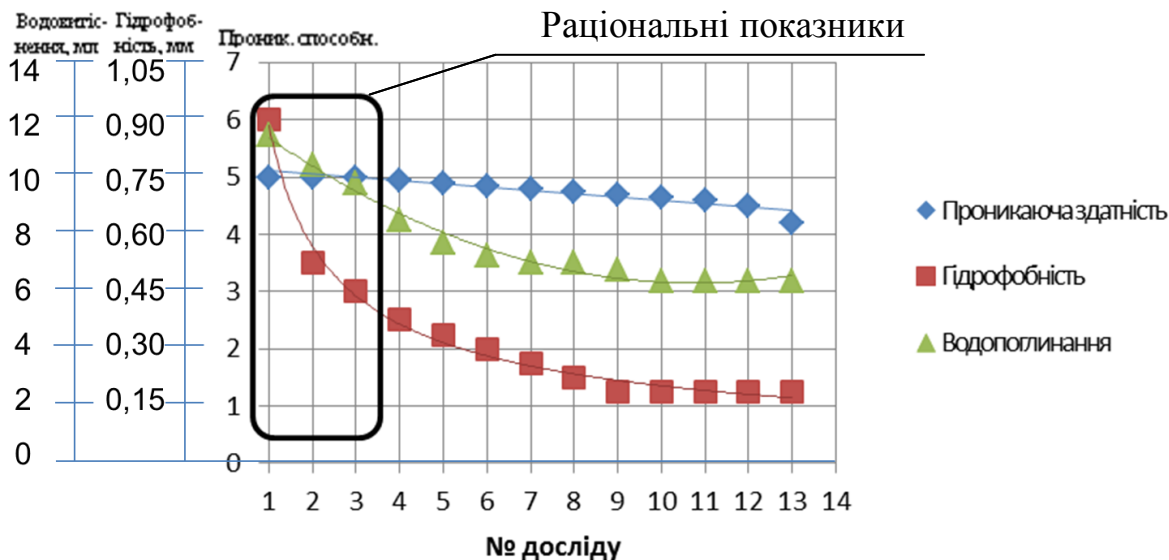


Рисунок 4.3 - Визначення залежності показників проникаюче-насихуючих технологій від складу ремонтних композицій

Наведені в таблиці 4.2 показники свідчать, що нанесені по такому способу покриття в залежності від частки уайт-спіриту можуть становити щонайменше 5,0 мм глибини проникання зразків. При цьому такий показник може становити більше 2,5 мм у випадках формування покриття композиціями, збагаченими бітумом і каучуком, частка яких становить 20...25% і 2...5% відповідно. Характерно, що покриття проявляє достатню гідрофобність і незначне водопоглинання.

Як видно, експериментально виявлена можливість технології забезпечити підвищені проникаюче-насихуючі і гідрофобізуючі ефекти, здатні надати покриттю якісно нові експлуатаційні властивості.

Досить достовірне підтвердження може бути отримано за результатами порівняльної оцінки покриттів з гідрофобізуючим ефектом. Для таких цілей були прийняті раніше приведені варіанти покриттів, а також бітумно-каучуковою мастикою «Тегерон» (промислового виробництва).

Зразки готували з максимально можливим наближенням до реального стану поверхні в експлуатаційних умовах.

В таблиці 4.4 наведені результати досліджень гідрофобізуючого ефекту нанесеного покриття за показниками розпливу фіксованого об'єму води.

Як показує аналіз результатів досліджень, утворені покриття нанесенням названих речовин і сумішей поверхні мають різні показники незмочуваності, що дозволяє представити їх в певній послідовності. У зразків руберойду зі зношеною поверхнею без покриття відсутня гідрофобність; в разі обробки поверхні сумішшю уайт-спіриту та дизельного мастила виявлена помітна гідрофобність. Найкращі результати мають зразки з покриттями ремонтними композиціями різного складу.

Таблиця 4. 4 - Результати визначення гідрофобізуючого ефекту в залежності від виду покриття

№ п/п	Вид покриття	Фактичний діаметр розпливу води в двох напрямках, мм	Оцінка
1	Руберойд зі зношеною поверхнею без покриття	$d_1=18$ $d_2=20$	гірше норми
2	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям сумішшю 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила	$d_1=6$ $d_2=7$	гірше норми
3	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям сумішшю 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила та 0,6 мас. частин бітуму	$d_1=3,6$ $d_2=4$	норма
4	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям сумішшю 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила та 0,6 мас. частин бітуму, 0,05 мас. частин каучуку	$d_1=3,1$ $d_2=3,5$	норма
5	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям сумішшю 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила, 0,6 мас. частин бітуму, 0,05 мас. частин каучуку, ГКЖ	$d_1=2,8$ $d_2=3,1$	норма
6	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям сумішшю 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила, 0,6 мас. частин бітуму, 0,05 мас. частин каучуку, ГКЖ, мастика «Тегерон»	$d_1=1,4$ $d_2=1,6$	краще норми
7	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям мастикою «Тегерон»	$d_1=6$ $d_2=7$	норма



Зміну гідрофобізуючого ефекту і його підвищення в сумішах дизельного мастила з уайт-спіритом і нафтобітумом, а також з домішками кремнійорганічної рідини ГКЖ-11 в порівнянні з бітумом і бітумно-каучуковими сумішами можливо пояснити дією поверхнево-активних речовин.

Виявлене підвищення гідрофобності пояснюється результатом насичення покриття поверхнево-активними речовинами та впливом орієнтованих адсорбційних шарів молекул, атомів, іонів [8]. Особливо різко зростає гідрофобність в результаті хемосорбційних зв'язків полярних груп молекул і орієнтації вуглеводневих ланцюгів в поверхневу зону. Характерна гідрофобна дія аніоноактивних речовин проявляється в здатності дизельного мастила, уайт-спіриту, кремнійорганічної рідини ГКЖ-11 посилювати водовідштовхування. Навіть незначна домішка поверхнево-активної речовини здатна різко посилити гідрофобність, що призводить до ефекту незмочуваності.

Кремнійорганічна речовина ГКЖ-11 входить до групи активних сполук, у яких біля атому кремнію крім вуглеводневих радикалів знаходяться реакційно-придатні функціональні групи. Гідроксильні групи утворюють міцні зв'язки з матеріалом і забезпечують високу гідрофобність поверхні. Технології гідрофобізації поверхні мають потрійний ефект. По-перше, за рахунок незмочуваності знижується дія води на бітумні матеріали, що попереджає погіршення їх фізико-хімічних і механічних властивостей. По-друге, знижується водопроникність. По-третє, усувається небезпека руйнівної дії води, так званої розклинюючої дії або ефекту згідно П. Ребіндера [9]. Відповідно до теоретичних положень вода, перебуваючи в мікротріщинах, які неодмінно будуть з'являтися в покритті на певному етапі експлуатації, чинить тиск на прилеглі стінки. Величина утвореного тиску може виявитися достатньою для розсування і збільшення тріщин. Явище розклинювання також посилюється при переході води в кристалічний стан. Тому усунення води з мікротріщин сприятиме стабільному стану поверхні.

Дослідження закономірностей водонепроникання. Зразки перебували під тиском 0,001 МПа ( $0,01 \text{ кгс/см}^2$ ) водяного стовпа в трубі  $\varnothing 100$  мм і висотою 150 мм до моменту втрати водонепроникання. Результати досліджень представлені в таблиці 3.4.

Певний інтерес представляє порівняння властивостей відновлених покриттів та зразків в початковому зношеному стані. З метою більш достовірної оцінки встановлювали власну водонепроникність утвореної плівки на поверхні килиму. Для цього ремонтну композицію наносили на металеву сітку №08, яка має абсолютну водопроникність і в достатній мірі імітує реальний стан зношеної поверхні килиму.

На додаток до стандартних методик тривалість випробувань була збільшеною. Види покриттів, тривалість і результати випробувань представлені таблицею 3.5 і графічними залежностями рисунка 3.5. В разі проникання вода викликає руйнування покрівельного матеріалу в результаті ефекту розклинюючої дії в рідкій фазі і при замерзанні. Згодом наслідки руйнування зростають, і все це неминуче призведе до втрати водонепроникності.

Як видно з результатів досліджень, контрольні зразки набули водопроникання менш ніж за шість годин. Покриття сумішшю уайт-спіриту та дизельного мастила витримало випробування до 2 діб. Зразки з покриттями, утвореними насиченням сумішами уайт-спіриту, дизельного мастила, бітуму та каучуку, а також покриття з додатковим вмістом кремнійорганічної рідини ГКЖ-11 мали досить тривале водонепроникання під час усього терміну випробувань після 16 діб та були завершені так як мали значне перевершення стандартного терміну.

В даній серії випробувань ставили також мету отримати оцінку роботопридатності трьох варіантів технології ремонту, згідно з якими покриття відновлюють тільки ремонтними композиціями, два інших - комбінуванням шару ремонтної композиції і мастики «Тегерон» без і з добавкою кремнійорганічної рідини.

В названих варіантах шар мастики «Тегерон» може розглядатися як бронюючий, який попереджає швидке висихання попереднього композиційного і тим самим створює умови тривалого насичення контактованої поверхні.

З метою спрощення процесів приготування ремонтних композицій слід розглядати можливість використання бітумно-каучукових або бітумно-полімерних мастик заводського приготування, в тому числі «Тегерон», завдяки наявності в їхньому складі полімерних або каучукових компонентів. В такому варіанті до їхнього складу включають домішки дизельного мастила, яке відноситься до досить сильних гідрофобізаторів і спільно з уайт-спіритом або гасом забезпечує проникання усіх важливих інгредієнтів в товщу покривного шару килиму.

Як видно з наведених даних (табл. 4.4), показники водонепроникності характеризують залежність від способу формування покриття. Якщо в цьому процесі бере участь ремонтна композиція тільки в поєднанні уайт-спіриту, дизельного мастила, бітуму, і каучуку, то водонепроникність не виявлена протягом більше 16 діб, тобто перевищує увесь термін випробувань, встановлений стандартами.

При наявності другого шару бітумно-полімерної мастики без або з доповненням кремнійорганічної рідини ГКЖ-11 тривалість зростає до 16 діб.

З цих показників видно, що покриття ремонтною мастикою має досить високий ступінь гідроізолюючої здатності і дозволяє перетворити зношений покривний шар в складову м'якого килиму з досить високим ступенем надійності та значно підсилити його додатковим утворенням.

Таблиця 4.4 - Показники водонепроникності в залежності від виду покриттів

№ п/п	Тип покриттів	Фактичний термін, діб	Нормативний термін випробувань за ГОСТом, діб
1	Зношений руберойд	0,5	1
2	Зношений руберойд, покритий сумішшю уайт-спіриту та дизельного мастила	2	1
3	Сітка з покриттям 500 г/м <sup>2</sup> ремонтної композиції	4	1
4	Сітка з покриттям 650 г/м <sup>2</sup> ремонтної композиції	10	1
5	Зношений руберойд, покритий ремонтною мастикою	понад 16	1
6	Сітка з покриттям 800 г/м <sup>2</sup> ремонтної мастики	понад 16	1
7	Сітка з покриттям 1000 г / м <sup>2</sup> ремонтної мастики	понад 16	1
8	Руберойд, «Біполь» (руберойд 4-го покоління)	понад 16	1

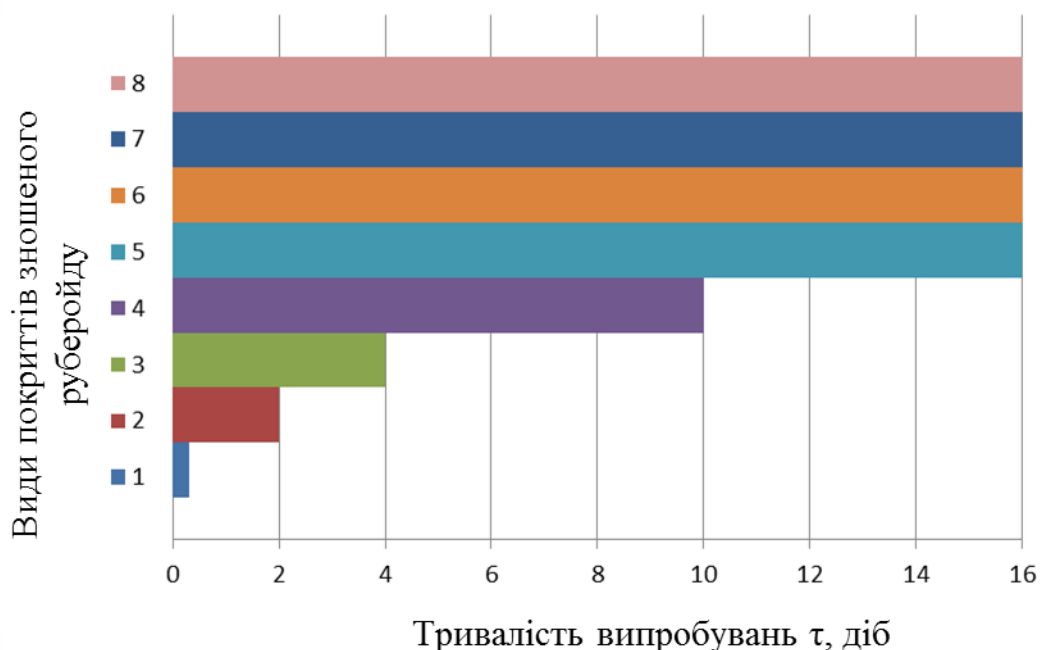


Рисунок 4.4 - Залежність показника водонепроникності від виду покриття

Варіанти з поєднанням додаткового шару бітумно-полімерної мастики не тільки підсилюють гідроізолюючу функцію, але також відіграють захисну роль, яка проявляється в попередженні випаровування легколетючих

компонентів ремонтної композиції та створенні умов для більш повного їхнього переходу в покривний шар відновлюваного покрівельного килиму.

Іншим показником гідроізолюючої здатності технології може бути водопоглинання, оскільки попереджає руйнівну дію води. При визначенні гідроізолюючої здатності виходили з передумови про її зумовленість водопоглинанням і водонепрониканням, для виявлення яких використали стандартні методи [10] з деякими внесеними доповненнями.

Значний практичний і науковий інтерес представляє виявлення кінетики розвитку процесу водопоглинання відновленими покриттями. З такою метою час витримки зразків у воді збільшували з періодичністю контролю 24 години в перші 5 діб. Потім контроль встановлювали 10; 20; 30 діб до повного припинення процесу водонасичення.

Графічні залежності описуються кривими, які приймають пологий характер і свідчать про загасання процесу водопоглинання. Виявлені закономірності можливо пояснити наростанням опору міграції води. На початкових стадіях вода заповнює можливі мікродфекти поверхневого шару, який зумовлює помітне наростання водопоглинання. Потім вода частково витісняє рідков'язкі уайт-спірит і дизельне мастило в більш глибинні шари покриття. Але при цьому зростає опір міграції води. На стадії, коли врівноважуються тиск мігруючої води і протидія органічних складових покриття, процес водонасичення припиняється.

Наведені закономірності дозволяють зробити висновок про помітне зменшення водопоглинання відновленої поверхні по відношенню до контрольних зразків без відновлення, в тому числі руберойду заводського виготовлення. Очевидно, що завдяки насиченню поверхневого шару інгредієнтами ремонтної композиції зменшується вплив каналів проникання води на міжмолекулярному рівні і відповідно падає її розклинюючий ефект, наслідком чого може бути скорочення розмірів шляхів переміщення. Певну роль у цих процесах відіграє більший вплив гідрофобності поверхні зразків.

Таблиця 4.5 - Визначення водопоглинання відновлених покриттів зношеного руберойду при використанні проникаюче-насихуючих технологій

№ зразка	Тип покриття	Результати випробувань водопоглинання в часі, W, % /год																													
		24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336	360	384	408	432	456	480	504	528	552	576	600	624	648	672	696	720
1	Руберойд зі зношеною поверхнею (без нанесення)	6,32	7,9	11,22	14,87	18,78	21,86	26,9	27,1	27,15	27,21	27,35	27,38	27,42	27,45	27,54	27,61	27,7	27,74	27,82	27,87	27,95	28,01	28,25	28,3	28,45	28,46	28,57	28,60	28,7	28,83
2	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям 3мас. частки гасу до 1 мас.частки дизельного мастила	4,3	6,2	9,62	10,49	10,97	11,75	12,6	12,74	12,83	12,93	13,11	13,35	13,38	13,42	13,53	13,56	13,61	13,74	13,85	13,94	14,17	14,24	14,31	14,42	14,51	14,68	14,75	14,85	14,87	14,91
3	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям 3мас. частки гасу до 1 мас.частки дизельного мастила і 0,6 бітуму	0,86	1,40	2,07	2,976	3,58	4,67	5,99	6,01	6,15	6,21	6,25	6,28	6,3	6,34	6,38	6,41	6,49	6,51	6,54	6,56	6,59	7,01	7,21	7,33	7,401	7,42	7,45	7,48	7,61	7,679

4	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям 3мас. частки гасу до 1 мас.частки дизельного мастила і 0,6 бітуму, 0,05 каучуку	1,54
		2,68
		3,35
		4,87
		6,134
		7,967
		9,96
		10,15
		10,39
		10,425
		10,59
		10,61
		10,73
5	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям 3мас. частки гасу до 1 мас.частки дизельного мастила і 0,6 бітуму, 0,05 каучуку, ГКЖ	1,84
		2,2
		3,97
		4,58
		5,45
		7,189
		8,47
		8,49
		8,52
		8,56
		8,59
		8,601
		8,64
8,65		
8,68		
8,695		
8,701		
8,715		
8,721		
8,728		
8,3		
8,32		
8,35		
8,39		
8,409		
8,41		
8,419		
8,25		
8,298		
8,31		
6	Руберойд зі зношеною поверхнею з покриттям 3мас. частки гасу до 1 мас.частки дизельного мастила і 0,6 бітуму, 0,05 каучуку, ГКЖ, мастика	1,27
		3,215
		5,58
		5,76
		6,476
		6,964
		7,36
		7,4
		7,41
		7,418
		7,423
		7,509
		7,53
7,556		
7,59		
7,60		
7,618		
7,624		
7,63		
7,74		
7,79		
7,805		
7,814		
7,785		
7,81		
7,83		
7,842		
7,851		
7,863		
7,88		

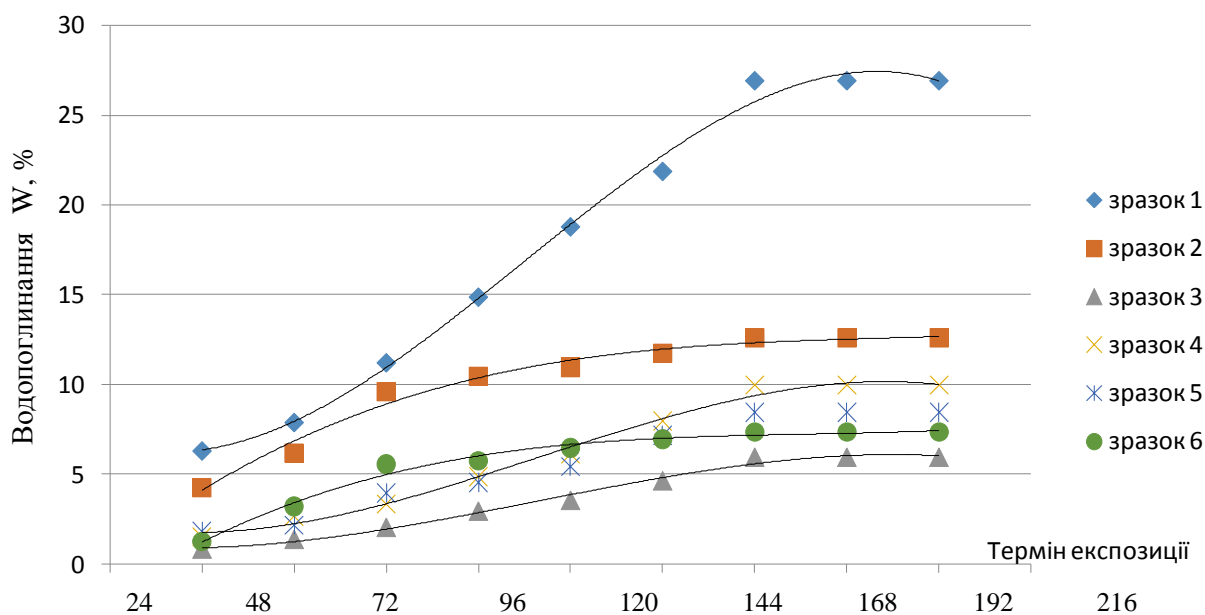


Рисунок 4.5 - Залежність водопоглинання зразків покриття руберойду від технології їхнього формування

Слід також відзначити досить чітке співпадіння закономірностей зміни показників водонепроникності і водопоглинання в залежності від способу відновлення гідроізолюючої функції. При цьому усі варіанти технологій формування покриттів підтверджують свою ремонтпридатність завдяки опору проникання води в поверхневі шари відновленої поверхні.

Оскільки технологія ремонту багат шарового м'якого килиму спрямована на максимально можливе поєднання конкретики і універсальності, то завдання мінімізації впливу факторів, які пов'язані з температурно-вологими умовами виконання робіт та впливом недостатньої професійної підготовленості виконавців і випадкових помилок, потребує деталізованої оцінки виявлених закономірностей.

Утворений захисний гідроізолюючий шар на поверхні існуючого бітумно-руберойдового килиму призначений забезпечити надійну водонепроникність і довговічність, можливість чого підтверджується виявленими закономірностями формування названих властивостей.

Подібно до усіх покриттів обмеженої товщини, водонепроникність утвореного покривного шару відповідно до запропонованої технології



визначається впливом таких параметрів, як товщина кожного і сумарна усіх нанесених шарів, термінами і температурою висихання кожного шару. Звідси виникає потреба розкрити закономірності взаємозв'язків між параметрами технологічного процесу і властивостями утвореного покриття. Завдяки розкритим закономірностям надається можливість виявити найбільш придатні для практичних цілей варіанти технологічних процесів.

Кінцевий результат кожного технологічного процесу може бути результатом допущених помилок через виконання численних операцій без досить чіткої регламентації параметрів, а також як наслідок впливу суб'єктивних факторів виконавців. Наслідки можуть зростати в разі виконання робіт малокваліфікованим персоналом і недостатнім контролем результатів окремих операцій.

Найменш сприйнятливими до впливу окремих факторів слід вважати гранично можливу простоту технологій, виконання яких нівелює вплив випадкових помилок. При таких умовах позитивні результати можуть забезпечити поєднання простоти виконання технологічних операцій, достатньої обізнаності виконавців в області закономірностей формування покриттів і відповідним ступенем орієнтації щодо характеру впливу окремих внутрішніх і зовнішніх параметрів на якість.

По відношенню до відомих, запропонований варіант технологій покрівельних робіт дозволяє віднести її до особливого різновиду, в якому переважна більшість операцій потенційно підлягають високому ступеню механізації та забезпечують досить високу якість і прогнозованість результатів. У виробничих умовах ступінь зношеності, тобто втрати верхнім полотнищем килима покривного шару з бітумних матеріалів, може бути різною навіть на окремих ділянках однієї і тієї поверхні. Спрямованість технології ремонту полягає в можливості за рахунок її універсальності гарантовано відновити гідроізолюючу придатність при мінімально можливих витратах ремонтного матеріалу у вигляді композиції мастичного типу. В тих випадках, коли менш зношена поверхня має певний надлишок бітумних матеріалів, буде

утворюватися покриття більшої товщини відповідної водонепроникності, але рівної надійності.

Виходячи з названих передумов, звести до мінімуму вплив несприятливих факторів можливо за рахунок розробки технологічних процесів, досить простих у виконанні і надійних за кінцевими результатами. Природньо, що нанесення покриття повинно відбуватися механізованим способом з формуванням шару заданої товщини за рахунок витрат необхідної кількості композиції з перервами в часі в залежності від атмосферних умов. Для цього слід виявити відповідні закономірності.

Необхідні витрати матеріалу визначаються умовами утворення поверхні достатньої водонепроникності. Незважаючи на те, що ремонтна композиція призначена відновити гідроізолюючу функцію покривного шару рулонного матеріалу, яка була частково або повністю втрачена в експлуатаційний період, і з урахуванням раніше виявлених оцінок властивостей нанесеного шару, значний практичний інтерес представляє оцінка власної водонепроникності такого шару.

З таких позицій проведені дослідження водонепроникності утвореної плівки пропонованого композиційного матеріалу в залежності від товщини як похідної величини показника витрат на одиницю поверхні.

Для усунення впливу стану рулонного матеріалу і виявлення індивідуальних характеристик утвореного шару, зразки готували нанесенням композиційної суміші на основу з металеві сітки №08, яка має абсолютну водонепроникність і в достатній мірі імітує зношену поверхню рулонного матеріалу, тобто його критичний стан. На поверхню сітки наносили композиційний матеріал з розрахунку відповідно 500, 750, 1000 і 1250 г/м<sup>2</sup>. Кожен дослід включав по три зразки.

Дослідження виконували відповідно до рекомендацій стандартів для рулонних матеріалів [10], тобто під тиском водяного стовпа висотою 500 мм труби Ø 100 мм. В методи випробування внесли зміни в частині тривалості. Усі зразки досліджували з регулярною перевіркою наявності зволоженості

підкладеного фільтрувального паперу, що сигналізує про настання критичного стану.

Результати визначали як середньоарифметичний показник трьох зразків, на поверхню яких нанесена рівна величина ремонтної композиції.

Результати досліджень наведені в таблиці 3.6, а закономірності взаємозв'язків між витратами ремонтної композиції і водонепроникністю утвореного покривного шару представлені графічними залежностями рисунка 4.6 в системі координат «сумарні витрати матеріалу - час втрати водонепроникності».

Таблиця 4.6 - Показники водопроникнення в залежності від товщини нанесених на сітку №08 покриттів

№ виду покриття	Вид покриттів	Тривалість випробувань, год			
		Витрата матеріалу г/м <sup>2</sup>			
		500	750	1000	1250
1	Сітка з покриттям 3 мас. частки гасу до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму	0,5 діб	1 діб	2 діб	2 діб
2	Сітка з покриттям 3 мас. частки гасу до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму, 0,05 мас. частки каучуку	1 діб	8 діб	8 діб	8 діб
3	Сітка з покриттям 3 мас. частки гасу до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму, 0,05 мас. частки каучуку, ГКЖ-11	2 діб	8 діб	10 діб	10 діб
4	Сітка з покриттям 3 мас. частки гасу до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму, 0,05 мас. частки каучуку, ГКЖ-11, шар мастики «Тегерон»	5 діб	10 діб	10 діб	10 діб

Графічні залежності кінетики водопроникання (рис. 4.6) чітко вказують на появу області виположування кривих, що свідчить про наявність товщини утвореного покриття, подальше збільшення якої не впливає на водонепроникність.

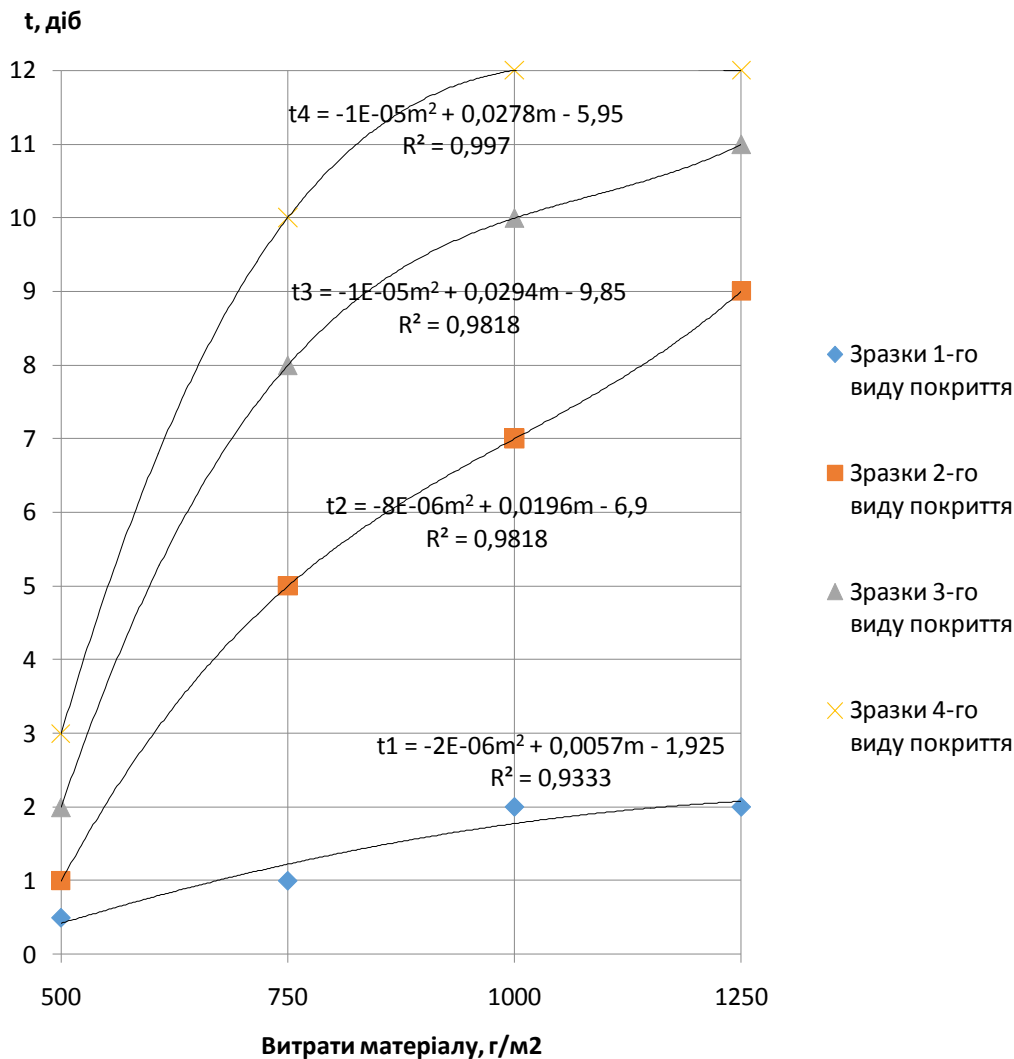


Рисунок 4.6 - Залежність кінетики водопроникання від товщини покриттєвого шару, утвореного відповідними витратами ремонтної композиції

Щодо результатів досліджень, слід звернути увагу на дві обставини. По-перше, в реальних умовах гідростатичний тиск на поверхні покриття практично відсутній, а завдяки її гідрофобності усувається реальність водопроникання. По-друге, результати відносяться до покриття, яке в умовах експерименту виконувало самостійну гідроізолюючу роль, в той час як така функція здійснюється в сукупності з насиченими і відновленими покриттєвим шаром та основою рулонного полотна. З представлених результатів знаходимо, що покриття, утворене нанесенням  $500 \text{ г/м}^2$  ремонтної композиції, може оцінюватися як таке, яке підтверджує успішну можливість віднести технологію до ефективної ремонтної.

Дослідження ступеню поверхневого водовитіснення. Технології успішного усунення розшарувань і здуттів базуються на здатності ремонтних композицій нетвердіючого типу проявляти комплексну дію на поверхні наявних порожнин.

Комплексний характер впливу задається здатністю усувати зволоженість прилеглих поверхонь за рахунок водовитіснення органічними складовими і абсорбцією води неорганічними в'язучими речовинами їхня наявність в складі ремонтної композиційної суміші проявляється після початкового видалення води і пароповітряної суміші крізь раніше виконані в порожнинах отвори. У цьому, в першу чергу, має бути перевага технології по відношенню до інших такого ж призначення.

Технологія реалізується з використанням призначеної для цих цілей ремонтної композиції як найбільш придатної, до складу якої включали нафтобітум, уайт-спірит (або гас), каучук і один з видів неорганічних в'язучих речовин. За рахунок рідкофазових складових суміш набуває довгостроковий незатвердіваючий пастоподібний стан.

Природньо, кращі результати технології можуть бути отримані за умови оптимального поєднання компонентів в складі ремонтної композиції, оскільки кожен з них є відповідальним за певну функцію і посилення інших складових. Ступінь здатності технології забезпечити оптимальні результати в залежності від складу ремонтної композиції дозволяють виявити відповідні дослідження. Певний практичний інтерес набуває оцінка здатності технології знижувати зволоженість поверхні за рахунок витіснення води під дією компонентів нанесеного покриття.

Виконані дослідження технології відновлення покриттів різними сумішами дозволили отримати результати, які наведені в таблиці 4.7.

Як показують результати досліджень, кращий водовитісняючий ефект забезпечують суміші в такій послідовності: дизельного мастила і уайт-спіриту; з послідовними добавками бітуму; каучуку; бітуму і каучуку; гідрофобізатору ГКЖ-11; мастики типу «Тегерон».

Зневоднення поверхні. Зневоднена поверхня прилеглих полотнищ значно легше поглинає компоненти ремонтної композиції, насичується ними. Результатом названих процесів має бути розм'якшення полотнищ, поліпшення склеювання і прикатування завдяки збільшенню деформативності і адгезійної здатності.

Повноту водовитіснення і водопоглинання (тобто зневоднення) слід розглядати як важливу умову попередження повторного утворення ушкоджень у вигляді здуттів і розшарувань, до яких призводять фазові переходи залишків води в закритому просторі.

Таблиця 4.7 - Залежність параметрів водовитіснення від технології утворення покриття

№ типу покриттів	Тип покриттів	Кількість води, виділеної з вати (%)	Оцінка
1	Суміш з 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила	13	гірше норми
2	Суміш з 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму	24	норма
3	Суміш з 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму, 0,05 мас. частки каучуку	43	вище норми
4	Суміш з 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму, 0,05 мас. частки каучуку, ГКЖ	68	вище норми
5	Суміш з 3 мас. частки уайт-спіриту до 1 мас. частки дизельного мастила і 0,6 мас. частки бітуму, 0,05 мас. частки каучуку, ГКЖ, мастика типу «Тегерон»	73	вище норми

Дослідження виконували паралельно згідно двохприйнятих методів - за величиною утвореного діаметру розпливу суміші на змоченій водою поверхні металевій пластини, покритої бітумом для імітації пошкодженого руберойду, і за кількістю води, витісненої композицією з водонасиченої вати. Для порівняння аналогічну оцінку виявляли в разі варіації різних покриттів, які утворювали шляхом нанесення ремонтної композиції на зволожену поверхню

старого руберойду. Встановлювали діаметр розпливу і приклеюваність.

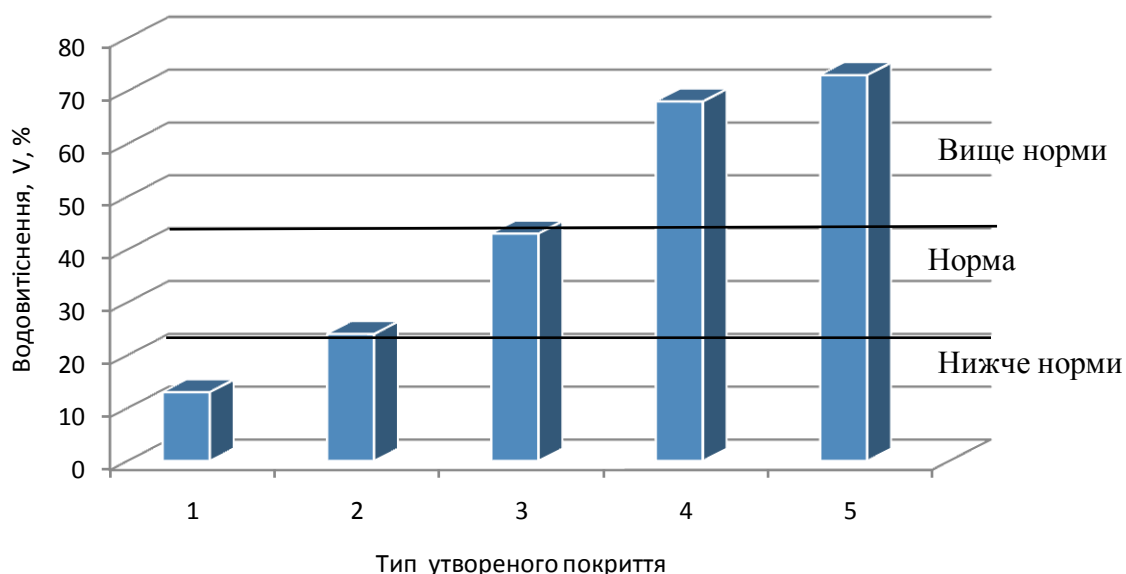


Рисунок 4.7 - Показники водовитіснення в залежності від технології відновлення зношеного покриття

В дослідженнях регулювали співвідношення уайт-спіриту, нафтобітуму і каучуку без включення до складу неорганічних в'язучих речовин.

Склад досліджуваних сумішей і показники їхньої водовитісняючої здатності представлені в таблицях 4.7 і 4.8.

#### Висновки до розділу 4

Аналіз результатів досліджень підтверджує припущення про можливість водовитіснення і залежності цього показника від співвідношення різних компонентів. До суміші не включали неорганічні в'язучі речовини для попередження їхнього впливу на результати водовитіснення за рахунок абсорбції.

Традиційні ремонтно-відновлювальні технології базуються на принципах попереднього усунення руйнувань з подальшим нанесенням додаткового шару рулонного або мастичного матеріалу на окремі ділянки або на суцільну

поверхню м'яких покрівель. Визначено, що прийняті технології не виключають ймовірності збереження міжшарових дефектів і пошкоджень, в тому числі зволоженості, не враховують можливість використання залишкового гідроізолюючого ресурсу існуючого покриття. На основі аналізу та систематизації недоліків традиційних технологій ремонтно-відновлювальних робіт обґрунтовано необхідність розробки ефективних рішень щодо їхнього усунення.

Спосіб відновлення експлуатаційних функцій бітумно-руберойдного килиму за рахунок запровадження інноваційної технології дозволяє наростити функціональну ефективність залишкового гідроізолюючого ресурсу покривного або захисного шару завдяки насичення його модифікуючими інгредієнтами.

#### **Перелік використаної літератури у розділі 4**

1. Беляев А. Ремонт кровель: /монография. Москва: НТС «Стройинформ». 2001. 237с.
2. Гитлина А. С. Эксплуатация и ремонт крыш и кровель: /монография. Ленинград: Стройиздат. 1980. 64с.
3. Кожемяка С.В., Мазур В.А. Техничко-экономические показатели ремонта кровель промышленных зданий с учетом выявления групп дефектов / Мажіівка: Вісник ДонНАБА. 2011. Вип. 2011-6(92). 28-32с.
4. Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов: Справочное пособие: Москва: Госархстройнадзор. 1993. 95с.
5. Белевич В.Б. Выявление дефектов и их устранение. Экспертная оценка качества кровель из рулонных материалов: ученик. Москва, СКК-Информ, 1999. №2. С. 15-19.
6. Лукинский О.А. Почему протекают кровли: / Жилищное и коммунальное хозяйство. 1993. №7. С.20-25.
7. Братчун В.І., Золотарев В.О., Пактер М.К., Беспалов В.Л. Фізико-



хімічна механіка будівельних матеріалів: монографія: Макіївка: ДонНАБА. 2006. 303 с.

8. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах: / Коллоидная химия: Избранные труды. Москва: Наука, 1978. 368 с.

9. ДСТУ Б В.2.7.-83:2014. Будівельні матеріали. Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Методи випробувань. [чинний від 01.12.2014] Київ. 201с.

10. Богданова Т.И., Шехтер Ю.Н. Ингибированные нефтяные составы для защиты от коррозии: / монография. Москва. 1984. 247с.

11. Белевич В.Б. Выявление дефектов и их устранение. Экспертная оценка качества кровель из рулонных материалов ( продолжение) / Кровля и изоляция. Москва, СКК-Информ, 1999. №3-4. С. 15-19.

## РОЗДІЛ 5

### ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДЙОМУ БУДІВЕЛЬ ПРИ НОВОМУ БУДІВНИЦТВІ

#### Зміст до розділу 5

- 5.1 Аналіз конструктивно-технологічних рішень фундаментів під багатоповерхові житлові будівлі
- 5.2 Впровадження технології підйому будівель плоскими гідродомкратами при новому будівництві для стрічкового фундаменту
  - 5.2.1 Методологія впровадження технології підйому будівель при новому будівництві
  - 5.2.2 Улаштування гідроізоляції по периметру будівлі з можливістю вертикального переміщення верхньої частини будівлі
  - 5.2.3 Аналіз початкових даних для розрахунку стрічкового фундаменту
  - 5.2.4 Розрахунок стрічкового фундаменту в програмному комплексі SCAD (Structure CAD)
  - 5.2.5 Розрахунок стрічкового фундаменту в SCAD
- 5.3 Економічна оцінка розробленої технології
  - 5.3.1 Складання кошторисного розрахунку на підземну частину дев'ятиповерхового житлового будинку
  - 5.3.2 Визначення конкурентоспроможності запропонованої технології

Висновки до розділу 5

Перелік використаної літератури у розділі 5

## **5.1 Аналіз конструктивно-технологічних рішень фундаментів під багатоповерхові житлові будівлі**

Найважливішим параметром, від якого залежать форма і обсяг фундаментів є глибина закладення фундаменту. Глибина закладення фундаменту - це відстань від денної поверхні ґрунту до підшови фундаменту.

Глибина закладення фундаментів залежить від багатьох факторів: призначення будівлі; його об'ємно-планувального і конструктивного рішення; величини і характеру навантажень; якості основи; навколишньої забудови; рельєфу; прийнятих конструкцій фундаментів і методів виконання робіт по їх зведенню. Однак, в першу чергу, заглиблення визначатиме якість ґрунтів основи, рівень ґрунтових вод і промерзання ґрунту.

Мінімальну глибину закладення фундаментів для опалювальних будівель зазвичай приймають під зовнішні стіни - 0,7м, під внутрішні - 0,5м.

За конструктивною схемою фундаменти розрізняють стрічкові, стовпчасті, пальові і суцільні.

Стрічкові фундаменти набули великого поширення в житловому будівництві для будівель до 12 поверхів, виконаних за безкаркасною схемою.

Стрічкові фундаменти являють собою безперервну підземну стіну, яка передає навантаження від надземних стін або колон на ґрунт (рис 5.1) через розширену нижню частину - подушку і піщану або щебеневу підсіпку товщиною 50-100мм[1]. Розширення подушки необхідно для приведення у відповідність величини додаткового тиску під підшовою фундаменту несучої здатності ґрунту, так як величина розрахункових тисків на ґрунт істотно менше розрахункових опорів кам'яних або бетонних стін. Стрічкові фундаменти проектують монолітними або збірними. Монолітні стрічкові фундаменти виконують з бетону або бутобетону. Зниження трудомісткості зведення монолітних фундаментів забезпечується використанням багаторазової інвентарної опалубки.

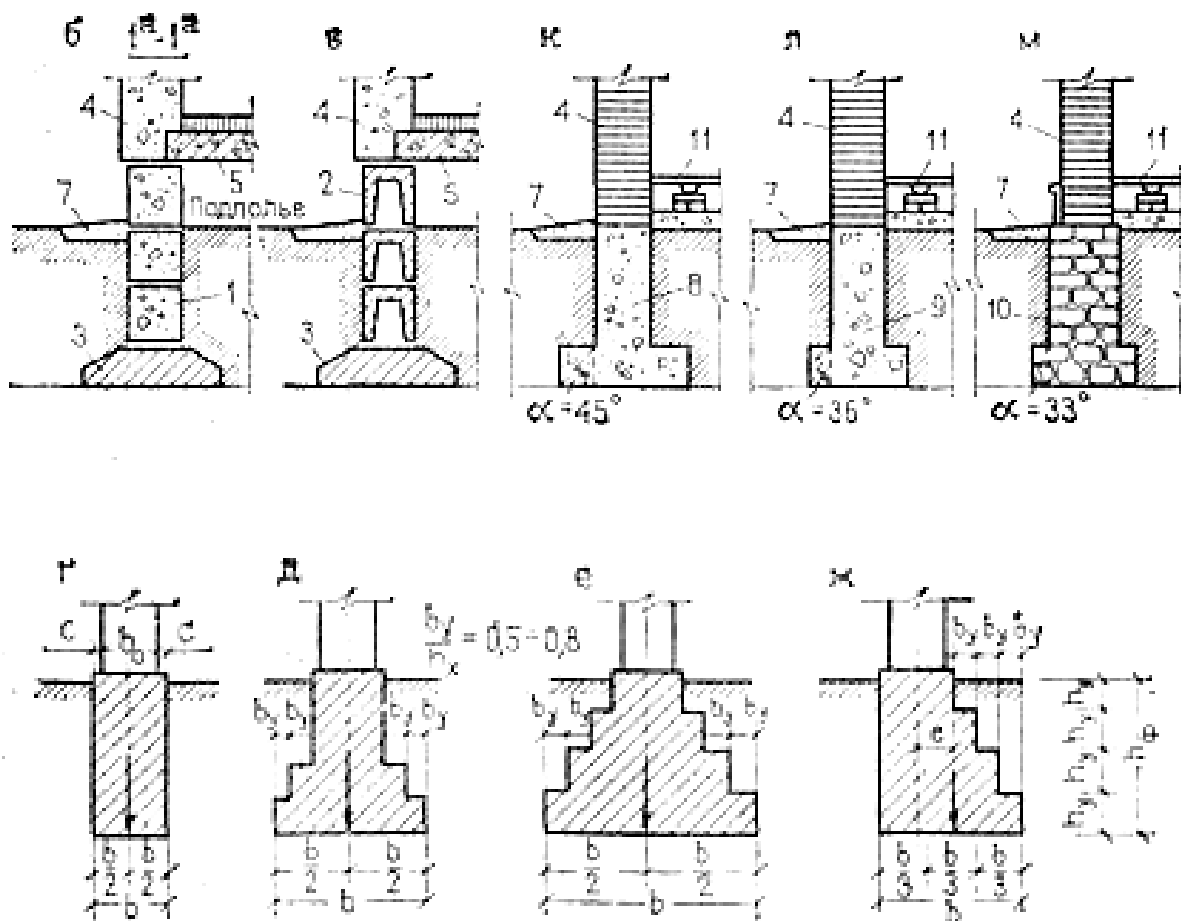


Рисунок 5.1– Стрічкові фундаменти: б, в - варіанти без підвалу з суцільних і пустотілих блоків; г, д, е - конструкція жорсткого фундаменту з мінімальною, звичайної і максимально розширеною підшовою; ж - несиметричний фундамент; і - перехід від однієї глибини закладення фундаменту до іншої; до, л, м, - варіанти стрічкових фундаментів з монолітного бетону, бутобетону та буту; 1 - стінові блоки підвалів; 2 - пустотні стінові блоки підвалів; 3 - фундаментні подушки; 4 - стіни; 5 - перекриття; 6 - підлоги підвалу; 7 - вимощення; 8 - бетонний фундамент; 9 - бутобетонний фундамент; 10 - бутовий фундамент; 11 - підлогу першого поверху.

Широке застосування в цивільному будівництві отримали збірні стрічкові фундаменти. Збірні стрічкові фундаменти (рис. 5.2) монтують з двох типів збірних елементів - фундаментних подушок прямокутного або трапецієподібного перерізу і блоків стін підвалів ФБС. Стандартні фундаментні подушки мають такі розміри (в мм): ширина  $b = 800 \div 3200$ ; довжина  $l = 1200 \div 2400$ ; товщина  $h = 300$  і  $500$ . Фундаментні плити укладають на піщану

підготовку. Поверх них по шару розчину монтують блоки ФБС (рис. 5.2), дотримуючись перев'язку швів. Поздовжні і поперечні стіни стрічкових фундаментів в місцях сполучення повинні мати перев'язку[2].

Фундаментні подушки маркують буквами ФЛ з додаванням розмірів в дм (наприклад, ФЛ-12 - фундаментний блок шириною 120 см і довжиною 2380 см).

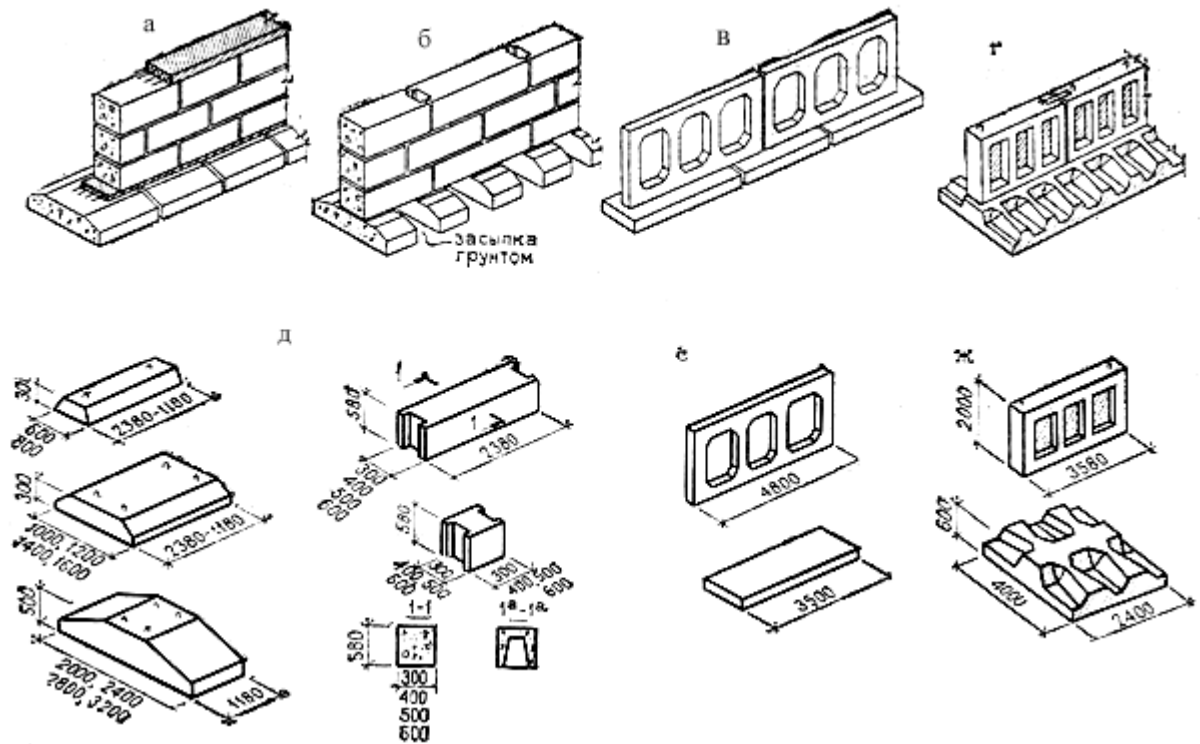


Рисунок 5.2 – Збірні стрічкові фундаменти: а - конструкція фундаменту при слабких ґрунтах; б - укладання фундаментних блоків при щільних ґрунтах і малих навантаженнях; в, г - фундаменти великопанельних будинків; д - елементи збірних великоблочних бетонних фундаментів; е, ж - елементи великопанельних фундаментів.

Пальові фундаменти представляють собою фундаменти, що складаються із залізобетонних, бетонних, дерев'яних або металевих стрижнів-паль, занурених в ґрунт, оголовоків - верхнє завершення палі, і ростверку, що об'єднує роботу всіх паль. В плані палі можуть бути у вигляді одиночних паль, стрічки паль, куща паль.

Пальові фундаменти застосовують для будівель різних конструктивних систем, поверховості і в різноманітних ґрунтових умовах [3]. Найбільш

доцільні такі фундаменти при слабких, нерівномірно деформуючихся ґрунтах, або при глибокому заляганні міцних материкових порід, великих навантаженнях і т.д.

За способом роботи в ґрунті палі бувають: палі-стійкі та висячі палі.

Залежно від способу занурення в ґрунт розрізняють забивні, набивні, палі-оболочки, буроопускні і гвинтові палі та ін.

Суцільні фундаменти представляють собою фундаменти у вигляді жорстких суцільних балочних або безбалочних бетонних або залізобетонних плит, що влаштовуються під всією площею будівлі.

Плитні фундаменти є різновидом малозаглиблених, а точніше, незаглиблених фундаментів, глибина закладення яких становить 40-50см. Використання плитного фундаменту призводить до більшого витрату бетону, арматури і може бути доцільно при спорудженні невеликих і компактних в плані будинків або інших будівель, коли не потрібний пристрій високого цоколя, і сама плита використовується в якості статі[4].

Такі фундаменти добре вирівнюють всі вертикальні і горизонтальні переміщення ґрунту. Суцільні фундаменти розраховують як плити на пружній основі.

Плиту виконують з монолітного важкого залізобетону товщиною не менше 100 мм. Товщину плити визначають розрахунком залежно від маси будівлі, міцності ґрунтів і відстані між стінами. Для додання плиті більшої жорсткості її виконують ребристою.

Розглянувши та систематизувавши фундаменти під багатопверхове житлове будівництво були виявлені такі недоліки:

- палі довжиною понад 8м будуть дорожчими і трудомісткий. У ґрунтових умови м. Запоріжжя можуть застосовуватися як палі-стійкі так і висячі палі. З огляду на велике навантаження від багатопверхове житлове будівництво, обидва види палей в більшості випадків будуть довжиною більше 15м, що робить їх дуже дорогими;

- до недоліком суцільного фундаменту відноситься їх великі обсяги, а як наслідок їх вартість і трудомісткість.

- при експлуатації стрічкового фундаменту, в основі можуть виникнути не проектні деформації, які в свою чергу можуть привести до того що, в фундаменті виникають не лінійні деформації (крен, перекис, кручення, вигин, прогин) відбувається руйнування основних несучих конструкцій, комунікацій і т.д;

Проаналізувавши всі недоліки фундаментів, можна зробити висновок, що з точки зору матеріальних і трудових витрат, найбільш кращим варіантом є стрічковий фундамент, але у нього є великий недолік, у вигляді найбільших деформацій в умовах просадних ґрунтів.

## **5.2 Впровадження технології підйому будівель плоскими гідродомкратами при новому будівництві для стрічкового фундаменту**

### **5.2.1 Методологія впровадження технології підйому будівель при новому будівництві**

Суть технології полягає в наступному: при зведенні фундаменту нової будівлі він розділяється по периметру, передбачається розміщення спеціальних ніш, в які, після деформації основи, будуть розташовуватися плоскі домкрати. Для кожної будівлі кількість ніш і крок домкратів будуть індивідуальними.

Дана технологія має наступні переваги над звичайною технологією виривання крену будівлі плоскими домкратами:

- Відсутність необхідності риття траншей по периметру будівлі, а також відсутність зворотної засипки і пошарового ущільнення;

- Відсутність необхідності демонтажу існуючого вимощення і влаштування нового;

- Відсутність потреби розрізати основні несучі конструкції (фундаменти), що значно зменшує необхідну кількість трудових і матеріальних ресурсів;

- Відсутність необхідності влаштування нової гідроізоляції по підземним конструкціям будівлі;

- Відсутність необхідності штробління ніш під плоскі гідродократи;

- Відсутність необхідності влаштування монолітного об'язувального поясу по несучих конструкціях будівлі;

Впровадження такої технології тягне за собою ряд питань, які необхідно вирішити:

- необхідно передбачити таку гідроізоляцію, яка при вертикальному підйомі будівлі могла б розширяться, мати запас або ж переміщатися спільно з верхньою частиною будівлі;

- оскільки фундамент по периметру буде розділений, необхідно передбачити можливість «випадковий» зрушення будівлі, і технологічне рішення;

- виходячи з того, що ніші в фундаменті будуть передбачені на початку будівництва, розрахункова схема нижчих конструкцій зміниться (навантаження від верхніх конструкцій буде передаватися через «фундаментні простінки»), необхідно перевірити напругу з цих простінках, а також на ґрунт-основу.

- фундаментну стрічку по ґрунту, а також об'язувальний пояс (на який будуть встановлюватися панелі або цегельна кладка), необхідно виконувати в монолітному залізобетоні.

### **5.2.2 Улаштування гідроізоляції по периметру будівлі з можливістю вертикального переміщення верхньої частини будівлі**

Для вертикальної гідроізоляції можливо використовувати рулонні та мембранні гідроізоляційні матеріали, які для можливості підйому влаштовують в декілька шарів, один над одним. Для захисту від бічного тиску ґрунту, поверх гідроізоляції можливо встановлювати листи ковзкого матеріалу (пластику).



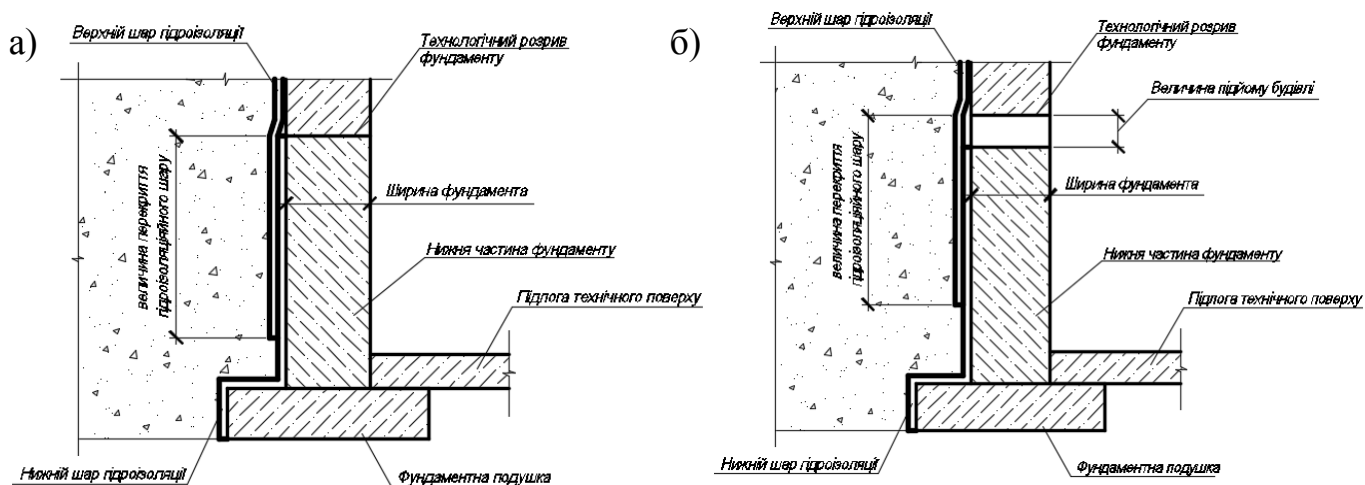


Рисунок 5.3 – Розріз по фундаменту з проектною величиною перекриття гідроізоляційного шару: а – до вирівнювання будівлі; б – після вирівнювання будівлі.

### 5.2.3 Аналіз початкових даних для розрахунку стрічкового фундаменту

Для наглядного прикладу пропонується, за основу, взяти навантаження від безкаркасного дев'ятиповерхового житлового будинку, прямокутної форми в плані, з розмірами в вісях 18,0м x 48,0м, розташованого в м. Запоріжжя.

Задаємося висотою приміщень  $h_{\text{пов}} = 3\text{м}$ , висота технічного приміщення  $h_{\text{тех.пов}} = 3,0\text{м}$ . Рівень чистої підлоги приймаємо на відмітці  $h_{\text{цок}} = 1,0\text{м}$ .

Покрівля плоска, з рулонним покриттям. Плити перекриття та покриття приймаємо пустотними залізобетонними розмірами 1,5x6м, розташованими у поздовжньому напрямку. Висоту парапетної частини приймаємо рівною 0,6м.

Стінове огороження виконано з керамічної цегли товщиною 510мм, внутрішні стіни також з керамічної цегли товщиною 380 мм. Основні несучі стіни – поздовжні.

Щоб визначити навантаження по бічній поверхні фундаменту, задаємося параметрами ґрунту-основи. Приймаємо перший шар ґрунту - супіски, глибина залягання -1,000 м та потужністю шару 2 м. Характеристики ґрунту  $\gamma_{\text{гр.1}} =$

2,5т/м<sup>3</sup>, кут внутрішнього тертя приймаємо  $\varphi_{гр.1} = 28^\circ$ , та модулем пружності ґрунту  $E = 26$  МПа. Другий шар ґрунту приймаємо глину, глибина залягання – 3,000м. Характеристики другого шару ґрунту  $\gamma_{гр.1} = 2,0$  т/м<sup>3</sup>, та модулем пружності ґрунту  $E = 18$  МПа.

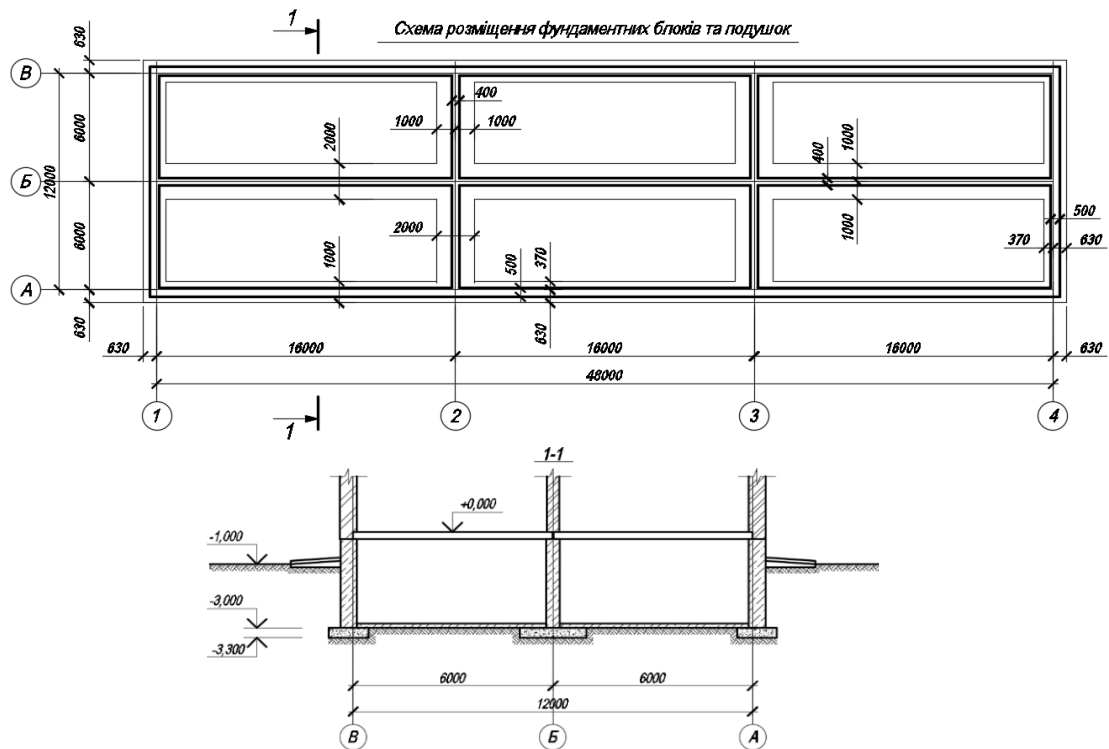


Рисунок 5.4 – Схема розміщення фундаментних блоків і подушко.

Згідно [30,31] визначаємо навантаження на перекриття та покриття, а також від власної ваги стін. Розрахунок навантаження наведено в додатку А.

Необхідна кількість домкратів визначаємо згідно формули 5.1:

$$N = M \times k_1 \times k_2 / P \quad (5.1)$$

де  $M$  - маса будівлі;  $P$  - технічна вантажопідйомність домкратів;  $k_1$  - середньостатистичний коефіцієнт, що враховує додаткове навантаження при одночасному опираючому кількох вантажопідйомних пристроїв ( $k_1 = 1,1-1,3$ );  $k_2$  - середньостатистичний коефіцієнт, що враховує додаткове навантаження при нерівномірному відриві будівлі від фундаменту ( $k_2 = 1-1,2$ );

Визначаємо повну масу будівлі:

$$M = (g_{\text{пер}}^p \times H \times V_{\text{хп}}) + (g_{\text{пок}}^p \times H \times V) + g_{\text{стін}}^p \times b \times L = (0,6 \times 8 \times 48,78 \times 12,78) + (0,607 \times 48,78 \times 12,78) + (56,64 \times 0,51 \times 123,12) + (56,64 \times 0,38 \times 71,28) = 8461,44 \text{ т.}$$

Задаємося вантажопідйомністю гідродомкрата :  $P = 100 \text{ т.}$

Знаходимо необхідну кількість домкратів:

$$N = 8461,44 \times 1,1 \times 1 / 100 = 93;$$

Крок розміщення домкратів визначається виходячи з периметра і маси несучих конструкцій, зосередженої і рівномірно розподіленої навантажень від поверхів будівлі, приведених до площі дії домкрата:

$$b = \Pi \times m / N,$$

де  $\Pi$  - периметр несучих конструкцій;  $m$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження.

$$b = 194,4 \times 1,2 / 93 = 2,51 \text{ м.}$$

Приймаємо крок домкратів 2,5 м.

Розміщення гідродомкратів в плані показано на рис. 5.5.

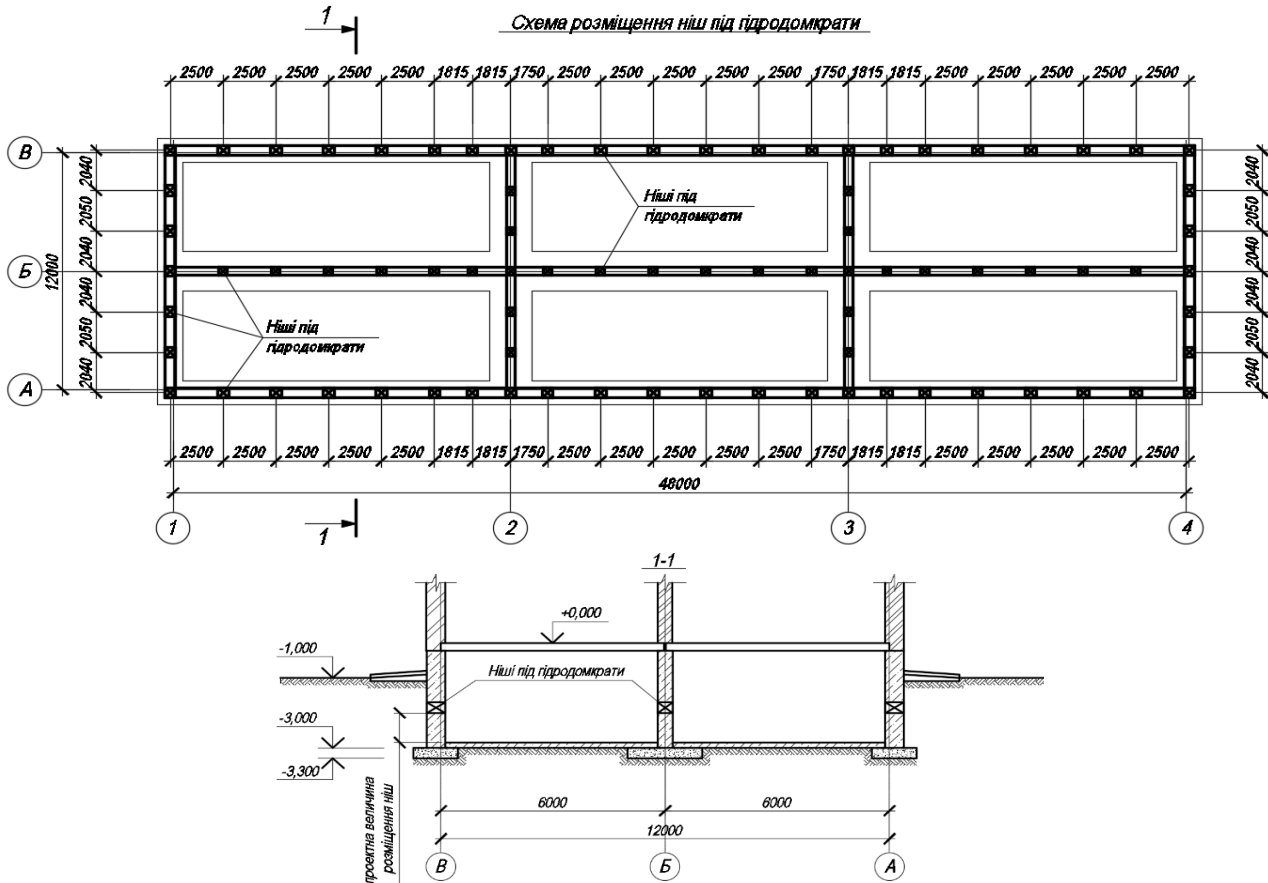


Рисунок 5.5– Схема розміщення ніш під гідродомкрати

#### 5.2.4 Розрахунок стрічкового фундаменту в програмному комплексі SCAD (StructureCAD)

Для полегшення розрахунку, розрахункову схему зводимо до простої, яка буде складатися з стін технічного поверху, вистою 3м, та фундаментних подушок. Розрахунок виконуємо методом кінцевих елементів [8,9]. Кінцеві елементи приймаємо типу 44 – 4-х кутувий кінцевий елемент оболонки. Розміри пластин приймаємо 0,5x0,5м. Також пластинам була задана жорсткість: зовнішнім стінам - бетон класу C20/25, товщиною 500мм; внутрішнім стінам – бетон класу C20/25, товщиною 400 мм; фундаментна подушка – бетон класу C15/20, товщиною 300 мм.

Ніші встановлюємо згідно рис. 5.6 методом видалення необхідної пластини.

Для надання розрахунковій схемі геометричної цілісності, в місцях розриву, між вузлами елементів встановлюємо пружні зв'язки, за характеристика: по вісі Z–безкінечно жорсткий зв'язок; по вісі Xта Y– характеристика рівна коефіцієнту тертя бетону по бетону помноженому на опорну реакцію в вузлі.

Геометрична незмінність системи вздовж вісі Z забезпечується за рахунок задання коефіцієнтів пружної основи в компоненті SCADКросс [10]. Вздовж вісей Xта Y встановлюються шарнірні зв'язки по кутам фундаментної подушки.

Розрахункова схема суцільного фундаменту та фундаменту з нішами показано на рис. 5.6.

Розрахунок навантаження, на вузли кінцевих елементів, від власної ваги конструкцій, корисного навантаження, навантаження від вітру та снігу, бічного тиску від ґрунту прикладено у додатку Б.

### 5.2.5 Розрахунок стрічкового фундаменту в SCAD

При розриві фундаменту по периметру будівлі, під тиском ґрунту та вітровим навантаженням, можливий зсув будівлі за напрямком прикладеного навантаження.

Для визначення максимального переміщення по вісі X в розрахункове поєднання зусиль беремо такі завантаження: власна вага; вага від перекриття, покриття та стін; вітрове навантаження зліва; навантаження від ґрунту по бічній поверхні фундаменту.

Для визначення максимального переміщення по вісі Y в розрахункове поєднання зусиль беремо такі завантаження: власна вага; вага від перекриття, покриття та стін; вітрове навантаження з переду; навантаження від ґрунту по бічній поверхні фундаменту.

Переміщення в горизонтальному напрямку по вісях X та Y для суцільного фундаменту та фундаменту з нішами та розривом показано в додатку В.

Проаналізувавши переміщення по вісях X та Y можна зробити такі висновки:

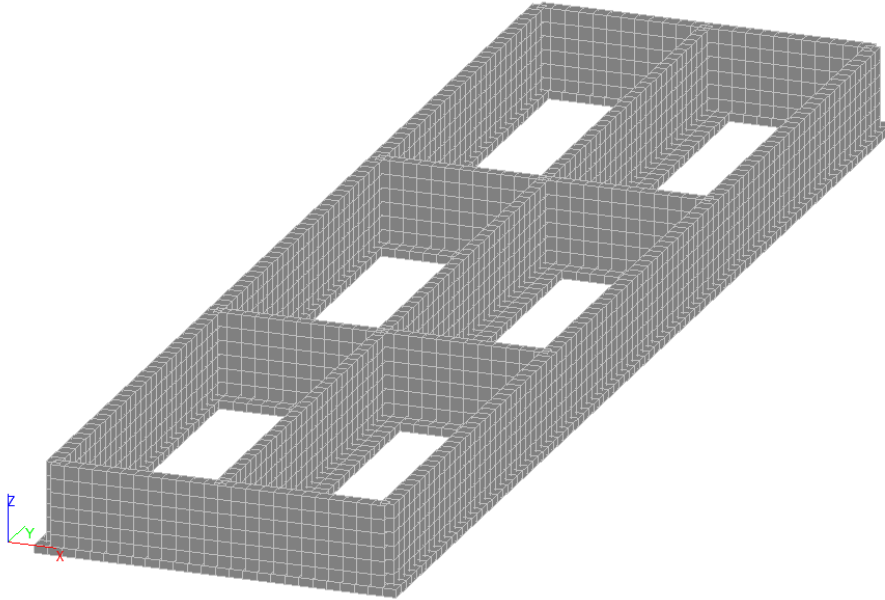
- максимальні значення переміщень по вісях X та Y для суцільного фундаменту складають 14,44 та 2,92 мм, для фундаменту з нішами 16,5 та 2,81 мм. Великі значення переміщень виникають через спрощення схеми і як наслідок недостатньої жорсткості в верхній частині розрахункової схеми не виникає.

- переміщення в точках розриву по периметру фундаменту по вісях X та Y для суцільного фундаменту складають 4,17 та 0,95 мм, для фундаменту з нішами 4,87 та 1,89 мм. Переміщення в обох напрямках мають різницю у вигляді 0,7 та 0,94 мм, що для будівлі в цілому не великі значення, і не можуть призвести до втрати конструкцій несучої здатності.

Фундамент розраховують за наступними зусиллями: поперечні сили по вісях X та Y, поздовжні сил по вісях X та Y, згинальні моменти по вісях X та Y та тиск, що виникає під фундаментною подушкою, по вісі Z. Для порівняння,

всі навантаження визначаємо як для суцільного фундаменту, так і для фундаменту з нішами та розривом по периметру.

а)



б)

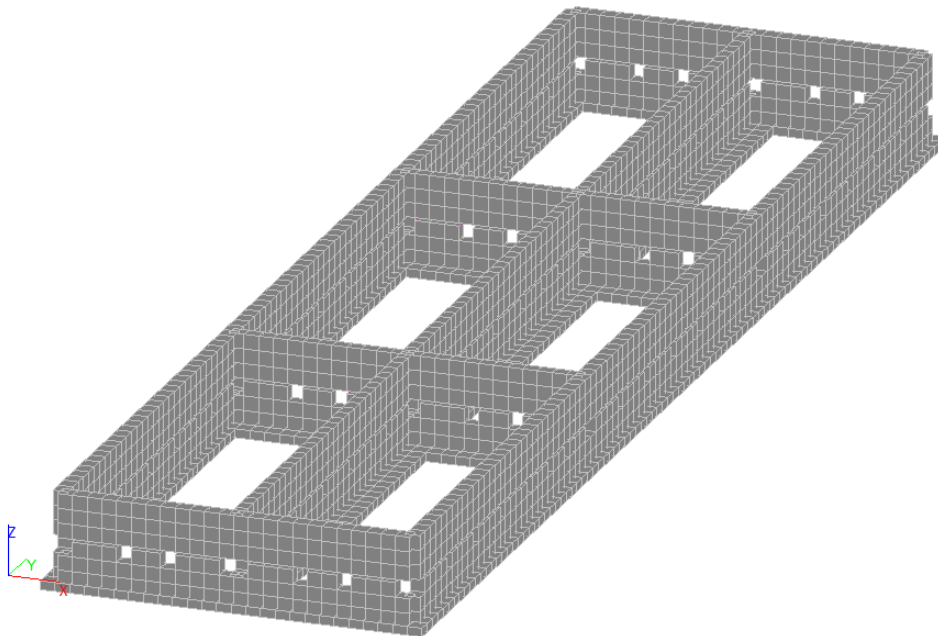


Рисунок 5.6 – Розрахункова схема стрічкового фундаменту: а – суцільного; б – з нішами та розривом по периметру.

Поперечну силу  $Q_x$ , поздовжню силу  $N_x$  та згинальний момент  $M_x$ , що діють по вісі X, визначаємо від першого поєднання зусиль (ваги покриття, перекриття, стін, ґрунту та вітрового навантаження зліва).

Поперечну силу  $Q_y$ , поздовжню силу  $N_y$  та згинальний момент  $M_y$ , що діють по вісі Y, визначаємо від другого поєднання зусиль (ваги покриття, перекриття, стін, ґрунту та вітрового навантаження з переду).

Схеми полів напружень від поздовжніх зусиль, поперечних сил та згинальних моментів наведено в додатку В.

За даною технологією фундамент складається з 4 основних частин: верхнього обв'язувального поясу, простінків між нішами, нижньою частиною та фундаментною подушкою.

Розглянемо обв'язувальний пояс. Поля напружень від поперечних сил істотно не відрізняється, і складатъ: по вісям X та Y для суцільного фундаменту  $0,2 \text{ т/м}^2$  та  $-1,08 \text{ т/м}^2$ ; для фундаменту з нішами  $0,2 \text{ т/м}^2$  та  $-1,02 \text{ т/м}^2$ .

Максимальна поперечна сила та згинальний моменту в суцільному фундаменту та фундаменті з нішами по вісям X та Y дорівнюють:  $N_{X1} = -1174,13 \text{ т/м}^2$  та  $N_{Y1} = -243,59 \text{ т/м}^2$ ,  $M_{X1} = -71,62 \text{ т*м/м}$  та  $M_{Y1} = 10,94 \text{ т*м/м}$ ;  $N_{X2} = -2997,09 \text{ т/м}^2$  та  $N_{Y1} = -697,8 \text{ т/м}^2$ ,  $M_{X1} = -161,3 \text{ т*м/м}$  та  $M_{Y1} = -28,17 \text{ т*м/м}$ . Такі великі зусилля виникають в місцях примикання зовнішніх стін та внутрішніх стін. Це пов'язано з тим, що висота стіни, в місці примикання, для суцільного фундаменту рівна 3м, а для фундаменту з нішами 1,5 м. Тобто, вони виникають через спрощення схеми та зменшення висоти передачі напружень.

Поздовжня сила по вісі X в верхній та нижній частинах обв'язувального поясу для суцільного фундаменту та фундаменту з нішами складає:  $N_{X1}^B = 91,74 \text{ т/м}^2$  та  $N_{X1}^H = -84,35 \text{ т/м}^2$ ;  $N_{X2}^B = 120,21 \text{ т/м}^2$  та  $N_{X2}^H = -84,35 \text{ т/м}^2$ . Поздовжня сила по вісі Y істотної різниці не має. Але в місцях розриву, в простінках між нішами, виникає навантаження на 30% більші ніж в суцільному фундаменті (90 та 70 т відповідно). Це призведе до підвищення класу бетону та діаметру арматури, що спричинить подорожчання конструкції.

В верхній та нижній частинах обв'язувального поясу для суцільного фундаменту та фундаменту з нішами, згинальні моменти складають:  $M_{X1}^B = -$

0,07 т\*м/м та  $M_{X1}^H = 3,0$  т\*м/м;  $M_{X2}^B = 0,86$  т\*м/м та  $M_{X2}^H = 6,7$  т\*м/м. Напруження по верхній частині фундаменту майже не відрізняється, а по нижній, в фундаменті з нішами, більше в 2 рази. Це спричинить збільшення діаметру, класу або кількості арматурних стрижнів в розтягнутій частині обв'язувального поясу. Згинальний момент по вісі Y в верхній та нижній частині обв'язувального поясу майже не відрізняється від суцільного фундаменту.

Розглянемо ряд знішами та простінками. Напруження від поперечної сили рівномірно розподілена як і у суцільному фундаменті і не відрізняється від нього. Поздовжня сила по вісі X концентрується в середині простінків, і істотно відрізняється від суцільного фундаменту:  $N_{X1} = -14,2$  т/м<sup>2</sup> для суцільного фундаменту і  $N_{X2} = 79,12$  т/м<sup>2</sup> для фундаменту з нішами. По вісі Y зусилля зосереджується навколо ніші, і майже в два рази більша за зусилля в суцільному фундаменті:  $N_{Y1} = -153,86$  т/м<sup>2</sup> та  $N_{Y2} = -104,95$  т/м<sup>2</sup>, що спричинить додаткове армування даної частини ніші. Згинальні моменти по вісі X істотно не відрізняються і дорівнюють:  $M_{X1} = 4,43$  т\*м/м та  $M_{X2} = 4,85$  т\*м/м. Згинальні моменти по вісі Y передаються так само, і майже не відрізняються.

В нижньому ряді фундаменту напруження від поперечної сили передаються однаково як в суцільному фундаменті так і в фундаменті з нішами. Поздовжня сила по вісі X концентрується під нішами і набагато більша за величину в суцільному фундаменті:  $N_{X1} = -48,08$  т/м<sup>2</sup> для суцільного фундаменту і  $N_{X2} = 134,82$  т/м<sup>2</sup> для фундаменту з нішами. Велике навантаження від продавлення пов'язано з передачею навантаження від простінків, що призведе до додаткового армування даної частини фундаменту. Зусилля по вісі Y не відрізняється як в суцільному фундаменті так і в фундаменті з нішами. Згинальні моменти по вісі X майже не відрізняються і складають  $M_{X1} = 7,37$  т\*м/м та  $M_{X2} = 6,99$  т\*м/м. По вісі Y однакові.

Для фундаментної подушки найважливішими є напруження від дії поперечної сили та тиск під подошвою фундаменту, які майже не відрізняються один від одного.



Розглянувши дану технологію можна зробити наступні висновки:

- проблема гідроізоляції може бути легко усунена влаштування додаткового шару гідроізоляції в верхній частині фундаменту;
- розглянувши переміщення, яке виникає в напрямках по вісях X та Y, в суцільному фундаменті та фундаментах з нішами та порівнявши їх, можна зробити висновок, що різниця в переміщеннях майже не відрізняється, і можливість «випадкового» зсуву мало ймовірна;
- розглянувши і порівнявши навантаження яке виникає во всіх частинах фундаменту, можна зробити висновок, що навантаження в обв'язувальному поясі, в середині та по боках простінків, та під нішами виникають більші навантаження ніж в суцільному фундаменті (в обв'язувальному поясі 49%; в простінках в декілька разів; під нішами в 1,5 рази), що призведе до підвищення кількості арматури або класу бетону.

Для визначення конкурентоспроможності розробленої технології в розділі 4 розроблене кошторисну документацію на виконання підземної частини суцільного фундаменту з ремонтно-відновлювальними роботами та фундаменту з нішами, з додатковими затратами на матеріали і трудові ресурси, а також витрати на вирівнювання крену величиною 0,1м для обох фундаментів.

### **5.3 Економічна оцінка розробленої технології**

#### **5.3.1 Складання кошторисного розрахунку на підземну частину дев'ятиповерхового житлового будинку**

Для визначення конкурентоспроможності запропонованої технології у [11] було складено два локальних кошторису в програмному комплексі АВК 3.0.2. Перший для звичайного стрічкового фундаменту, другий для фундаменту виконаного за запропонованою технологією, з нішами та розрізом по периметру.

Оскільки надземна частина будівлі на змінюється, тому в локальний кошторис внесені роботи для підземної частини будівлі та роботи по вирівнюванню крену, для суцільного фундаменту та фундаменту з нішами.

Роботи, однакові для обох кошторисів були виключені, а для порівняння використовувалися умовні одиниці. Для більш наглядного порівняння було розділено кожен кошторис на 2 розділи, до першого розділу входять роботи

### 5.3.2 Визначення конкурентоспроможності запропонованої технології

З локальних кошторисів [11] беремо вартість та трудомісткість окремо по розділах 1 та 2, а також загальну вартість та трудомісткість, і заносимо їх до таблиці 5.1. Вартість відображена в умовних одиницях, трудомісткість в людино-годинах.

Таблиця 5.1 – Витрати та трудомісткість згідно локальних кошторисів

	Розділ 1	Розділ 2	Загальні витрати
Витрати, у.о.			
Суцільний фундамент	391393	609764	1001704
Фундамент з нішами та розривом	488181	34467	522647
Різниця	-97788	+575297	+479057
Трудомісткість, люд.-год.			
Суцільний фундамент	204,56	379,08	583,64
Фундамент з нішами та розривом	231,99	47,32	279,31
Різниця	-27,43	+331,76	+304,33

За складаними кошторисними розрахунками будуємо діаграми відношення собівартості підземної частини суцільного фундаменту та фундаменту виконаного за запропонованою технологією; відношення затрат на вирівнювання крену будівлі на суцільному фундаменті та фундаменті виконаного за запропонованою технологією; загальне відношення по розділах 1,2 для обох фундаментів. Для порівняння, аналогічні діаграми будуємо для

трудомісткості. Всі діаграми наведено в додатку Г і побудовані у відсотках, за 100% прийнята вартість суцільного фундаменту.

За діаграмою на рис. 4.1 видно, що затрати на будівництво підземної частина за запропонованою технологією більша на 24,56%, в цю вартість входять затрати на додаткове влаштування опалубку під ніші, додаткові витрати арматурної сталі, на підвищений клас бетону, додаткові шари гідроізоляції.

Але згідно діаграми на рис 4.2 різниця в вартості складає -94,35%, тобто за запропованою технологією вартість вирівнювання крену будівлі на величину 0,1 м буде на 94,35 % дешевша.

Загальна вартість при будівництві підземної частини будівлі та вирівнювання крену будівлі, для суцільного фундаменту, на 47,82% дорожча, ніж для фундаменту виконаного за запропонованою технологією, з нішами та розривом по контуру фундаменту.

За діаграмами на трудовитрати спостерігається також залежність, що і для собівартості. На виробництво підземної частини потрібно 13,41 % більше людино-годин, на вирівнювання крену будівлі в декілька разів менші витрати по трудомісткості. Загальна трудомісткість для запропонованої технології в два рази менше, ніж для суцільного фундаменту.

## **Висновки до розділу 5**

На підставі виконаних досліджень, була розроблена та обгрунтована технологія впровадження підйому будівель і споруд на стрічковому фундаменту, при новому будівництві, що знайшло відображення в наступному:

1. Аналіз і порівняння типів фундаментів показав, що пальові та суцільні фундаменти менше піддіються деформаціям від основи, але на їх виконання необхідна більше кількість матеріальних. На виконання стрічкового фундаменту, необхідна менша кількість матеріалів и трудовитрат, але він більше піддіється деформаціям, тому були розроблені технології вирівнювання.

2. Сформульовано й розроблена технологія впровадження пійому будівель і споруд при новому будівництві. Представлені конструктивні рішення з питань гідроізоляції, розділу фундаменту по периметру та улаштування ніш.

3. При порівнянні переміщення та полів напружень дев'ятиповерхового будинку було встановлено, що для виробництва даної технології необхідна більша кількість матеріалів, а переміщення, що виникають в місцях розриву, майже не відрізняються від суцільного фундаменту.

4. Аналіз конкурентоспроможності розробленої технології показав, що вартість виробництва підземної частини, для фундаменту з нішами, дорожча на 24,56% і на 13,41% потребує більших трудовитрат. Але при вирівнюванні фундаменту вона в декілька разів дешавша, а загальні показники вартості і трудомісткості показали, що витрати на вирівнювання і влаштування фундаменту, виконаного за запропонованою технологією, в два рази менші, ніж для звичайного стрічкового фундаменту.

### **Список використаної літератури у розділі 5**

1. Литвинов И. М. Глубинное укрепление и уплотнение просадочных грунтов: ученик. Киев: Будівельник, 1969. 186 с.

2. Крутов В.И. Основания и фундаменты на прсадочных грунтах: посібник. Киев: Будівельник. 1982. 224 с.

3. Мустафаев А.А. Расчёт оснований и фундаментов на просадочных грунтах: учеб. пособие для вузов. Москва: Высшая школа, 1979. 369 с.

4. Стронгин С. Г., Шестак Г. А., Тимьянский Ю. С., Сербинович П. П. Строительные конструкции: учебник для техникумов, 2-е изд., перераб. Москва: Стройиздат, 1979. 294 с.

5. Афанасьев А.А., Матвеев Е.П. Реконструкция жилых зданий: Часть II Технологии восстановления эксплуатационной надежности жилых зданий Москва: 2008. 196 с.

6. Патент України UA 65455 [E02D 27/34](#), [E02D 35/00](#). Спосіб вирівнювання будівель і споруд/ Самченко Р.В., Павлов А.В., Шокарев В.С., Степура І.В.; заявл. 21.10.2003; опубл. 15.03.2004, Бюл. №3.
7. Патент України UA 100472 [E02D 37/00](#), [E02D 35/00](#). Спосіб усунення крену будівлі шляхом додаткового навантаження/ Підойма А.С., Менелюк О.І., Гришин А.В., Доченко М.М., Галушко В.О., Тугаєнко Ю.Ф., Галушко О.М.; заявл. 16.02.2015, опубл. 27.07.2015, Бюл. №14.
8. Белокопытова И.А., Бурьгин С.Г., Гавриленко И.С., Гуревич М.Ф., Дербенцев В.Д. и др. StructureCAD для «чайников». Москва: 2015. 350 с.
9. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. Москва: Изд-во СКАД СОФТ, 2009. 528 с.
10. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. - 4-е изд., перераб. Москва: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 736 с.
11. Коваленко М.Г., Мальований І.В. Дослідження можливостей впровадження технології підйому будівель і споруд при новому будівництві. Матеріал ХХІІ науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА, 23-27 жовтня 2017 р.: тези доп., том. II. Запоріжжя, 2017. –С.65.

## РОЗДІЛ 6

# СУЧАСНІ МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ НА БУДІВЕЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

### Зміст до розділу 6

- 6.1 Аналіз існуючих методів і моделей
  - 6.2 Методи оцінки прийняття оптимальних рішень за критеріями
- Висновки до розділу 6
- Перелік використаної літератури у розділі 6

### **6.1 Аналіз існуючих методів і моделей**

На даний момент будівництво набуває такі масштабні розміри, що вимагають величезних як людських, так і фінансових витрат, що будувати «наосліп», не враховуючи впливу усіх чинників - означає піддаватися податковому ризику в процесі будівництва об'єкту. Розвиток різних форм власності вимагає зміни підходів до оцінки вироблення і прийняття організаційно-технологічних рішень з урахуванням сучасних досягнень в області системотехніки, що вивчає технічні, організаційні та управлінські виробничі системи, які взаємодіють з досягненнями результатів виробництва.

Нині на різних стадіях проектування і підготовки будівельного виробництва існує можливість вибору організаційно-технологічних рішень (ОТР) з великого числа можливих варіантів, що характеризуються як позитивними, так і негативними властивостями. Вибір найбільш раціонального рішення вимагає виконання варіантного проектування. Проте сучасна практика проектування і підготовки будівельного виробництва (ПСВ) ускладнює такий вибір внаслідок необхідних додаткових витрат праці фахівців. Тому, як правило, приймаються далеко не раціональні єдині рішення, засновані на інтуїції фахівця, що приймає рішення. Варіантне проектування без значного

збільшення кількості фахівців може здійснюватися лише на якісно новому рівні шляхом розробки і впровадження нових методів автоматизованого проектування на основі створення і застосування спеціальних методів вибору раціональних варіантів.

З появою і розвитком кібернетики як науки оптимального і цілеспрямованого управління, освоєння виробництва швидкодіючих ЕОМ з'явилися реальні передумови для розробки і впровадження в практику спеціальних методів ухвалення рішень при проектуванні технології і організації будівельного виробництва.

У науковій і технічній літературі більшість робіт за останні роки присвячена методам оптимізації організаційно-технологічних рішень при розробці календарних планів і графіків у складі проектів.

Огляд підходів до оцінки організаційно-технологічних рішень неможливе без аналізу праць вчених, що працювали в цьому напрямі. Хотілося б відмітити роботи відомих вітчизняних і зарубіжних вчених Булгаков С.Н., Гусакова А.А., Завадскаса Е.К., Ільїна Н.И., Лapidуса А.А., Монфреда Ю.Б., Олейника П. П., Прикина Б.У, Павлова І.Д., Синє С. А., Теліченко В.І., Тяна Р.Б., Чулкова В.О., Шрейбера А.К. та ін.

Окрім цього, за останній час багато молодих учених працювало в цьому напрямі. Серед них можна виділити роботи Антипенко Є.Ю., Байбуріна А.Х., Гараськіна Ю.М., Доненко В.І., Куцего Д.В., Кантора В.Е., Карагланова В. Г., Лисенко С.С., Нанасова А.М. та ін.

Термін «організаційно-технологічне рішення» нарівні з «організаційно-технологічним заходом» детально описується в роботах Гусакова А.А., Завадскаса Е.К., Кирноса В.М., Лapidуса А.А., Монфреда Ю.Б., Павлов І.Д. Під організаційно-технічними рішенням розуміють конкретний опис технічних основ і технологічних схеми реалізації процесів будівельного виробництва і використання при цьому технічних, економічних, нормативно-правових і інших заходів організаційного характеру. Аналіз наукової літератури дозволяє робити висновок і про те, що низька якість організаційно-технологічної документації

обумовлена не лише недоліками нормативних документів, але і відсутністю комплексних моделей обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень при розробці проектів організації будівництва і проектів виробництва робіт. Відсутність комплексних моделей обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень не дозволяє забезпечити динамічну ув'язку проектних рішень з планами, графіками, що відображають хід будівництва, спадкоємність організаційно-технологічних рішень, проекту організації будівництва і типових технологічних карт.[1-3,6,10]

Нині діє декілька міжнародних і українських норм, що регламентують діяльність будівельних компаній при організації будівельного виробництва. Це документи серед яких можна виділити наступні:

1. Стандарт PMBoK5 (Project Management Body of Knowledge) [7].
2. Стандарт ДСТУ ISO 9001-2015 [8].
3. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва [9].
4. Стандарти ДБН, ДСТУ, що відповідають за конкретні елементи будівельного майданчика.

Ці норми умовно можна розділити на 2 типи:

1. Стандарти, які безпосередньо відносяться до будівельних майданчиків і регламентують перелік об'єктів, що розміщуються на будівельному майданчику, ув'язку між собою.

2. Стандарти, які можна назвати міжгалузевими. У цих нормах не врахована специфіка будівельної галузі, але підходи, вживані в них, можуть бути застосовані також і при організації будівельного майданчика.

PMBoK 5 (Project Management Body of Knowledge 5) - зведення знань по управлінню проектами, випущений американським інститутом управління проектами (PMI). Цей стандарт належить до категорії універсально - галузевих, але може бути застосований і до будівельної галузі. В порівнянні з безліччю інших міжнародних і вітчизняних нормативних документів в області управління проектами, керівництво PMBoK 5 є якнайповнішим і авторитетнішим виданням. Керівництво до зведення знань по управлінню



проектами (керівництво РМВоК 5) є сукупністю професійних знань по управлінню проектами, визнаних в якості стандарту. Стандарт - це офіційний документ, в якому описуються встановлені норми, процеси, методи і практики. Зведення знань спирається на передовий досвід фахівців-практиків в управлінні проектами, які внесли вклад в розробку цього стандарту [7].

У цьому керівництві декілька розділів, особливий інтерес для нас представляють розділи, що описують області знання управління проектами. Серед інших областей, що відповідають за терміни, фінанси, комунікації, інтеграції проекту, особливий інтерес для нас представляє розділ, що відповідає за якість проекту. Процеси спрямовані на забезпечення належної якості кінцевого продукту.

Розділ, присвячений управлінню ризиками проекту, також є одним з ключових, оскільки саме в нім враховані процеси планування, ідентифікації, аналізу, реагування, контролю і управління ризиками проекту. процеси, що входять в нього і відносяться до ризиків: планування, управління, ідентифікація, якісний аналіз, кількісний аналіз, планування реагування і моніторинг. Цей розділ цікавий нам, оскільки саме в нім повинні повною мірою розкриватися можливі наслідки від застосування неактуальних організаційно-технологічних рішень.

Після вивчення цих розділів і документу можна зробити висновок, що цей документ є квінтесенцією менеджменту проектів. Детальному опрацюванню піддалися навички менеджера проекту, опрацьовані основні поняття і методи по управлінню проектами. Але є і інша сторона - із-за галузевої універсальності в цьому документі немає необхідної інформації, що стосується специфіки будівельної галузі в цілому і заходів по облаштуванню будівельних майданчиків. Усі методи і вказівки носять абстрактний характер і не забезпечені універсальними інструментами для контролю прийнятих в процесі ефективних рішень.

Стандарт ДСТУ ISO 9001-2015-система менеджменту якості, ідентичний міжнародному стандарту ISO 9001:2015 [8].

Стандарт не припускає одноманітності в структурі систем менеджменту якості або їх документації. Вимоги до системи менеджменту якості, встановлені справжнім стандартом, є доповнення по відношенню до вимог до продукції. Він регламентує забезпечення менеджменту якості на основі «процесного підходу», який безперервно управляє процесами у рамках однієї системи.

Найпоширеніший метод таких маніпуляцій - це цикл Шухарта-Демінга (є невеликі розбіжності в термінології: S (Study) у Демінга і C (Check) у Шухарта) або PDCA (Plan - Do - Check - Act).

Якщо детальніше розглянути кожний з 4 етапів дії з цього алгоритму, то вийде:

- стадія «Планування» потрібна для розробки цілей і процесів, необхідних для досягнення результатів відповідно до вимог споживачів і політики організації;
- стадія «Виконання» потрібна для впровадження цих розробок у виробничі процеси;
- стадія «Контроль» потрібна для контролю і виміру процесів і продукції;
- стадія «Виправлення» потрібна для прийняття дій з постійного поліпшення показників процесів;

Однією з основних умов для функціонування цієї системи є створення таких умов, при яких відбувається перманентне поліпшення усіх процесів в системі, що веде до вдосконалення системи в цілому.

Критерієм поліпшення системи може служити зниження числа невідповідностей, виявлених в ході різних перевірок (внутрішній аудит, технічний контроль, вихідний контроль, метрологічний контроль і так далі).

Кожен факт виявлення невідповідності повинен автоматично запускати послідовність дій, а саме: корекція, аналіз невідповідності, усунення причини, визначення дій, що коригують, спрямованих на усунення причини невідповідності, виконання цих дій і аналіз їх результативності і ефективності. Проте в силу галузевої універсальності документу не врахована специфіка будівельної галузі в цілому. Методика застосування системи менеджменту

якості, розроблена в цьому стандарті не дає можливості оцінити зміни, що походять від ухвалення організаційно-технологічних рішень з тією швидкістю, яку диктує сучасна будівельна галузь.



Рисунок 6.1 - Цикл PDCA для будівельного виробництва

ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівництва». Цей нормативний документ поширюється на будівництво нових, реконструкцію і знос існуючих будівель і споруд, а також на благоустрій і інженерну підготовку територій. Також варто згадати, що цей документ має силу тільки якщо будівництво відбувається на підставі дозволу на будівництво, отриманого в установленому порядку [9].

В розділі «Загальні положення» описуються базові функції усіх відповідальних за будівельне виробництво осіб - Забудовника, Генпідрядника,

проектувальника. Даються основні поняття про сфери відповідальності при рішенні виникаючих конфліктів, а також інформується про порядок проведення нагляду за ходом будівництва з боку державного будівельного нагляду.

В даному нормативному документі описуються договірні стосунки між Забудовником і Генпідрядником. Описуються усі необхідні вимоги до Генпідрядної організації. Описується порядок розробки усієї організаційно-технологічної документації, до якої відносяться проекти виробництва робіт, а також інші документи, в яких містяться рішення по організації будівельного виробництва і технології будівельно-монтажних робіт. Саме у цих документах і закладаються ті організаційно-технологічні рішення.

Після вивчення цього нормативного документу пришли до виводу, що в документі добре пропрацювали правові питання, що виникають між зацікавленими сторонами на усіх етапах організації будівництва, у тому числі і при організації будівельного майданчика.

Окрім цього, дані вказівки, по суті своїй дублюючі багато положень з системи менеджменту якості, проте з можливістю їх застосування безпосередньо у будівельному виробництві. Проте, в цьому документі, як і в документах, що описуються вище, відсутній інструмент для кількісної оцінки прийнятих організаційно-технологічних рішень, тобто відсутній і механізм для оцінки зміни організаційно-технологічних рішень в часі.

Величезний пласт нормативних документів, необхідних на даний момент для контролю правильності організації будівельних майданчиків, - ДБН, ДСТУ що регламентують ті або інші лінійні характеристики усіх об'єктів.

Основна складність виробництва підготовчих робіт полягає у визначенні організаційно-технологічних параметрів по кожному елементу підготовчого періоду [5,6], які «ув'язуються» по переділах будівельного виробництва з розрахунком максимального відкриття фронту робіт для зведення будівель і споруд. На основі аналізу рішень будівництва об'єктів встановлено, що ефективність і тривалість освоєння будівельних майданчиків залежать від міри впливу наступних чинників :

- технологічності методів будівництва інженерних комунікацій;
- випереджаючого зведення інженерних комунікацій під транспортними шляхами будівельного майданчика;
- своєчасній виробничо-технологічній комплектації матеріалами і виробами;
- поєднаного прокладення різних інженерних комунікацій, розташованих за межами зон будівництва об'єктів;
- вибору раціональних комплектів будівельних машин і механізмів;
- поєднаного прокладення інженерних комунікацій із зведенням підземних частин будівель і споруд;
- заміщення функцій тимчасових інженерних і транспортних комунікацій постійними;
- готовності ґрунтів до екскавації при негативних температурах;
- випереджаючого поєднаного прокладення інженерних комунікацій під монтажними і складськими майданчиками.

На будівельну продукцію впливає стабільність технологічних процесів, дотримання правильної технологічної послідовності виконання робіт, погоджені дії усіх підрозділів будівельної організації і її субпідрядних організацій, ритмічність виробництва, своєчасна комплектність і висока міра заводської готовності конструкцій, при використанні заводського виробництва [1-4].

До числа негативних явищ, що негативно впливають на ефективність робіт підготовчого періоду, відносяться [2,10] на стадії проектування:

- роздільна розробка робочої документації на вертикальне планування, зведення інженерних і транспортних комунікацій, монтаж комплексів мобільних (інвентарних) будівель і споруд;
- відсутність нормативних документів і раціональних рішень, що забезпечують виробництво будівельно-монтажних робіт з урахуванням використання постійних будівель і споруд, підземних, надземних і транспортних комунікацій;

- відсутність розробок систем автоматизованого проектування поєднаного виробництва внутрішньомайданчикових підготовчих робіт і будівельних генеральних планів;

- помилки в застосуванні норм до проектування документації на підготовчий період.

До числа негативних явищ, що негативно впливають на ефективність робіт підготовчого періоду, відносяться [2,6,10] на стадії виробництва робіт :

- роздільне виконання робіт по вертикальному плануванню, прокладенню підземних, надземних і транспортних комунікацій без урахування можливих поєднань;

- відсутність ефективних розробок за визначенням доцільної черговості виробництва робіт з урахуванням максимального використання для потреб будівництва постійних (проектних) будівель, споруд, підземних, надземних і транспортних комунікацій, поєднаного виробництва робіт з будівництвом усіх об'єктів промислового або містобудівного комплексу;

- використання неіндустріальних конструкцій і нетехнологічних процесів виробництва робіт;

- низька кваліфікація працівників (внаслідок цього - низька якість робіт).

Якщо усе підсумувати, то отримаємо, що на будівельний процес впливатимуть чинники, які ми враховуємо при розробці організаційно-технологічних рішень:

- організаційні чинники: неправильне планування будівельних робіт, що призводить до неритмічності будівництва, низька культура будівельного майданчика, недостатня кваліфікація робочих кадрів, їх плинність, несвоєчасне забезпечення робочою документацією, несвоєчасне постачання будівельних матеріалів і конструкцій;

- технологічні чинники: недоброякісність проектування, відсутність технологічної документації (проектів виробництва робіт), відсутність необхідних машин і інструменту, низький технічний рівень виробничої бази будівельників, неможливість швидкої і точної оцінки якості виконуваних робіт.

Як можна помітити, в описаних роботах детально перераховані усі заходи, необхідні для виконання будівельних процесів. Окрім цього, описані чинники, які можуть впливати на процес організації будівельного майданчика. Проте, в реаліях сучасного будівельного виробництва, де все більше зростає відповідальність за вибір як проектних організацій, відповідальних за розробку документації, так і підрядних організацій, що безпосередньо виконують мобілізацію і розгортання, бракує інструменту для оцінки цих вказаних вище заходів. На даний момент справи йдуть таким чином, що кожен елемент будівельного процесу розглядається окремо.

## **6.2 Методи оцінки прийняття оптимальних рішень за критеріями**

Будівельний процес припускає управління, завдання якого, при мінімальних витратах ресурсів досягти високих техніко-економічних результатів [11,12]. При цьому особливе значення має планування організаційно-технологічних заходів, що визначають порядок фінансування і забезпечення будівництва матеріальними і трудовими ресурсами, розробка відповідних проектних завдань і документації, що визначає організаційно-технічні умови діяльності усіх підрозділів будівельної організації - умови, які потрібні для раціонального використання матеріально-технічних, фінансових і трудових ресурсів і своєчасного завершення будівельних робіт. Мається на увазі системне проектування, що передбачає комплексний підхід до будівельних об'єктів, який вимагає технічних, економічних, прогностичних обґрунтувань організації будівельного процесу. Доводиться враховувати багатогранність цього процесу, велику кількість взаємозв'язаних чинників і умов, різномірних його параметрів, необхідність автоматизованої розробки організаційно-технологічної документації і так далі. Організаційно-технологічна документація містить в собі результати проектування по усіх розділах виробничо-будівельної документації і в той же час знаходить відображення в рішеннях, що визначають стратегію будівництва і тактику будівельно-монтажних робіт.

Термін «організаційно-технологічне рішення» часто використовують по відношенню до процесу організації будівельного виробництва. Розробка правильних організаційно-технологічних заходів є однією з ключових складових в процесі якісної реалізації будівельного об'єкту.

Якщо ми не дотримуватимемося правил застосування тих або інших будівельних норм, або застосовуватимемо нераціональні рішення - це неминуче впливатиме на майбутні будівельно-монтажні роботи. Важливе те, що вплив помилкових організаційно-технологічних рішень на цій стадії позначатиметься в течії усього терміну будівництва і на виправлення цих рішень може знадобитися багато сил, грошей і часу.

Обґрунтування організаційно-технологічних рішень проводиться, в основному, з використанням методів сітьового планування і управління у поєднанні з евристичними алгоритмами: спрямованого перебору варіантів за заданими критеріями, а також методів лінійного програмування (симплекс-методу, угорського методу, методу "північно-західного кута" і так далі).

Проте їх використання не дозволяє враховувати багатьох чинників при обґрунтуванні організаційно-технологічних рішень, особливо міра ризиків при оптимальних організаційно-технологічних рішеннях, із-за невизначеності, які виникають в умовах ринку.

Одним з основних документів організаційно-технологічної документації - проект організації будівництва, який, як правило, являє собою окремий розділ проектної документації, що обґрунтовує затверджений варіант розподілу капіталовкладень, загальну тривалість будівництва об'єкта, найбільш ефективні методи виконання будівельно-монтажних робіт, встановлює порядок і строки виконання запланованих обсягів та введення об'єкта в експлуатацію.

Нормативна документація яка використовується в даний час має цілий ряд недоліків, обумовлених недосконалістю інформації, вільністю форми представлення даних, до того ж практично не враховує вимог автоматизації. Все це відображається на якість організаційно-технологічної документації - на ступінь її відповідності проектним завданням, технічним умовам, нормам, стандартам, інструкціям. Вивчення оточення будівельних проектів має велике



значення для налагодження ефективних комунікацій в регіонах здійснення проектів і в ухваленні рішень з урахуванням дії дестабілізуючих чинників, що впливають на процес реалізації проектів.

Існуючі численні показники прогресивності, такі як технологічність, збірність, індустріальність і так далі, характеризують лише окремі підсистеми об'єкту, тоді як взаємозв'язки усіх підсистем визначають загальну ефективність об'єкта як системи в цілому. У результаті техніко-економічних оцінок рішення, прийнятні технічно і економічно для однієї підсистеми, виявляються неефективними для іншої підсистеми або системи в цілому [1-4].

Серед існуючих методів оцінки реалізації будівельного проекту інтерес представляє оцінка за критеріями. В процесі функціонування систем з'являється потреба вибрати з безлічі варіантів ефективніші, такі, що призводять до оптимального рішення, тому виникає необхідність розробки методів оцінки за критерієм оптимальності (рис.6. 2).

Аналіз наукової літератури [1-7] дозволяє зробити висновок і про те, що низька якість організаційно-технологічної документації обумовлена не тільки недоліками нормативних документів, але і відсутністю комплексних моделей обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень при розробці проектів організації будівництва та виробництва робіт. В результаті в проектах не визначаються взаємозв'язки між технологічними комплексами робіт і не приймаються до уваги: можливість впливати на об'ємно-планувальні і конструктивні рішення в проектно-кошторисної документації; стохастичний характер будівельного процесу; необхідність відповідності структури агрегованих робіт реальній структурі спеціалізованих потоків, розрахунок потужностей підрядної організації; ступінь відповідності плану будівельно-монтажних робіт і потужності будівельних організацій та підприємств будіндустрії і т. п.

Відсутність комплексних моделей обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень дозволяє забезпечити динамічну ув'язку проектних рішень з планами, графіками, що відображають хід будівництва, спадкоємність

організаційно-технологічних рішень проекту організації будівництва і типових технологічних карт [5-8].

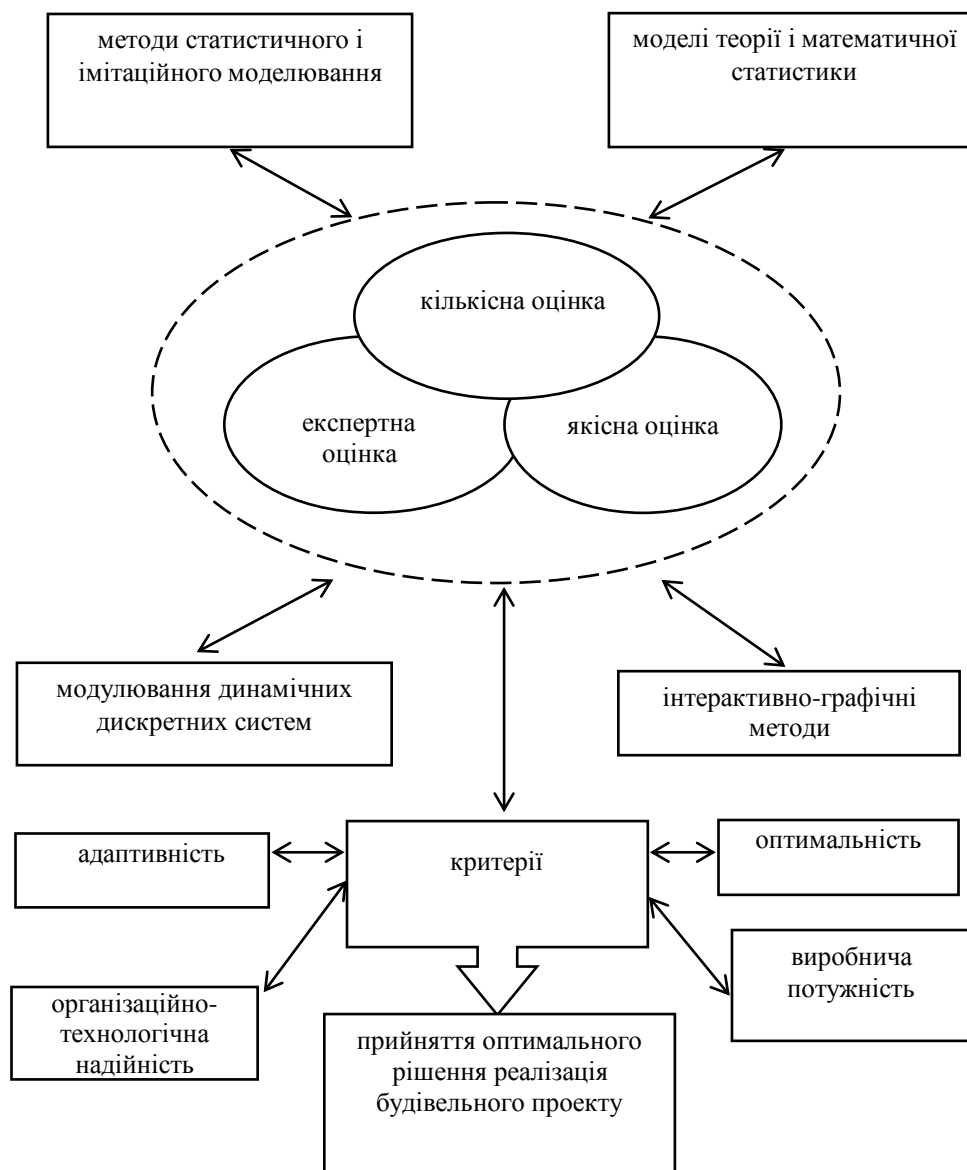


Рисунок 6.2 – Методи оцінки прийняття оптимальних рішень за критеріями.

В науковій і технічній літературі більшість робіт за останні роки присвячено методам оптимізації організаційно-технологічних рішень при розробці календарних планів і графіків у складі проектів. Обґрунтування організаційно-технологічних рішень проводиться, в основному, з використанням методів сітьового планування і управління в поєднанні з

евристичними алгоритмами: направлено перебору варіантів за заданими критеріями, а також методів лінійного програмування (симплекс-методу, методу потенціалів, угорського методу, методу «північно-західного кута»). Однак їх використання не дозволяє враховувати багатьох факторів при обґрунтуванні організаційно-технологічних рішень, особливо ступінь ризиків при оптимальних організаційно-технологічних рішеннях, із-за невизначеностей, які виникають в умовах ринку.

За останні десятиліття виконано ряд наукових досліджень, в яких розроблені рекомендації щодо застосування комплексних методів, які дозволяють врахувати сучасні вимоги до моделей і методів. У них намічені шляхи врахування ризиків при обґрунтуванні і виборі організаційно-технологічних рішень, що дозволяють врахувати фактори, що викликають появу ризиків, і вплив різних заходів на ступінь їх зниження. А так само досліджено проблеми, пов'язані з впливом різних видів ризиків (економічних, фінансових, технологічних, комерційних та інших) на стан систем і обґрунтування рішень. Аналіз цих праць підтверджує висновок про те, що без урахування ризику неможливо отримати раціональні організаційно-технологічні рішення.

Узагальнена оцінка необхідної відповідності цих моделей і методів обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень вимогам обліку ризику і іншим вимогам пропонується в таблиці 1 (у якій прийняті такі позначення: НВ - не відповідає вимогам; ЧВ - частково відповідає вимогам; ПВ - повністю відповідає вимогам).

На жаль, проведений аналіз показав, що розроблені моделі не пов'язані як між собою, так і з існуючими моделями ні за параметрами, ні за критеріями оцінки ефективності.

Отже, необхідно розробляти моделі і методи, що враховують вплив ризиків на обґрунтування і вибір організаційно-технологічних рішень, вносити в них корективи, які дозволяли б здійснювати "входи" і "виходи" при ув'язці їх з моделями управління ризиками, зокрема, при будівництві будинків.

Таблиця 6.1 - Аналіз і оцінки відповідності існуючих методів і моделей вимогам обґрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень

№ п/п	Вимоги	Оцінка відповідності сучасних вимог при розробці				
		бізнес-планів	тендерної документації	ПОБ	ПВР	управління документації
Загальні вимоги						
1	Оптимізація розподілу однорідних ресурсів по горизонталі та вертикалі	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
2	Облік багатоваріантності ти вибір оптимального варіанту по розподілу одного або де кілька видів обмежених та необмежених ресурсів	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
3	Ув'язка всіх видів ресурсів та робіт в часі та просторі на кожному об'єкті або комплексі об'єктів	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ	ПВ
4	Досягнення мінімального строку будівництва	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
5	Досягнення мінімізації витрат використання ресурсів при зведенні об'єктів будівництва	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
6	Можливість використання реальних норм с врахуванням умов будівництва та кваліфікаційного складу будівельників	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
7	Можливість отримання організаційно-технологічної документації в автоматичному та діалоговому режимі.	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ
Спеціальні вимоги в умовах ринку						
1	Облік впливу на оптимальність ОТР, причини виникнення ризику на основі ринкових відношень	НВ	НВ	НВ	НВ	ЧВ
2	Облік впливу різноманітних заходів з зниження ризику на оптимальність ОТР для кожного його рівня	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ
3	Облік впливу системи взаємодії користувача АРМ-ОТР в процесі обґрунтування і вибору ОТР	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ
4	Можливість комплексної оцінки и вибору ОТР з урахуванням ризику на основі існуючих та розроблених методів і моделей	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ

Найбільш широке поширення одержали методи: аналітичний, алгоритмічний, статистичний, імітаційного моделювання [5,6].

Імітаційне моделювання по методу Монте-Карло дозволяє побудувати математичну модель продукту з невизначеними значеннями параметрів, і, знаючи ймовірнісні розподіли параметрів продукту, а також зв'язок між змінами параметрів (кореляцію) отримати розподіл результатів критерію.

Метод імітаційного моделювання створює додаткову можливість при оцінці ризику за рахунок того, що робить можливим створення випадкових сценаріїв. Застосування аналізу ризику використовує багатство інформації, будь вона у формі об'єктивних даних чи оцінок експертів, для кількісного опису невизначеності, яка існує у відношенні основних змінних проекту, для обґрунтованих розрахунків можливого впливу невизначеності на ефективність інвестиційного проекту. Результат аналізу ризику виражається не яким-небудь єдиним значенням, а у вигляді імовірнісного розподілу всіх можливих значень цього показника

Імітаційне моделювання - це процедура, за допомогою якої математична модель визначення будь-якого фінансового показника піддається ряду імітаційних прогонів за допомогою програмного комплексу. В ході процесу імітації будуються послідовні сценарії з використанням вихідних даних, які за змістом проекту є невизначеними, і тому в процесі аналізу покладаються випадковими величинами. Процес імітації здійснюється таким чином, щоб випадковий вибір значень з певних імовірнісних розподілів не порушував існування відомих або передбачуваних відносин кореляції серед змінних. Результати імітації збираються і аналізуються статистично, з тим, щоб оцінити міру ризику.

Отже, потенційний інвестор, з допомогою методу «MONTE» буде забезпечений повним набором даних, що характеризують ризик проекту. На цій основі він зможе прийняти зважене рішення про надання коштів.

## Висновки до розділу 6

Таким чином, склалася ситуація, коли науково обґрунтовані підходи до проектування і функціонування системи прийняття і узгодження організаційно-технологічних рішень у будівельному виробництві не відповідають практиці розвитку ринку, що обумовлює актуальність розробки нових підходів і методів. З точки зору сучасних вимог аналіз організаційно-технологічних рішень доцільно здійснювати у рамках теорії функціонування систем і системотехніки будівництва. Усебічне вдосконалення принципів розробки і аналізу організаційно-технологічних рішень на основі нових технологічних якісно підвищує рівень організації виробничої діяльності будівельних підприємств. Проте аналіз зміни організаційно-технологічних рішень неможливий без критерію оцінки їх ефективності. Цей критерій в загальній формі відображає їх результативність, дієвість і економічність.

Актуальним напрямом досліджень в цій області є розробка інтегральної моделі організаційно-технологічних і управлінських рішень, що дозволяє вибирати оптимальні критерії створення кінцевого продукту і подальшого моніторингу їх виконання.

Таким чином, по-перше, в умовах ринкових відносин оптимальність організаційно-технологічних рішень може бути досягнута лише при врахуванні ризиків, що виникають у зв'язку зі змінами в організаційно-технологічному середовищі функціонування проектних і будівельних організацій та інших учасників інвестиційно-будівельної діяльності.

По-друге, аналіз застосовуваних моделей і методів обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень показує, що вони не в повній мірі відповідають сучасним вимогам.

По-третє, обґрунтування і вибір організаційно-технологічних рішень в будівництві необхідно здійснювати на основі загальної імітаційної моделі, що містить моделі і методи оптимізації організаційно-технологічних рішень і модель управління ризиками, яка дозволяє визначати не лише якісні, але й кількісні параметри ризиків і здійснювати коригування прийнятих рішень

## Перелік використаної літератури у розділі 6

1. Гусаков А.А. Системотехника строительства. Москва: Стройиздат, 1983. 440 с.
2. Завадскас, Э. К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства. Ленинград, 1991. 256 с.
3. Информационные модели функциональных систем / под общей редакцией К.В. Судакова. Москва, 2004 304 с.
4. Мазур И.И., Шапиро В. Д. Управление проектами: учебное пособие для вузов. Москва: ОМЕГА-Л, 2012. 959 с.
5. Наукові основи розвитку будівельної галузі України: монографія / Данкевич Н.О. та ін.; за ред. І.А. Арутюнян. Запоріжжя: ЗДІА, 2017. 460 с.
6. Павлов И.Д., Радкевич А.В. Модели управления проектами: учеб. пособие. Запорожье: ГУ “ЗИГМУ”, 2004. 320с.
7. Руководство Project Management Body of Knowledge (PMBOK), Москва, 2013. 611с.
8. ДСТУ ISO 9001: 2015. Система управління якістю. Вимоги. [Чинний від 2015–12–31]. Київ, 2016. 31 с. (Національні стандарти України).
9. ДБН А.3.1-5-2016. Управління, організація і технологія.: Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016–05–05]. Київ, 2016. 51 с. (Національні стандарти України).
10. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь / Под редакцией А. А. Гусакова. Москва, 2004. 320 с.
11. Assessing onprofit Organizational Capacity, Abby Weiss, 2005. p.107.
12. Leopold, Luna B.; Clarke, Frank E.; Hanshaw, Bruce B.; (1971). A Procedure for Evaluating Environmental Impact. Geological Survey Circular 645. Washington: U.S. Geological Survey.

## Додатки до розділу 5

### Додаток А

Розрахунок навантаження на перекриття та покриття зводимо у табл. А.1 та А.2. Навантаження від стінового огороження зводимо у табл. А.3.

Таблиця А.1 – Навантаження на 1 м<sup>2</sup> перекриття

Вид навантаження	Підрахунок навантаження	Нормативне навантаження, т/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт надійності щодо навантаження $\gamma_f$	Розрахункове навантаження, т/м <sup>2</sup>
1. Корисне навантаження	$g^H \times \gamma_n = 0,15 \times 0,95$	0,143	1,2	0,172
2. Маса підлоги і перегородок	$g^H \times \gamma_n = 0,1 \times 0,95$	0,095	1,2	0,114
3. Плита перекриття	$g^H \times \gamma_n = 0,3 \times 0,95$	0,285	1,1	0,314
<b>Повне</b>		<b><math>g^H_{пер} = 0,523</math></b>		<b><math>g^P_{пер} = 0,6</math></b>

Таблиця А.2 – Навантаження на 1 м<sup>2</sup> покриття

Вид навантаження	Підрахунок навантаження	Нормативне навантаження, т/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт надійності щодо навантаження $\gamma_f$	Розрахункове навантаження, т/м <sup>2</sup>
1. Снігове навантаження	$g^H \times \gamma_n = 0,111 \times 0,95$	0,106	1,14	0,121
2. Маса покриття покрівлі	$g^H \times \gamma_n = 0,15 \times 0,95$	0,143	1,2	0,172
3. Плита покриття	$g^H \times \gamma_n = 0,3 \times 0,95$	0,285	1,1	0,314
<b>Повне</b>		<b><math>g^H_{пок} = 0,534</math></b>		<b><math>g^P_{пок} = 0,607</math></b>

Таблиця А.3 – Навантаження від стінового огороження

Вид навантаження	Підрахунок навантаження	Нормативне навантаження, т/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт надійності щодо навантаження $\gamma_f$	Розрахункове навантаження, т/м <sup>2</sup>
1. Зовнішні стіни	$H \times \rho \times \gamma_n = 27,6 \times 1,8 \times 0,95$	47,2	1,2	56,64
2. Внутрішні стіни	$H \times \rho \times \gamma_n = 27,6 \times 1,8 \times 0,95$	47,2	1,2	56,64
<b>Повне</b>		<b><math>g^H_{стін} = 94,4</math></b>		<b><math>g^P_{стін} = 113,3</math></b>

2) Розрахункове навантаження від дії вітру визначаємо згідно:

$$W_m = \gamma_{fm} \cdot W_o \cdot c$$



де  $-W_o$ —характеристичне значення вітрового тиску ( $W_o = 46 \text{ кг/м}^2$ );

$\gamma_{fm}$ —коефіцієнт надійності по максимально допустимому значенню вітрового тиску; встановлюється згідно ДБН для  $T = 100$  років  $\rightarrow \gamma_{fm} = 1,14$ ;

$$C = C_{aer} \cdot C_h \cdot C_{alt} \cdot C_{rel} \cdot C_{dlr} \cdot C_d$$

де  $C_{aer}$ —аеродинамічний коефіцієнт (активний:  $C_{aer} = 0,8$ ; пасивний:  $C_{aer} = -0,6$ );

$C_h$ —коефіцієнт, враховуючий висоту будівлі ( $C_h = 1,8$ );

$C_{alt}$ — коефіцієнт географічної висоти ( $C_{alt} = 1$ );

$C_{rel}$ — коефіцієнт рельєфу ( $C_{rel} = 1$ );

$C_{dlr}$ — коефіцієнт напрямку ( $C_{dlr} = 1$ );

$C_d$ — коефіцієнт динамічності ( $C_d = 0,95$ ).

$$C_{акт} = 0,8 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 = 1,44$$

$$C_{пас} = -0,6 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,95 = -1,08$$

Граничний розрахунковий тиск від вітру:

$$W_m^{акт} = \gamma_{fm} \cdot W_o \cdot c = 1,14 \cdot 0,46 \cdot 1,44 = 0,755 \text{ кН/м}^2;$$

$$W_m^{пас} = \gamma_{fm} \cdot W_o \cdot c = 1,14 \cdot 0,46 \cdot (-1,08) = -0,567 \text{ кН/м}^2;$$

3) Для визначення тиску по бічній поверхні задаємося вертикальним навантаженням від ваги вимощення, снігового навантаження та ін,  $g_{верт.} = 500 \text{ кг/м}^2$ .

Визначаємо навантаження від ґрунту по бічній поверхні фундаменту на  $1 \text{ м}^2$ :

$$P_1 = P_B \cdot \text{tg}^2(\varphi_{гр.1}) \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = 0,500 \cdot \text{tg}^2(28) \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 0,25 \text{ т/м} ;$$

$$\begin{aligned} P_2 &= ((\gamma_{гр.1} \cdot h_{гр.1} - h_{цок.}) + P_B) \cdot \text{tg}^2(\varphi_{гр.1}) \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n = \\ &= ((2,5 \cdot (3,0 - 1,0)) + 0,5) \cdot \text{tg}^2(28) \cdot 1,2 \cdot 0,95 = 1,77 \text{ т/м} . \end{aligned}$$

## Додаток Б

### Визначення навантаження на вузли кінцевих елементів

Плити перекриття та покриття опираються на дві сторони в поздовжньому напрямку. Тому стіни в поздовжньому напрямку будуть сприймати навантаження від власної ваги, ваги перекриття з восьми поверхів та ваги покриття, а також вітрове навантаження, з лівого та правого боків для будівлі в цілому. По бічній поверхні буде прикладено навантаження від тиску ґрунту.

Поперечні стіни будуть сприймати навантаження від власної ваги та вітрового навантаження, з переду та з заду будівлі. По бічній поверхні буде прикладено навантаження від тиску ґрунту.

Навантаження від власної ваги фундаменту та фундаментних подушок показано на рис. Б.1.

1) Визначення вузлових навантажень від ваги перекриття, покриття та власної ваги конструкцій:

- на поздовжні стіни:

$$N_{\text{зовн}} = (g_{\text{пер}}^p \times 8 + g_{\text{пок}}^p) \times B \times h + g_{\text{стін}}^p \times b \times h \quad (1.1)$$

- на поперечні стіни :

$$N_{\text{внутр}} = g_{\text{стін}}^p \times b \times h \quad (1.2)$$

де  $B$  – розрахунковий проліт для зовнішніх стін;

$h$  – розмір кінцевого елемента рівний 0,5м;

$b$  – товщина стіни.

- на зовнішні стіни в поздовжньому напрямку:

$$N_1 = (0,6 \times 8 + 0,607) \times 3 \times 0,5 + 56,64 \times 0,51 \times 0,5 = 22,6 \text{ т};$$

- на внутрішні стіни в поздовжньому напрямку:

$$N_2 = (0,6 \times 8 + 0,607) \times 6 \times 0,5 + 56,64 \times 0,38 \times 0,5 = 30,0 \text{ т};$$

- на зовнішні стіни в поперечному напрямку:

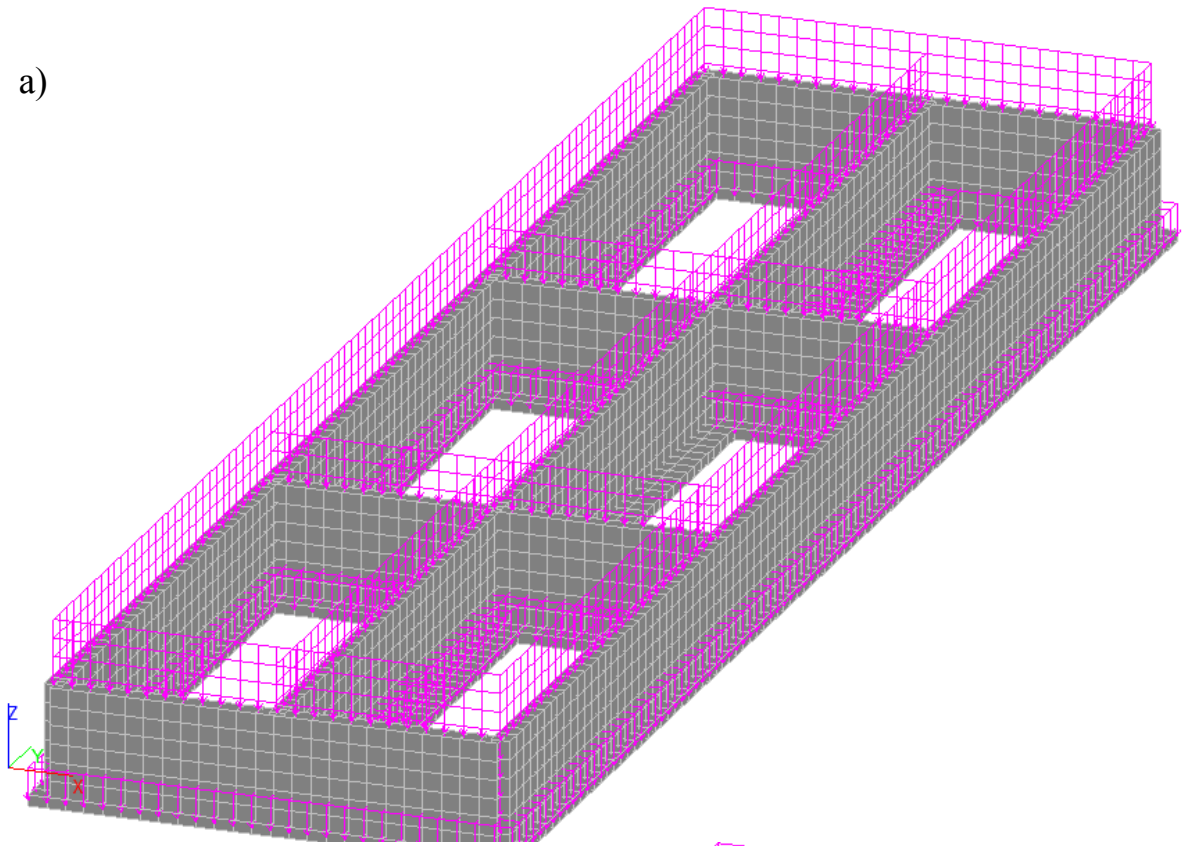
$$N_3 = 56,64 \times 0,51 \times 0,5 = 14,5 \text{ т};$$

- на внутрішні стіни в поперечному напрямку:

$$N_4 = 56,64 \times 0,38 \times 0,5 = 10,8 \text{ т}.$$

Навантаження від ваги покриття, перекриття та стін показано на рис. Б.2.

а)



б)

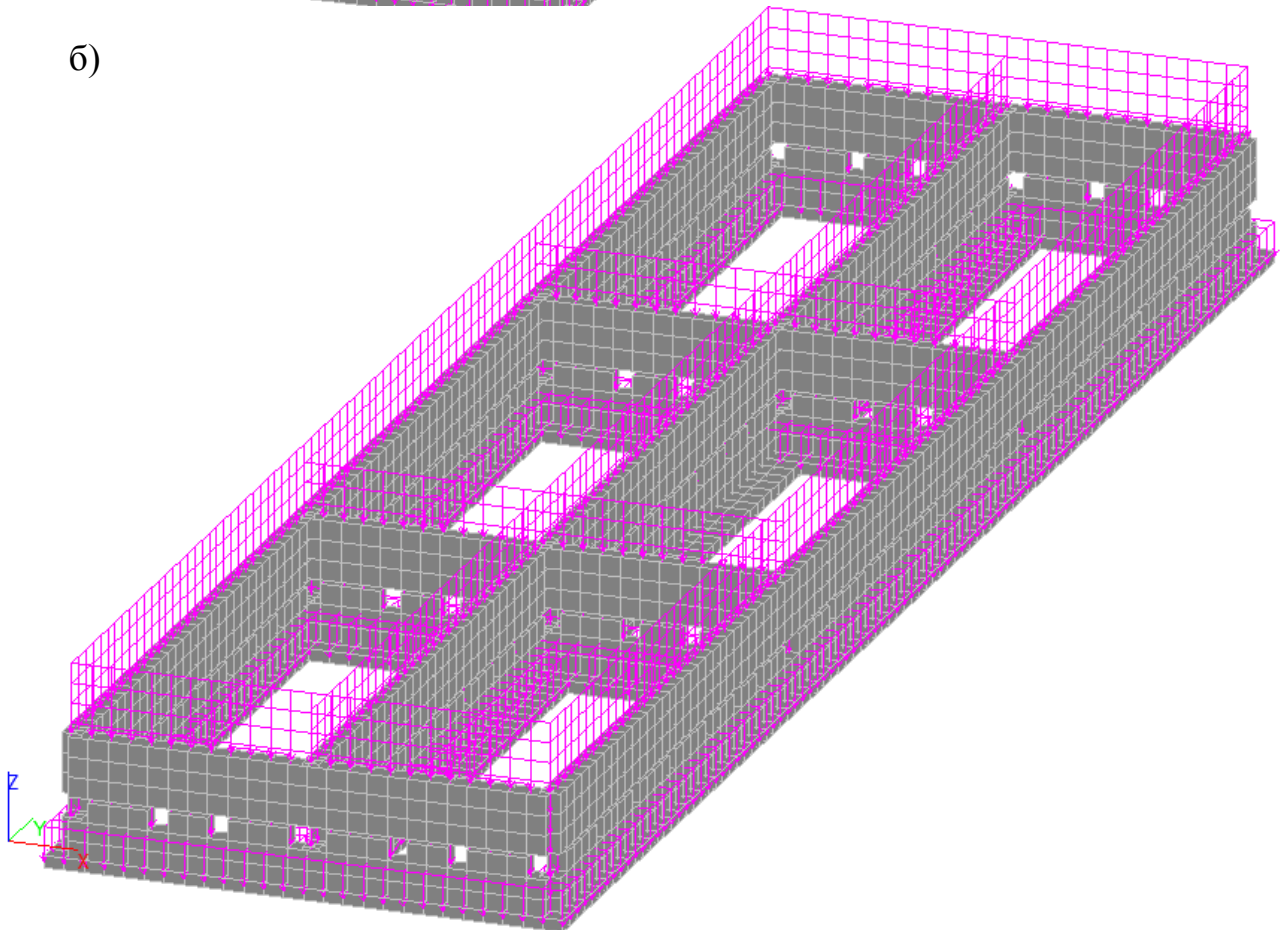


Рисунок Б.1 – Навантаження від власної ваги фундаменту: а – суцільного; б – з нішами та розривом по периметру.

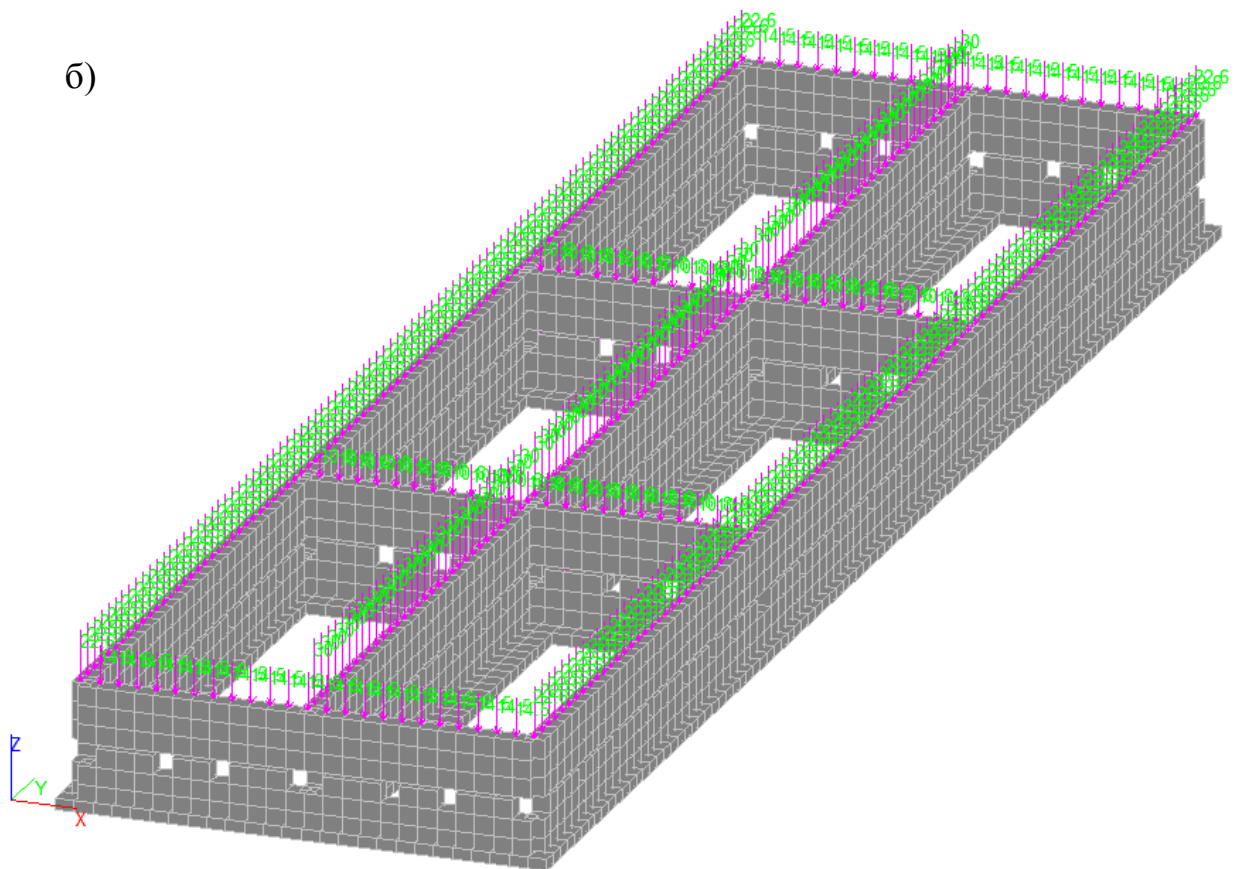
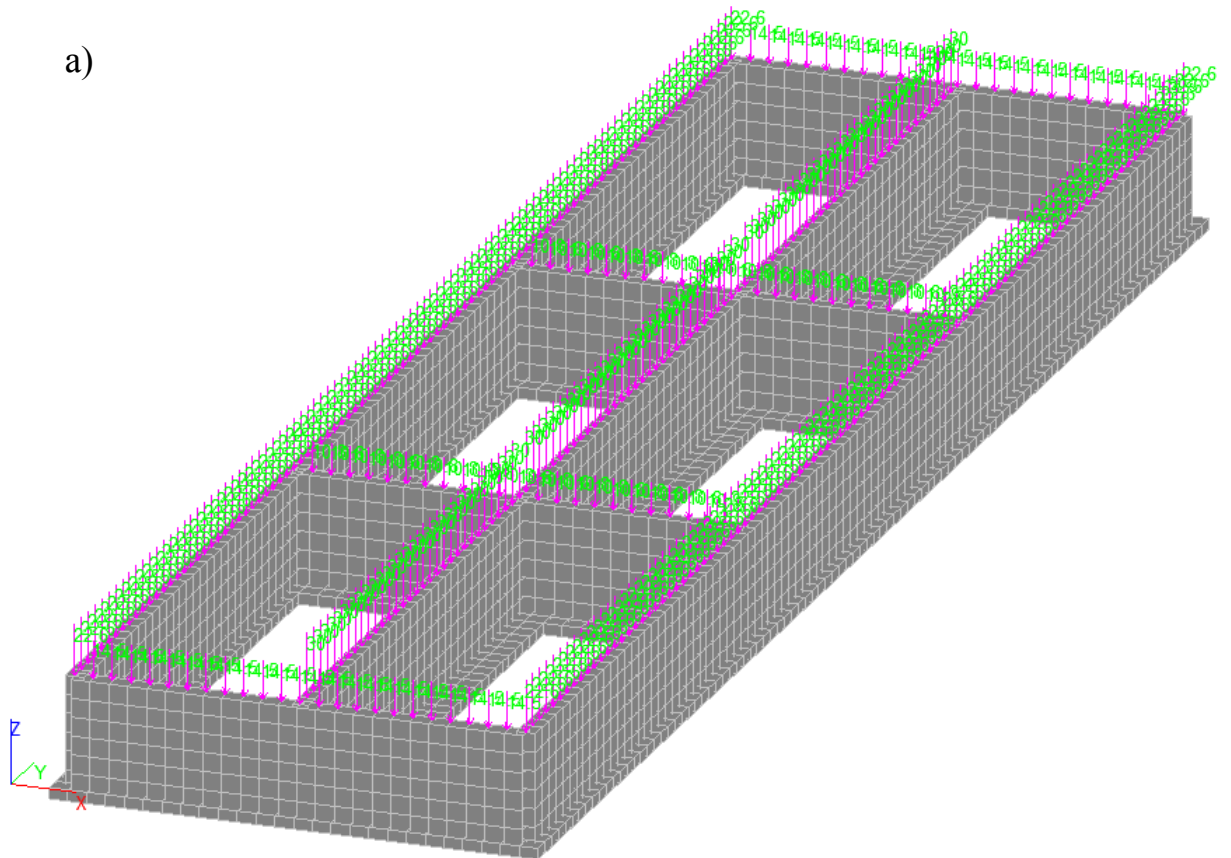


Рисунок Б.2 – Навантаження від ваги покриття, перекриття та стін на фундамент: а – суцільний; б – з нішами та розривом по периметру.

## 2) Розрахунок навантаження від вітрового тиску

Вітрове навантаження прикладається з 4-х сторін будівлі, але оскільки будівля має вигляд простого прямокутника в плані та просту конструктивну схему, для розрахункових поєднань зусиль пропонується взяти навантаження з 2-х сторін, зліва та з переду.

Поперечну силу яка на 1 кінцевий елемент частини будівлі та згинальний момент від поперечної сили на 1 вузол з навітряної сторони будинку визначаємо за формулами 1.3, 1.4:

$$V_{\text{нав}} = H \times W_1 \times h \quad (1.3)$$

$$M_{\text{нав}} = V_{\text{нав}} \times H/2 \quad (1.4)$$

де  $W_1$  – навантаження від вітру на  $1 \text{ м}^2$  з навітряної частини;

$h$  – розмір кінцевого елемента рівний  $0,5\text{м}$ ;

$H$  – висота будівлі.

$$V_{\text{нав}} = 27,6 \times 0,076 \times 0,5 = 1,05 \text{ т};$$

$$M_{\text{нав}} = 1,05 \times 27,6/2 = 14,5 \text{ тм.}$$

Поперечну силу яка на 1 кінцевий елемент частини будівлі та згинальний момент від поперечної сили на 1 вузол з підвітряної сторони будинку визначаємо за формулами 1.5, 1.6:

$$V_{\text{підв}} = H \times W_2 \times h \quad (1.5)$$

$$M_{\text{підв}} = V_{\text{підв}} \times H/2 \quad (1.6)$$

$$V_{\text{нав}} = 27,6 \times -0,057 \times 0,5 = -0,79 \text{ т};$$

$$M_{\text{нав}} = -0,79 \times 27,6/2 = -10,9 \text{ тм.}$$

Схеми вітрового навантаження показані на рис. Б.3, Б.4.

## 3) Визначення навантаження від ґрунту по боковій поверхні фундаменту.

Навантаження від ґрунту на 1 вузол кінцевого елемента визначаємо за формулою:

$$N_1 = P_1 \times h = 0,25 \times 0,5 = 0,13 \text{ т};$$

$$N_2 = P_2 \times h = 1,77 \times 0,5 = 0,89 \text{ т};$$

Навантаження від ґрунту показано на рис. Б.5.

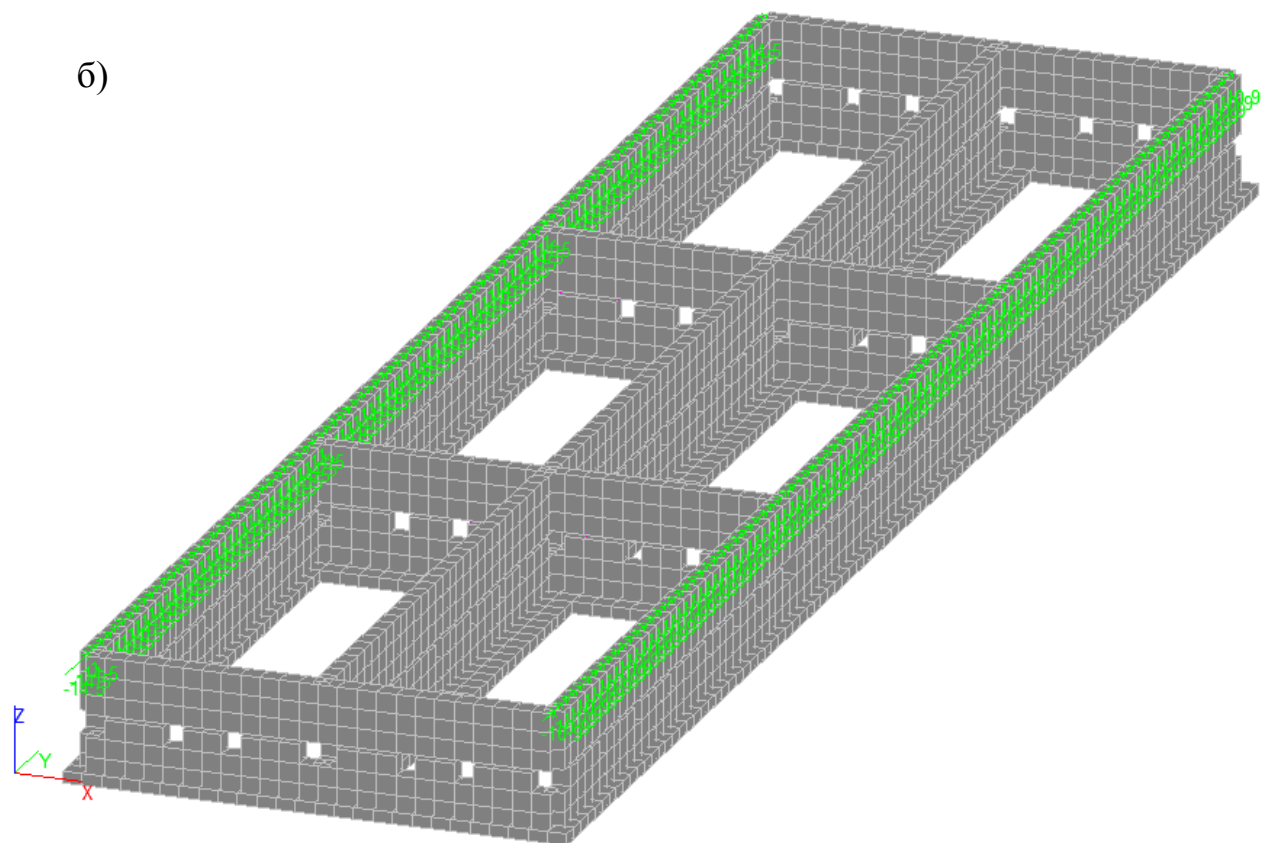
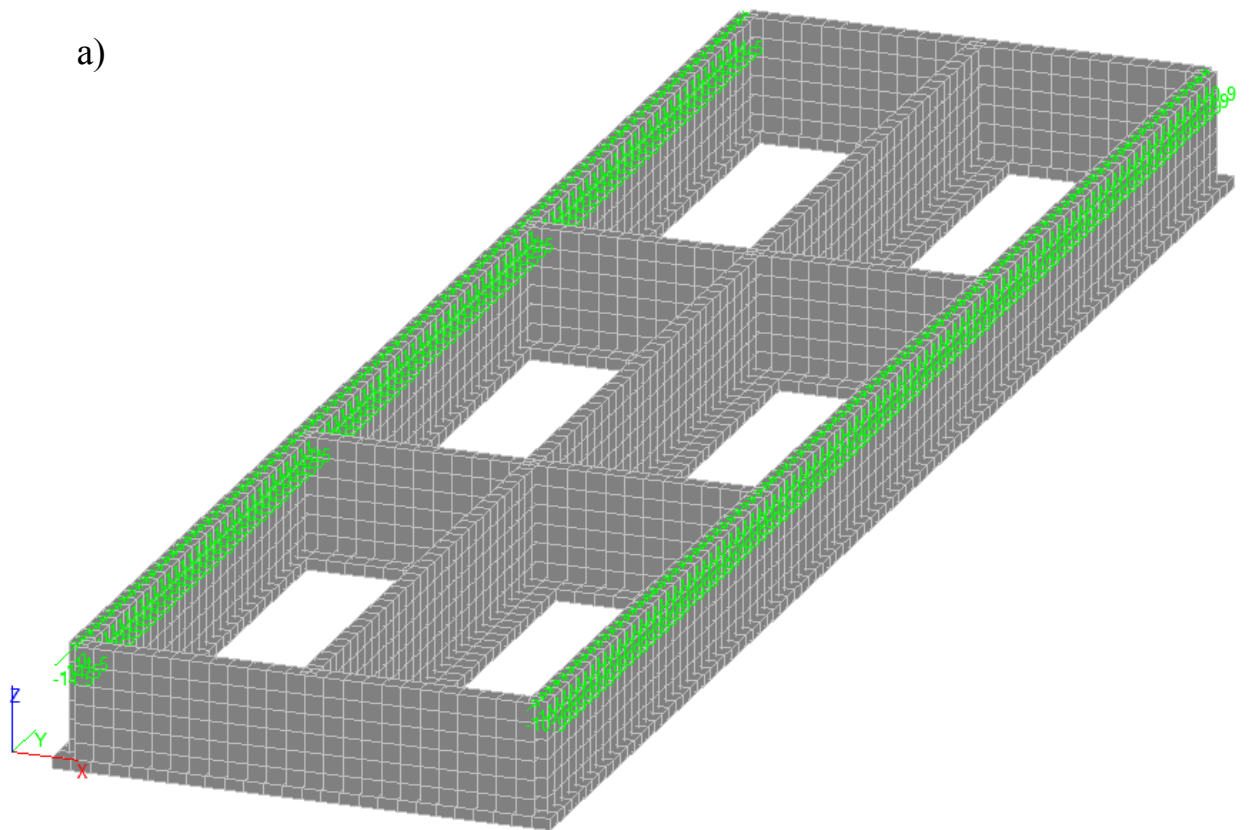


Рисунок Б.3 – Навантаження від дії вітру з навітряної та підвітряної частини на ліву частину будівлі: а – суцільний фонд.; б – з нішами та розривом по периметру.

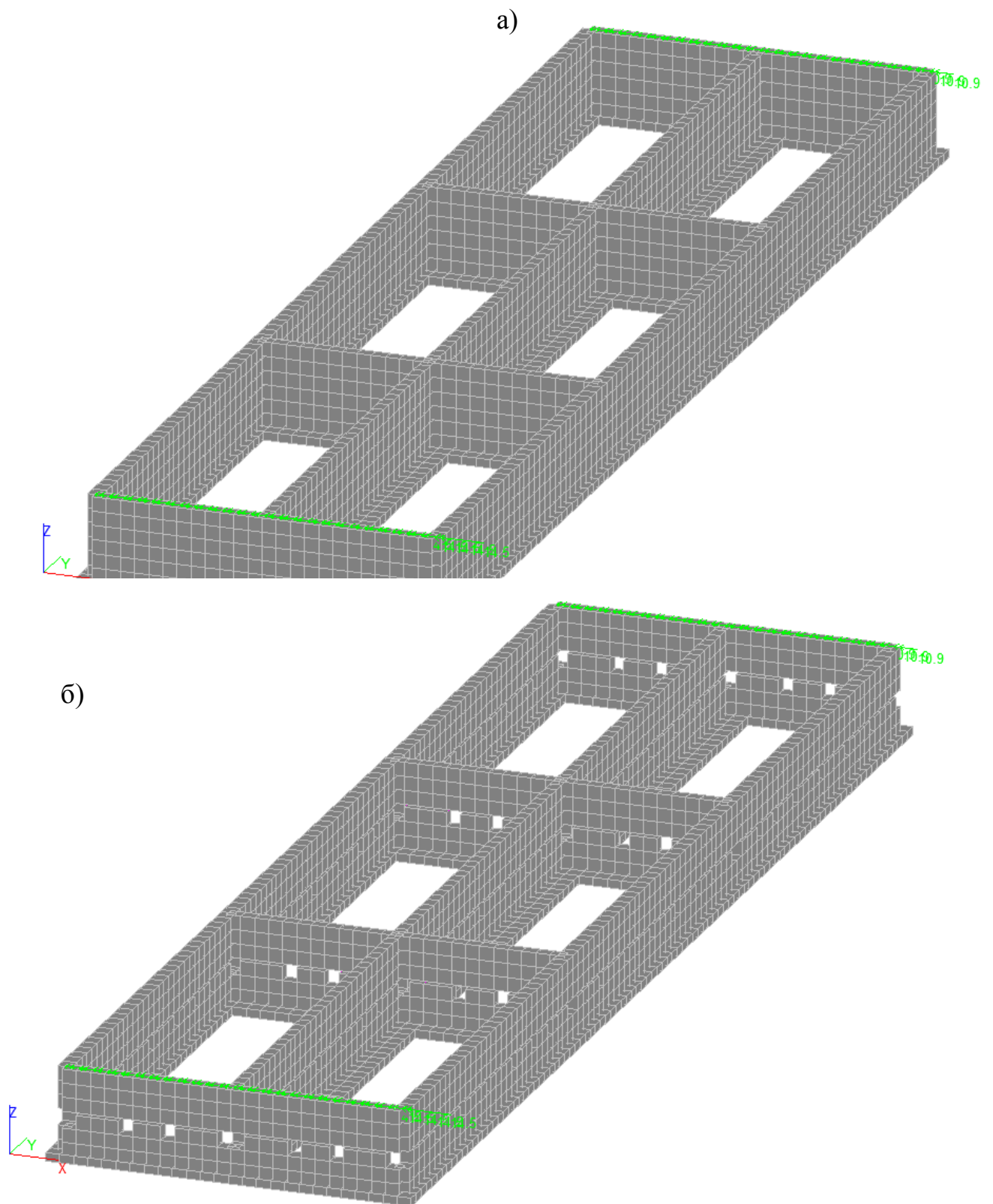


Рисунок Б.4 – Навантаження від дії вітру з навітряної та підвітряної частини з переду будівлі: а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру

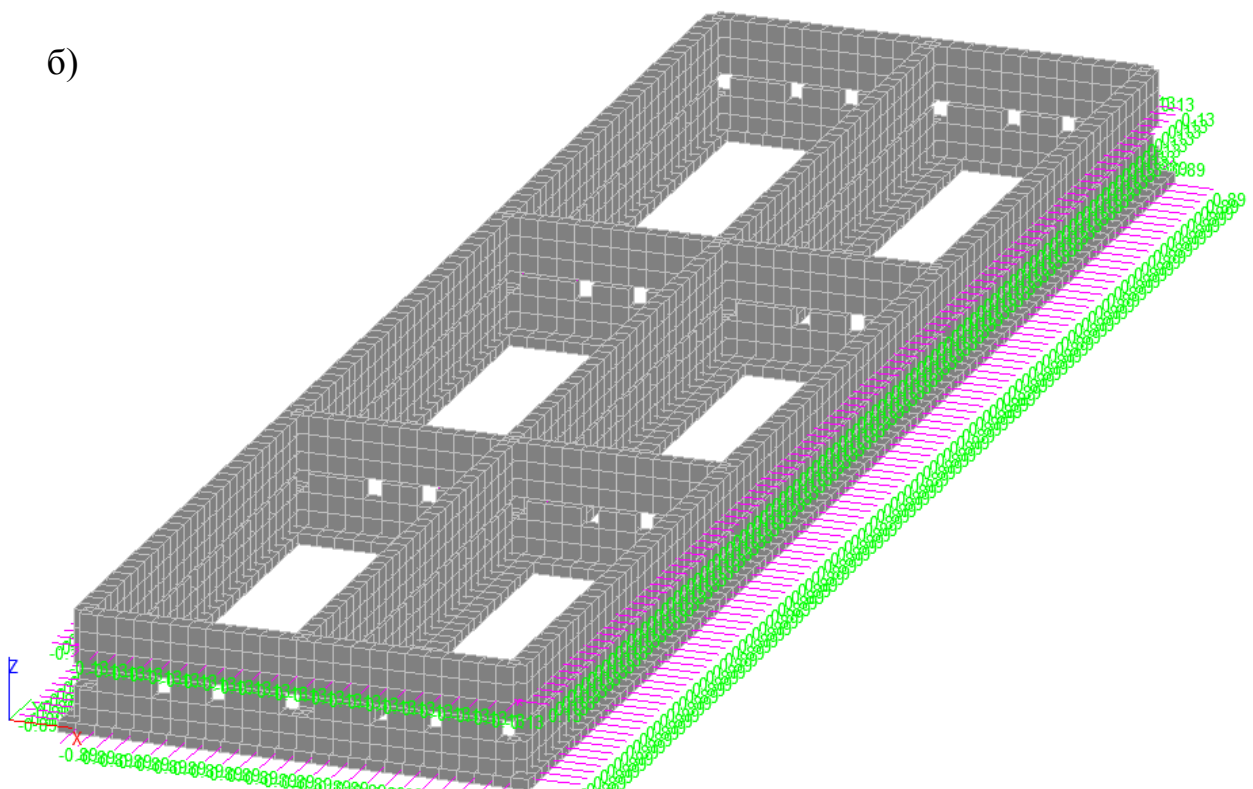
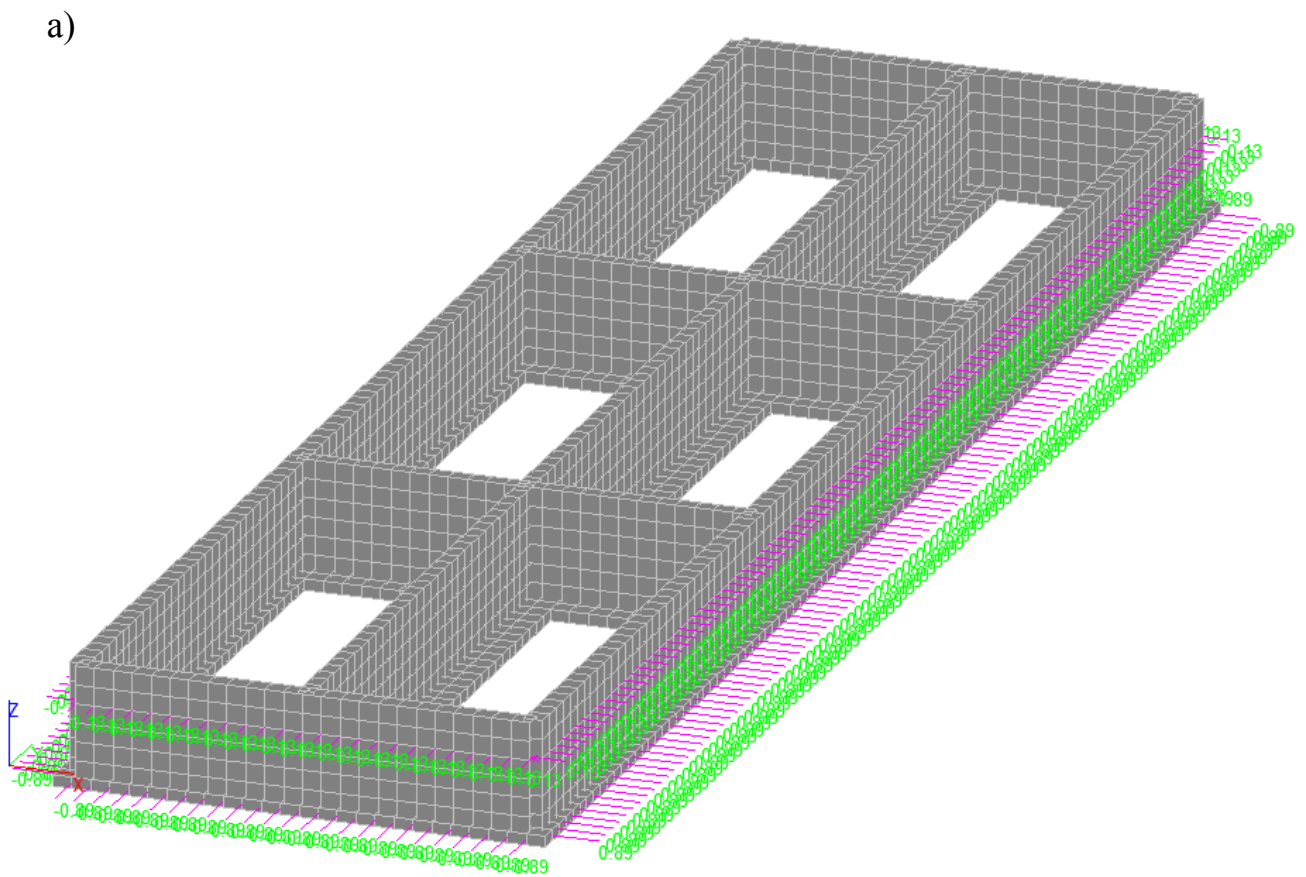


Рисунок Б.5 – Навантаження від ґрунту по бічній поверхні підземної частини будівлі: а – суцільний фонд.; б – з нішами та розривом по периметру.



## Розрахунок характеристик пружних зв'язків

Для завдання розриву по периметру фундаменту використовувався пружний зв'язок між всіма вузлами кінцевих елементів.

Щоб передати повне вертикальне навантаження по вісі Z задаємо безкінечно жорсткий зв'язок, з характеристикою  $1 \times 10^6$  т/м.

Для розрахунку жорсткості по вісі X та Y необхідно знайти силу тертя, яка виникає по поверхні фундаментних блоків, в місці розриву, від дії опорної реакції в вузлах елементів. Опорна реакція буде дорівнювати вертикальному навантаженню прикладеному в даному вузлі.

Для цього, згідно визначаємо коефіцієнт тертя бетону по бетону, який в сухому стані дорівнює  $\mu = 0.6$ , в вологому  $\mu = 0.7$ .

У поздовжньому та поперечному напрямку, на вузли кінцевих елементів дає 4 вертикальних навантаження, від дії яких і знаходимо сили тертя для пружних зв'язків вздовж вісей X та Y, та задаємо їх. Силу тертя визначаємо за формулою 1.7:

$$q_n = N_n \times \mu \quad (1.7)$$

$$q_1 = 22,6 \times 0,6 = 13,6 \text{ т/м};$$

$$q_2 = 30 \times 0,6 = 18,0 \text{ т/м};$$

$$q_3 = 14,5 \times 0,6 = 8,7 \text{ т/м};$$

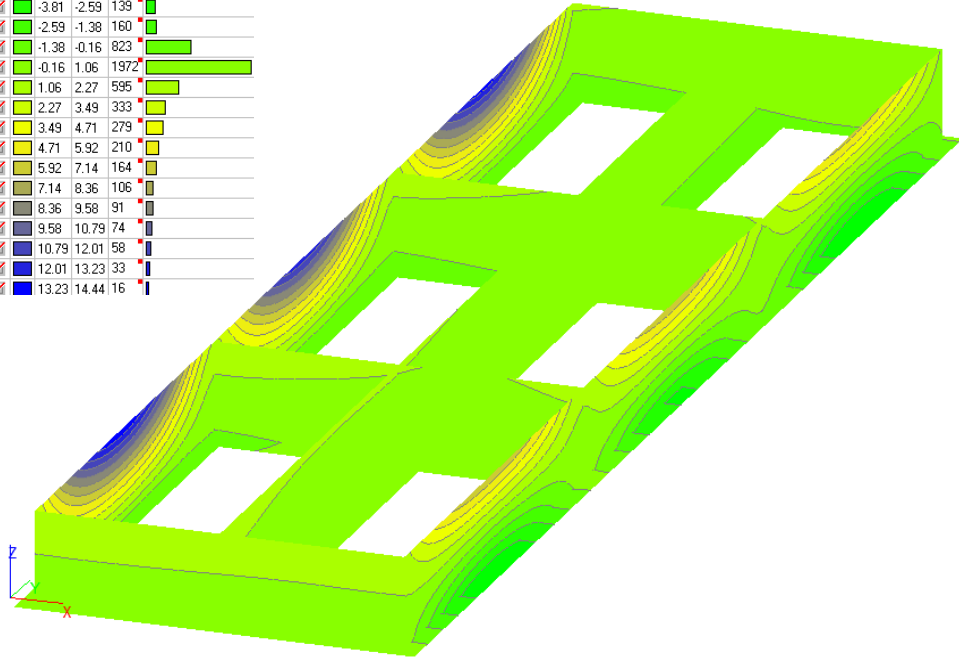
$$q_4 = 10,8 \times 0,6 = 6,5 \text{ т/м}.$$

## Додаток В

Схеми полів напруження від поздовжніх зусиль, поперечних сил та згинальних моментів.

а)

		X		
		MM	MM	
<input checked="" type="checkbox"/>	5.03	-3.81	87	
<input checked="" type="checkbox"/>	3.81	-2.59	139	
<input checked="" type="checkbox"/>	2.59	-1.38	160	
<input checked="" type="checkbox"/>	1.38	-0.16	823	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.16	1.06	1972	
<input checked="" type="checkbox"/>	1.06	2.27	595	
<input checked="" type="checkbox"/>	2.27	3.49	333	
<input checked="" type="checkbox"/>	3.49	4.71	279	
<input checked="" type="checkbox"/>	4.71	5.92	210	
<input checked="" type="checkbox"/>	5.92	7.14	164	
<input checked="" type="checkbox"/>	7.14	8.36	106	
<input checked="" type="checkbox"/>	8.36	9.58	91	
<input checked="" type="checkbox"/>	9.58	10.79	74	
<input checked="" type="checkbox"/>	10.79	12.01	58	
<input checked="" type="checkbox"/>	12.01	13.23	33	
<input checked="" type="checkbox"/>	13.23	14.44	16	



б)

		X		
		MM	MM	
<input checked="" type="checkbox"/>	4.19	-2.89	138	
<input checked="" type="checkbox"/>	2.89	-1.6	310	
<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	-0.31	405	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.31	0.99	1965	
<input checked="" type="checkbox"/>	0.99	2.28	537	
<input checked="" type="checkbox"/>	2.28	3.57	770	
<input checked="" type="checkbox"/>	3.57	4.87	652	
<input checked="" type="checkbox"/>	4.87	6.16	316	
<input checked="" type="checkbox"/>	6.16	7.45	208	
<input checked="" type="checkbox"/>	7.45	8.75	191	
<input checked="" type="checkbox"/>	8.75	10.04	167	
<input checked="" type="checkbox"/>	10.04	11.33	95	
<input checked="" type="checkbox"/>	11.33	12.63	65	
<input checked="" type="checkbox"/>	12.63	13.92	54	
<input checked="" type="checkbox"/>	13.92	15.21	44	
<input checked="" type="checkbox"/>	15.21	16.5	28	

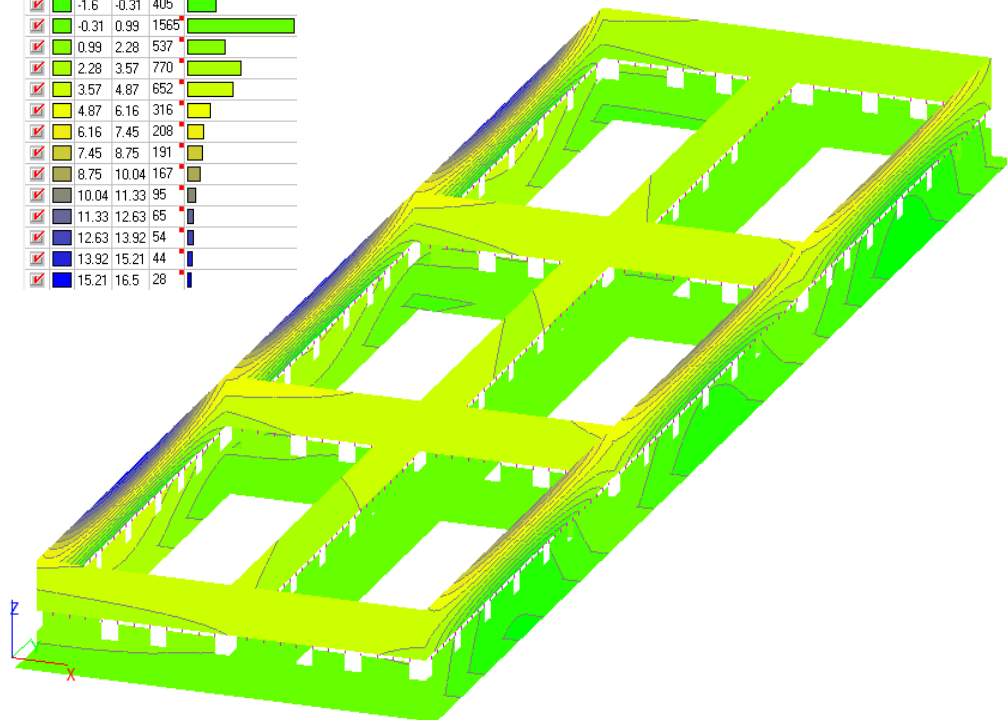


Рисунок В.1 – Переміщення вузлів по вісі Xпо першому поєднанню зусиль:  
 а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

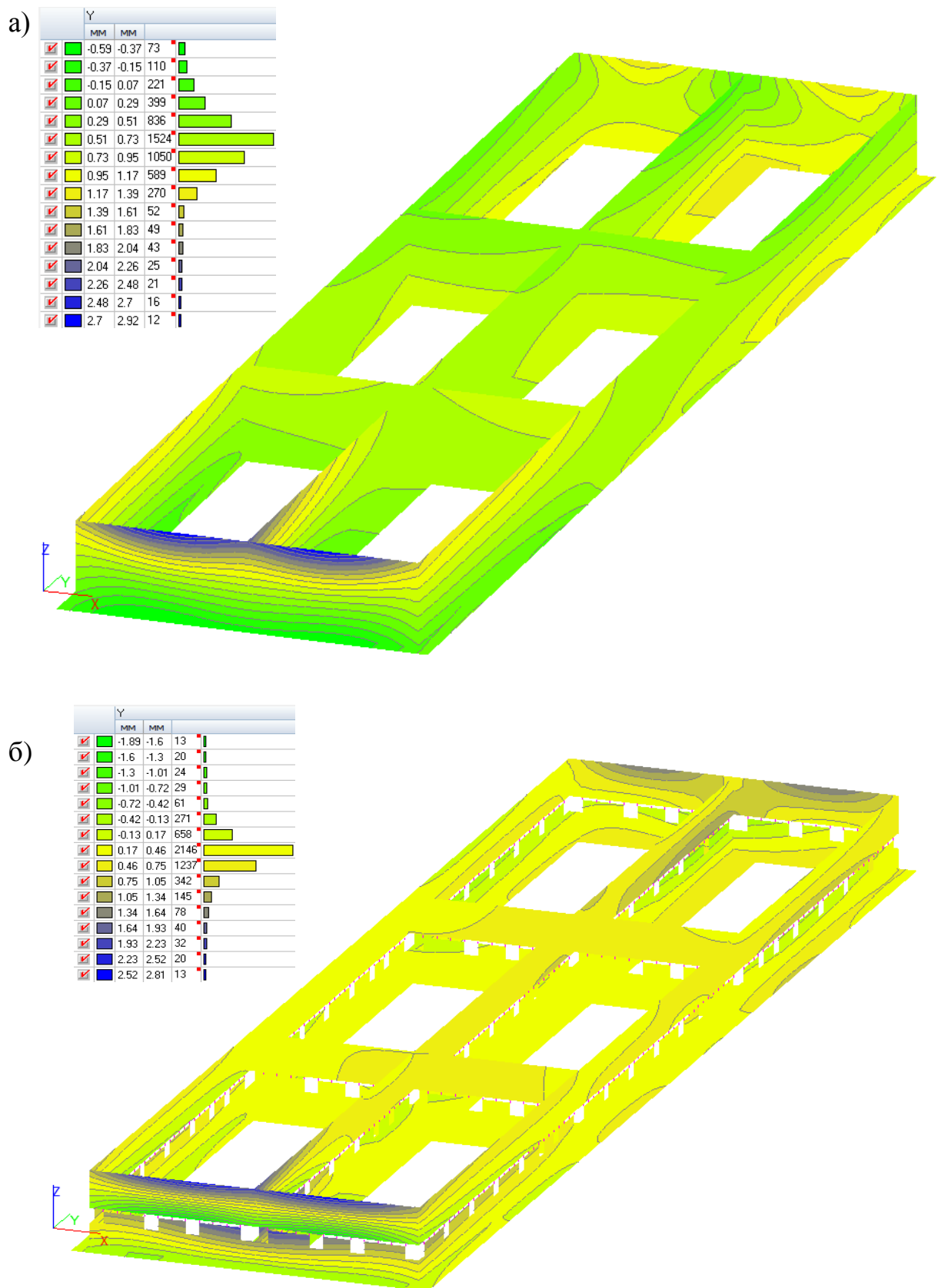
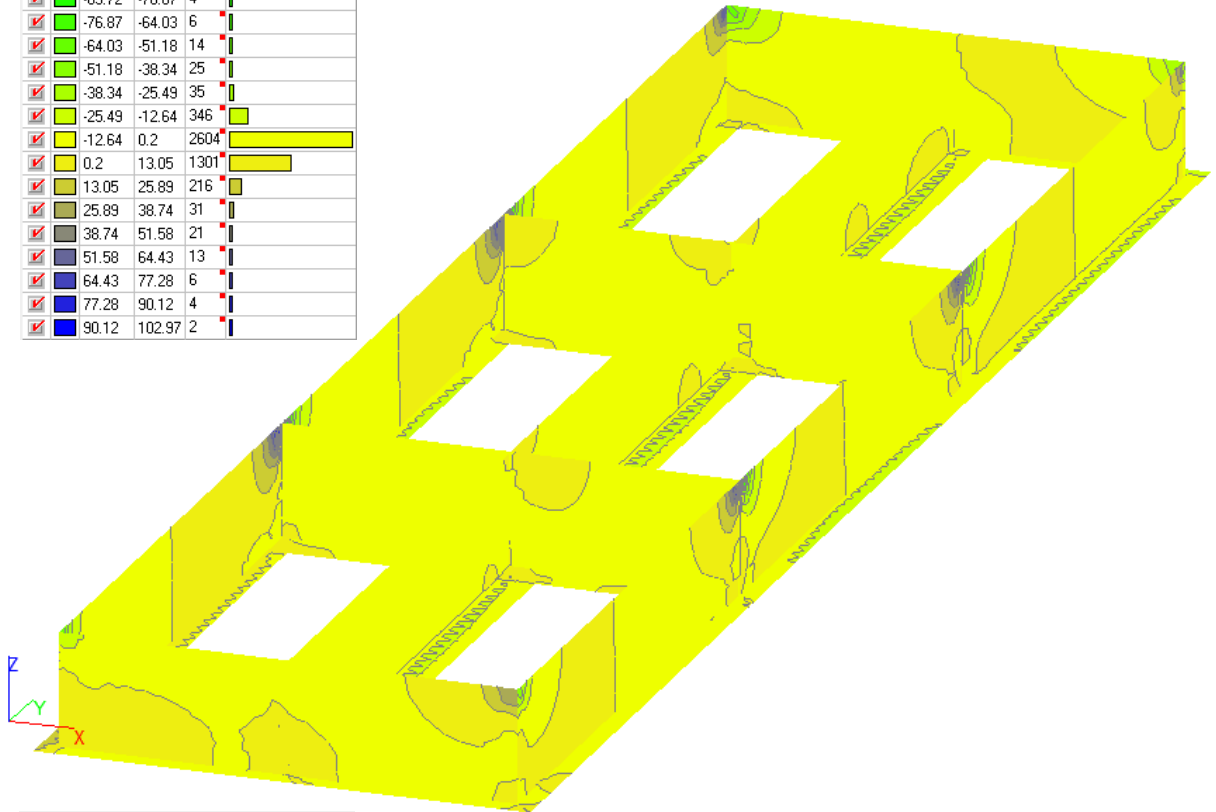


Рисунок В.2 – Переміщення вузлів по вісі Y по другому поєднанню зусиль: а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

a)

		$Q_x$		
		T/m	T/m	
✓	█	-102.56	-89.72	2
✓	█	-89.72	-76.87	4
✓	█	-76.87	-64.03	6
✓	█	-64.03	-51.18	14
✓	█	-51.18	-38.34	25
✓	█	-38.34	-25.49	35
✓	█	-25.49	-12.64	346
✓	█	-12.64	0.2	2604
✓	█	0.2	13.05	1301
✓	█	13.05	25.89	216
✓	█	25.89	38.74	31
✓	█	38.74	51.58	21
✓	█	51.58	64.43	13
✓	█	64.43	77.28	6
✓	█	77.28	90.12	4
✓	█	90.12	102.97	2



б)

		$Q_x$		
		T/m	T/m	
✓	█	-211.9	-185.4	4
✓	█	-185.4	-158.9	5
✓	█	-158.9	-132.4	10
✓	█	-132.4	-105.9	15
✓	█	-105.9	-79.4	20
✓	█	-79.4	-52.9	37
✓	█	-52.9	-26.4	65
✓	█	-26.4	0.1	2500
✓	█	0.1	26.6	1543
✓	█	26.6	53.1	65
✓	█	53.1	79.6	36
✓	█	79.6	106.1	20
✓	█	106.1	132.6	14
✓	█	132.6	159.11	10
✓	█	159.11	185.61	4
✓	█	185.61	212.11	4

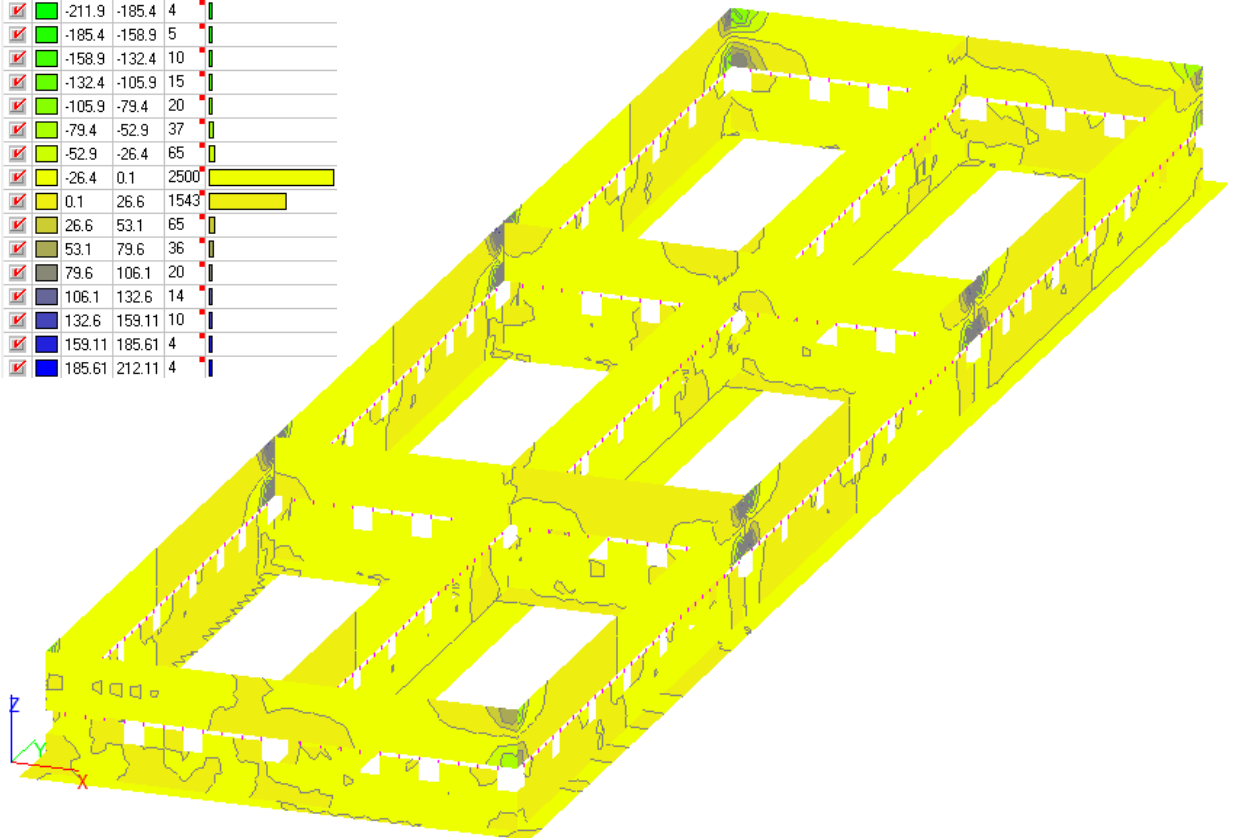
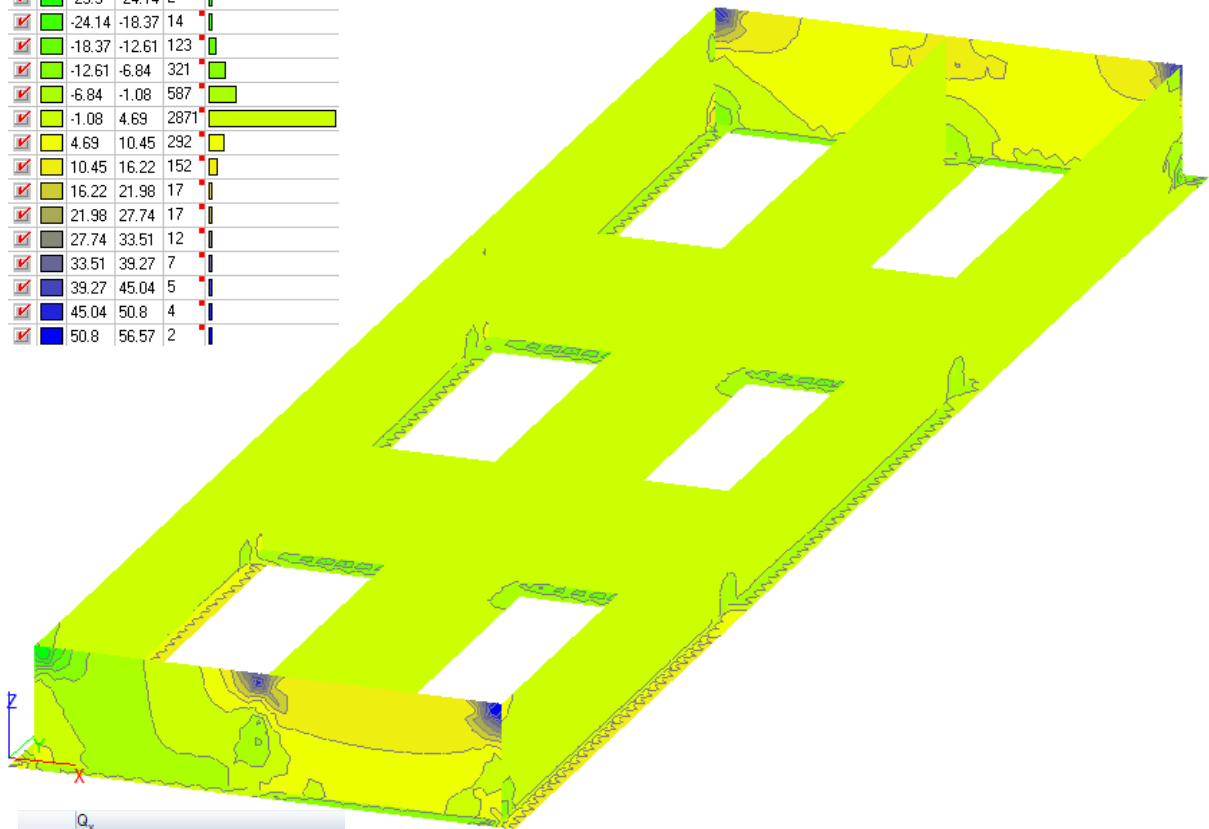


Рисунок В.3 – Поперечна сила  $Q_x$  по вісі Хза першим поєднанням зусиль:  
 а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

a)

$Q_y$			
	T/м	T/м	
✓	-35.66	-29.9	1
✓	-29.9	-24.14	2
✓	-24.14	-18.37	14
✓	-18.37	-12.61	123
✓	-12.61	-6.84	321
✓	-6.84	-1.08	587
✓	-1.08	4.69	2871
✓	4.69	10.45	292
✓	10.45	16.22	152
✓	16.22	21.98	17
✓	21.98	27.74	17
✓	27.74	33.51	12
✓	33.51	39.27	7
✓	39.27	45.04	5
✓	45.04	50.8	4
✓	50.8	56.57	2



б)

$Q_y$			
	T/м	T/м	
✓	-59.71	-51.62	2
✓	-51.62	-43.52	2
✓	-43.52	-35.43	3
✓	-35.43	-27.33	5
✓	-27.33	-19.24	8
✓	-19.24	-11.14	185
✓	-11.14	-3.05	544
✓	-3.05	5.05	2887
✓	5.05	13.14	176
✓	13.14	21.24	119
✓	21.24	29.33	47
✓	29.33	37.43	18
✓	37.43	45.52	11
✓	45.52	53.62	5
✓	53.62	61.71	2
✓	61.71	69.81	1

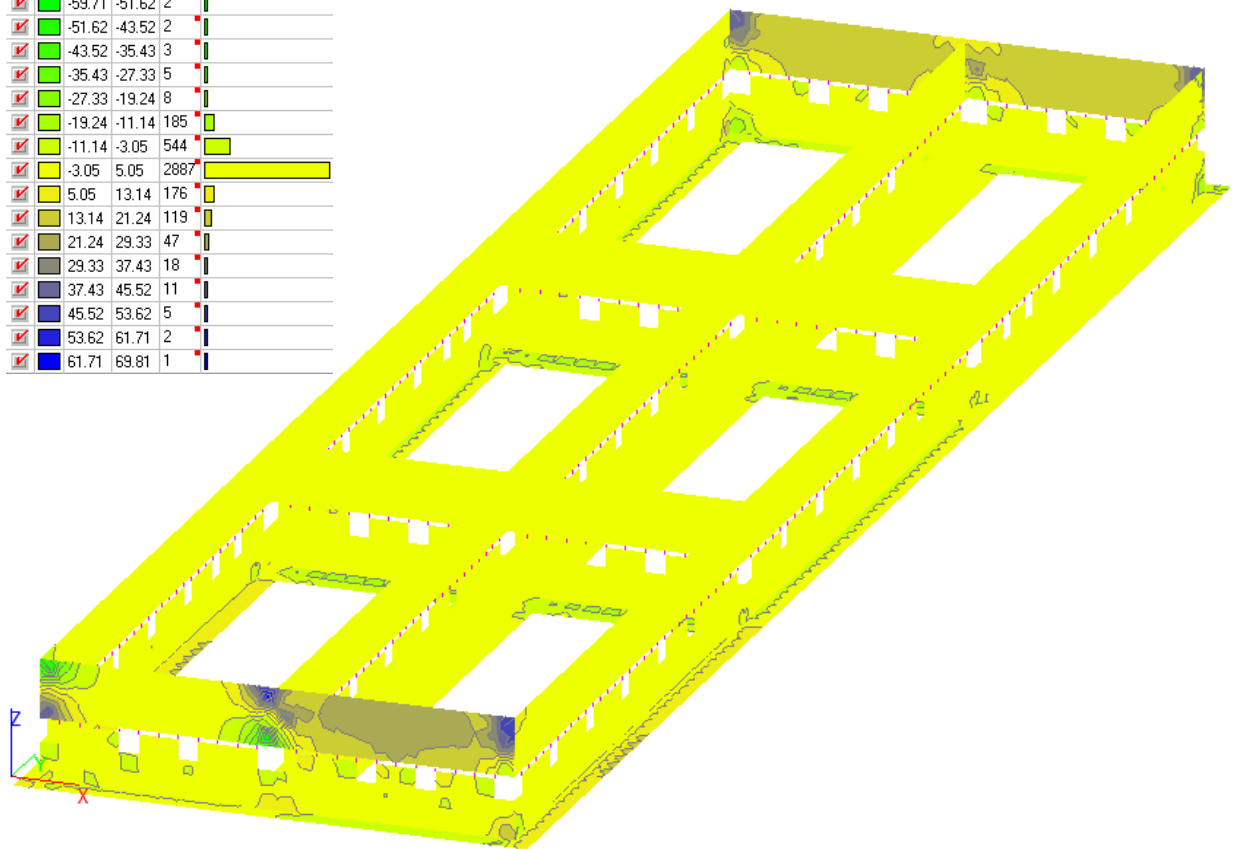


Рисунок В.4 – Поперечна сила  $Q_y$  по вісі  $Y$  за другим поєднанням зусиль:  
 а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

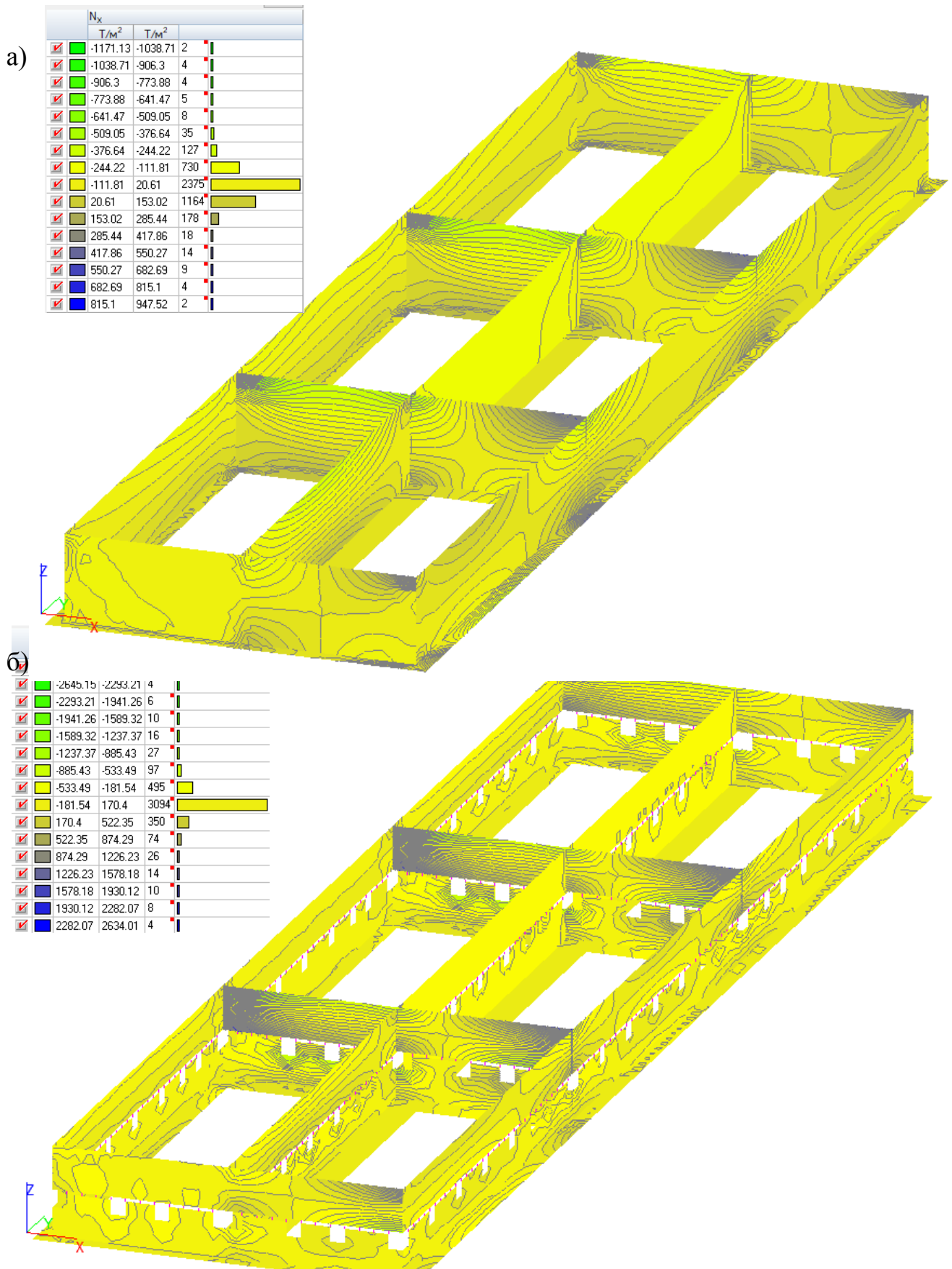
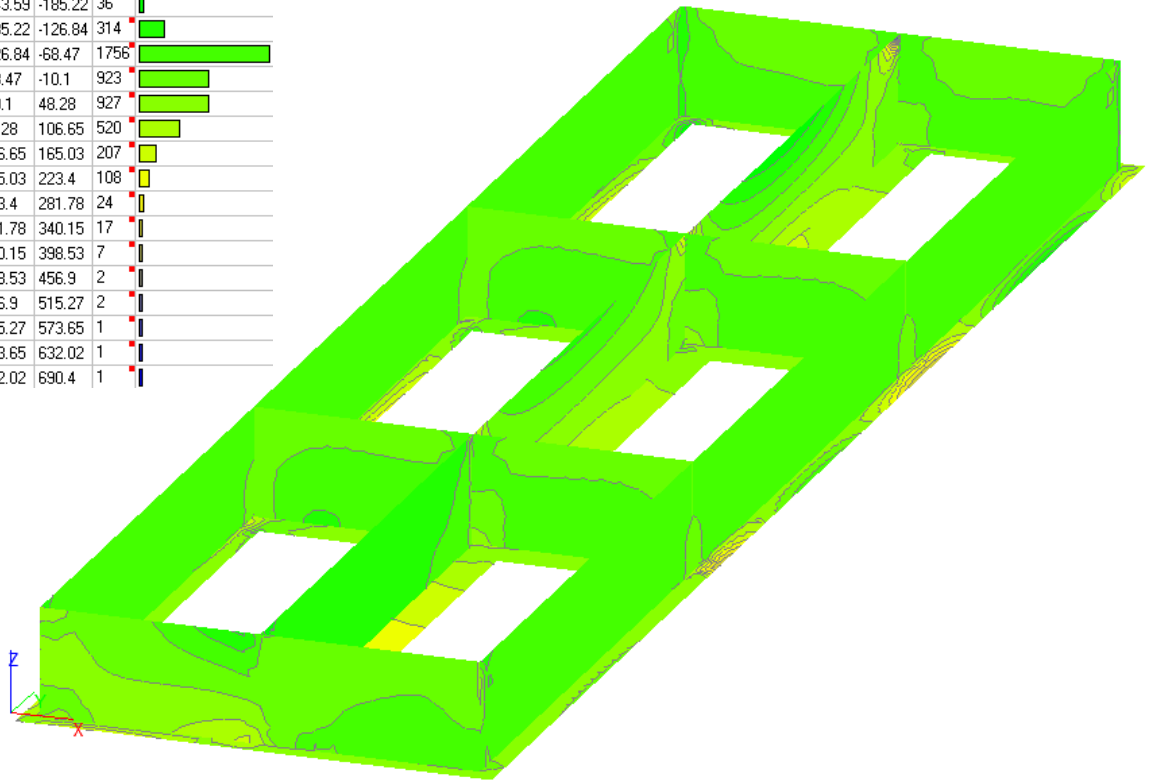


Рисунок В.5 – Поздовжня сила  $N_x$  по вісі Х за першим поєднанням зусиль:  
 а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

а)

		$N_y$		
		$T/m^2$	$T/m^2$	
✓	█	-243.59	-185.22	36
✓	█	-185.22	-126.84	314
✓	█	-126.84	-68.47	1756
✓	█	-68.47	-10.1	923
✓	█	-10.1	48.28	927
✓	█	48.28	106.65	520
✓	█	106.65	165.03	207
✓	█	165.03	223.4	108
✓	█	223.4	281.78	24
✓	█	281.78	340.15	17
✓	█	340.15	398.53	7
✓	█	398.53	456.9	2
✓	█	456.9	515.27	2
✓	█	515.27	573.65	1
✓	█	573.65	632.02	1
✓	█	632.02	690.4	1



б)

		$N_y$		
		$T/m^2$	$T/m^2$	
✓	█	-697.8	-587.56	2
✓	█	-587.56	-477.32	2
✓	█	-477.32	-367.08	5
✓	█	-367.08	-256.84	56
✓	█	-256.84	-146.6	487
✓	█	-146.6	-36.36	2143
✓	█	-36.36	73.88	1379
✓	█	73.88	184.13	406
✓	█	184.13	294.37	98
✓	█	294.37	404.61	24
✓	█	404.61	514.85	3
✓	█	514.85	625.09	2
✓	█	625.09	735.33	2
✓	█	735.33	845.57	2
✓	█	845.57	955.81	1
✓	█	955.81	1066.05	1

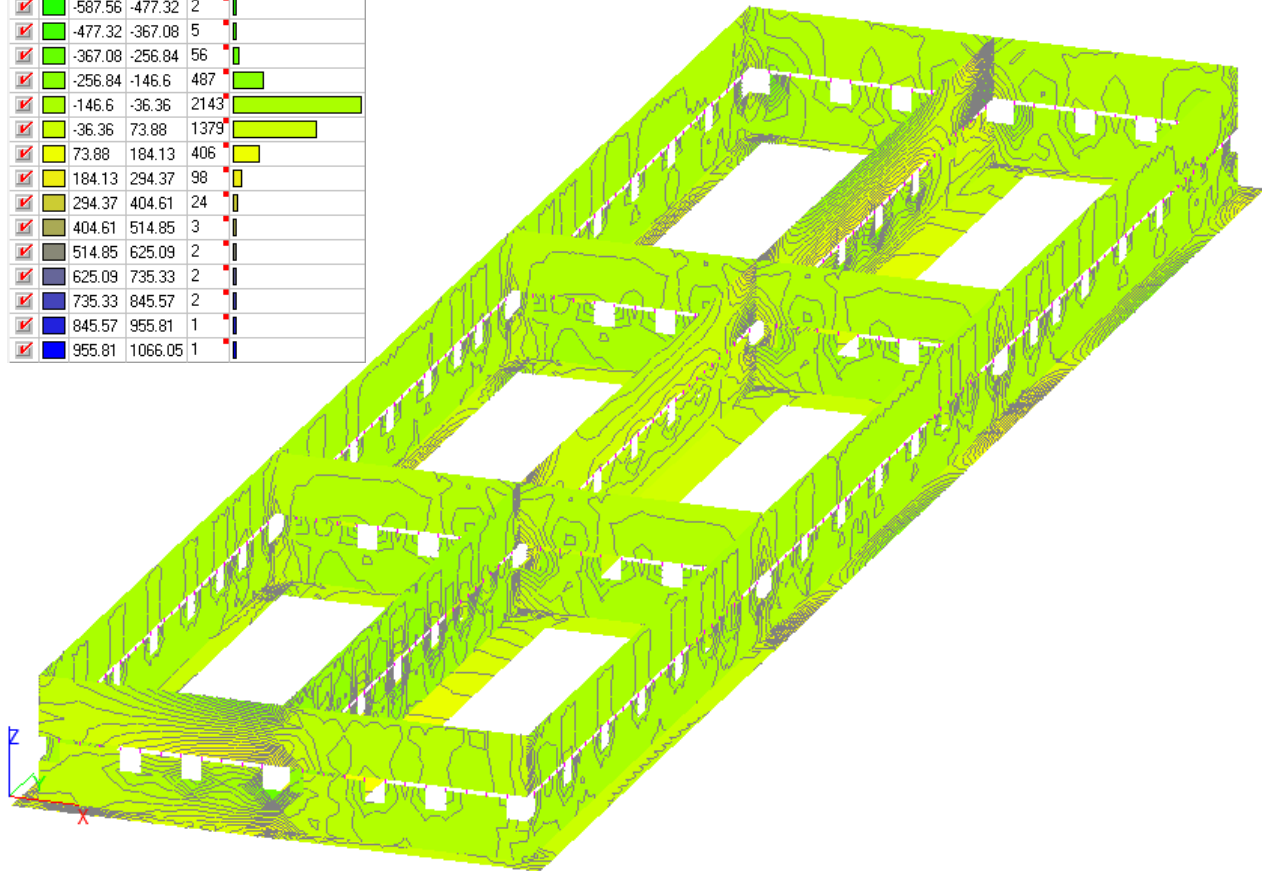
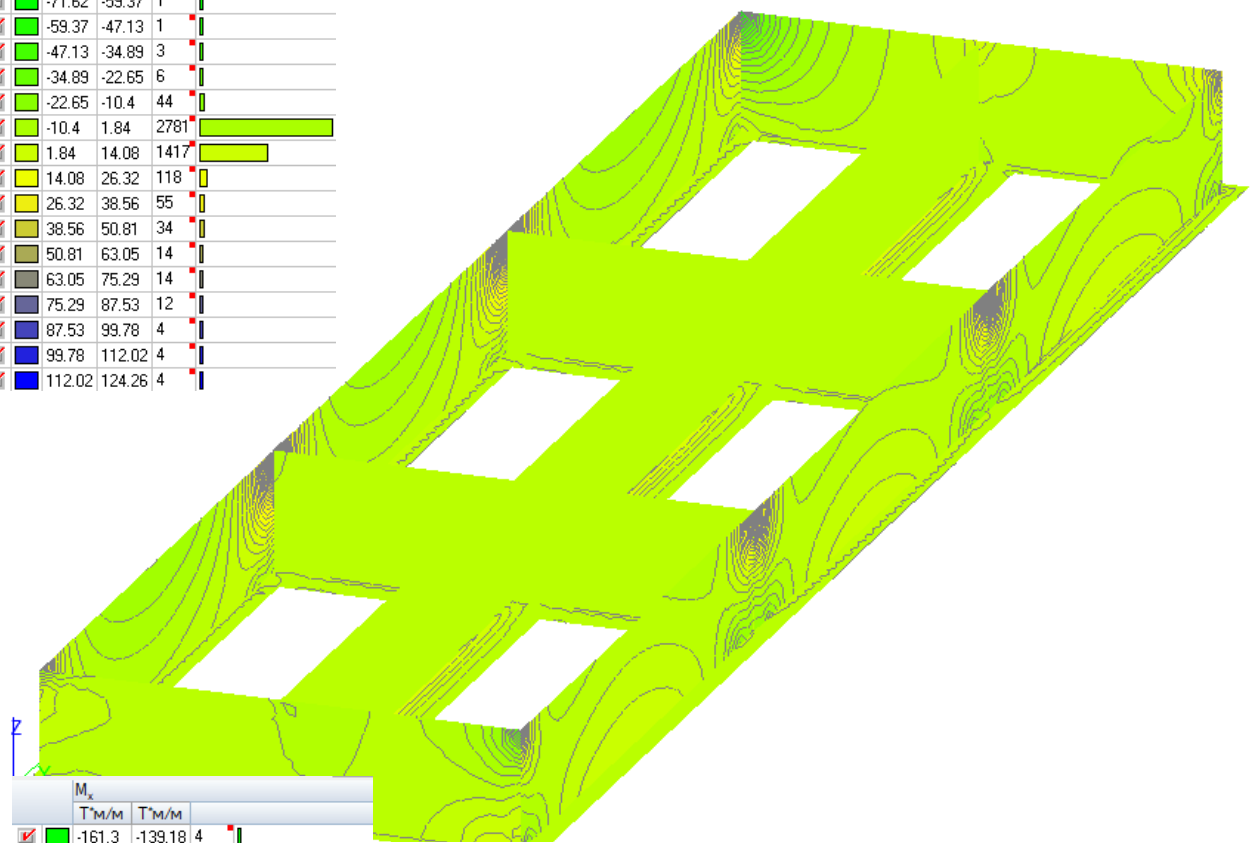


Рисунок. В.6 – Поздовжня сила  $N_y$  по вісі  $Y$  за другим поєднанням зусиль:  
 а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

a)

$M_x$			
$T/m/m$	$T/m/m$		
-71.62	-59.37	1	
-59.37	-47.13	1	
-47.13	-34.89	3	
-34.89	-22.65	6	
-22.65	-10.4	44	
-10.4	1.84	2781	
1.84	14.08	1417	
14.08	26.32	118	
26.32	38.56	55	
38.56	50.81	34	
50.81	63.05	14	
63.05	75.29	14	
75.29	87.53	12	
87.53	99.78	4	
99.78	112.02	4	
112.02	124.26	4	



б)

$M_x$			
$T/m/m$	$T/m/m$		
-161.3	-139.18	4	
-139.18	-117.06	8	
-117.06	-94.95	9	
-94.95	-72.83	11	
-72.83	-50.71	19	
-50.71	-28.6	24	
-28.6	-6.48	108	
-6.48	15.64	3184	
15.64	37.75	41	
37.75	59.87	23	
59.87	81.98	18	
81.98	104.1	11	
104.1	126.22	8	
126.22	148.33	8	
148.33	170.45	4	
170.45	192.57	4	

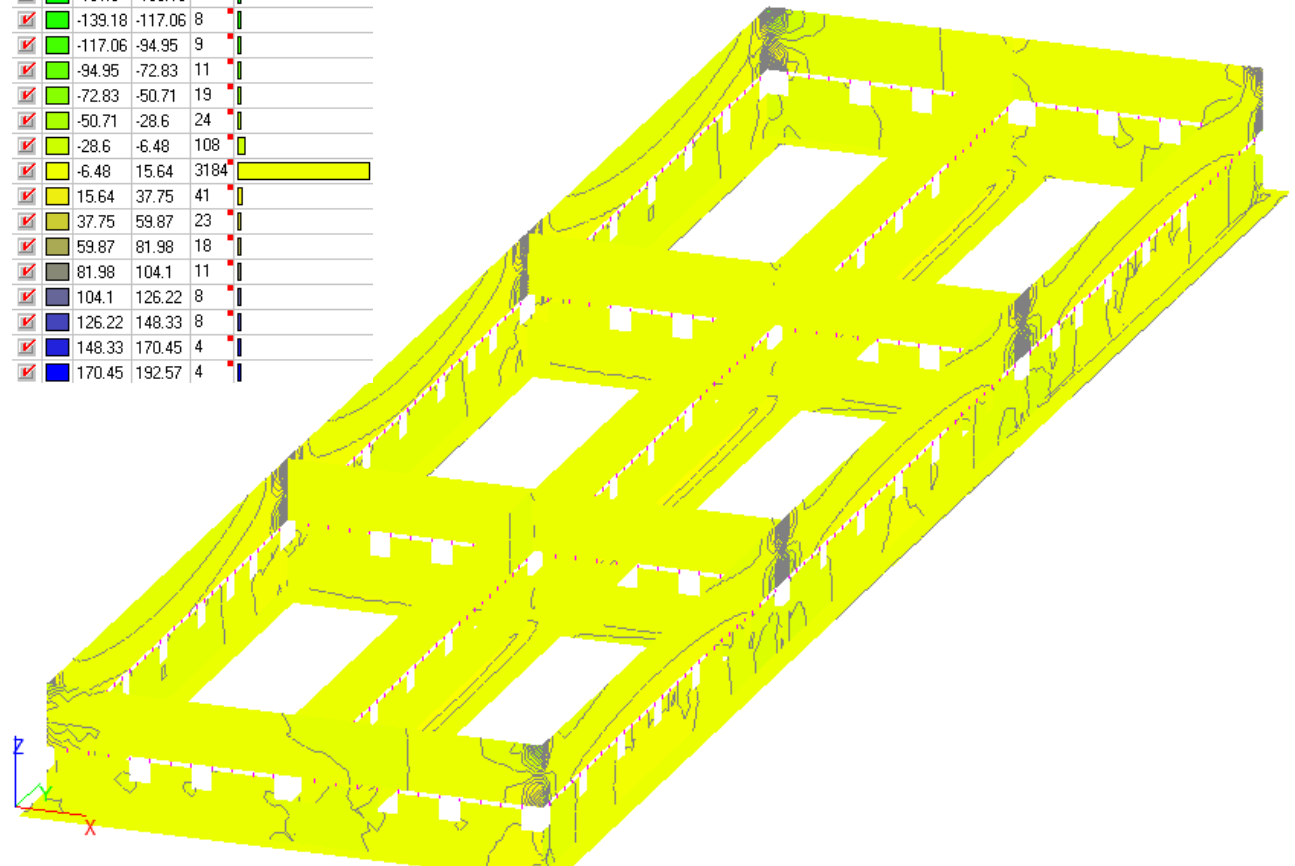
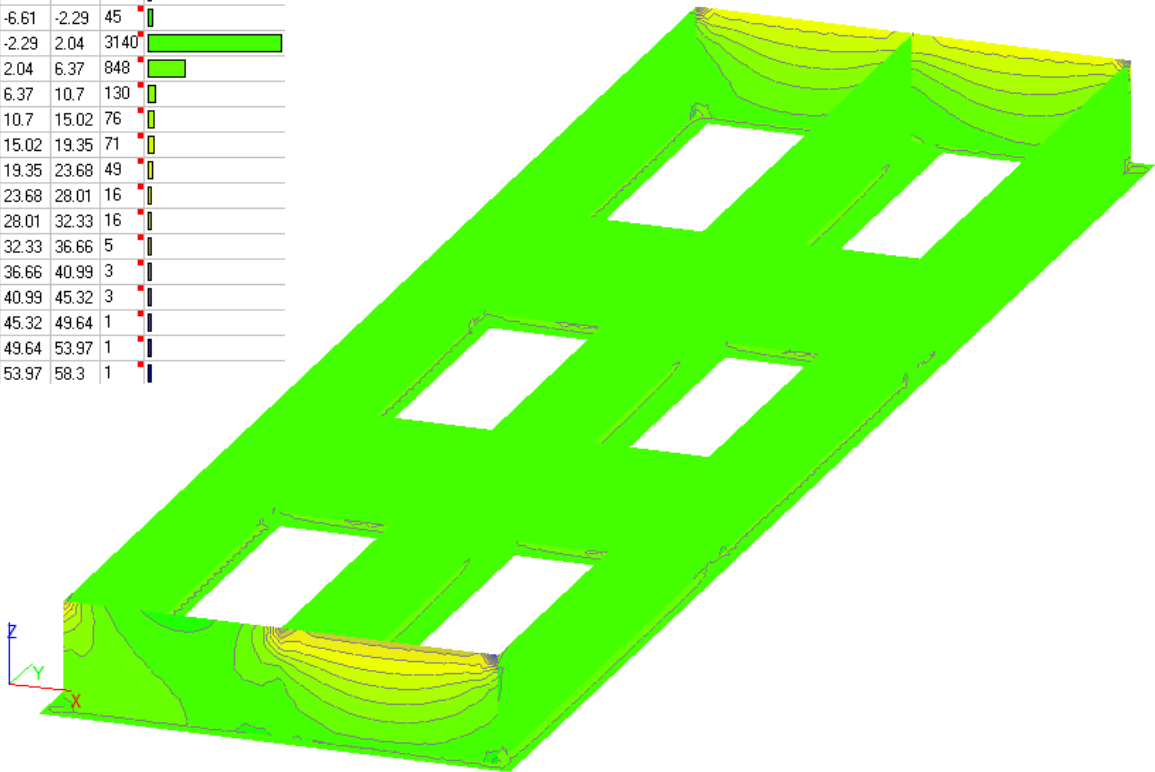


Рисунок В.7 – Згинальний момент  $M_x$  по вісі  $X_z$  за першим поєднанням зусиль:  
 а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.



a)

		$M_y$		
		$\Gamma^m/m$	$\Gamma^m/m$	
✓	■	-10.94	-6.61	4
✓	■	-6.61	-2.29	45
✓	■	-2.29	2.04	3140
✓	■	2.04	6.37	848
✓	■	6.37	10.7	130
✓	■	10.7	15.02	76
✓	■	15.02	19.35	71
✓	■	19.35	23.68	49
✓	■	23.68	28.01	16
✓	■	28.01	32.33	16
✓	■	32.33	36.66	5
✓	■	36.66	40.99	3
✓	■	40.99	45.32	3
✓	■	45.32	49.64	1
✓	■	49.64	53.97	1
✓	■	53.97	58.3	1



б)

		$M_y$		
		$\Gamma^m/m$	$\Gamma^m/m$	
✓	■	-28.17	-23.09	1
✓	■	-23.09	-18.01	1
✓	■	-18.01	-12.93	3
✓	■	-12.93	-7.84	15
✓	■	-7.84	-2.76	71
✓	■	-2.76	2.32	3119
✓	■	2.32	7.4	811
✓	■	7.4	12.48	66
✓	■	12.48	17.56	65
✓	■	17.56	22.64	49
✓	■	22.64	27.72	36
✓	■	27.72	32.8	16
✓	■	32.8	37.88	6
✓	■	37.88	42.97	6
✓	■	42.97	48.05	1
✓	■	48.05	53.13	1

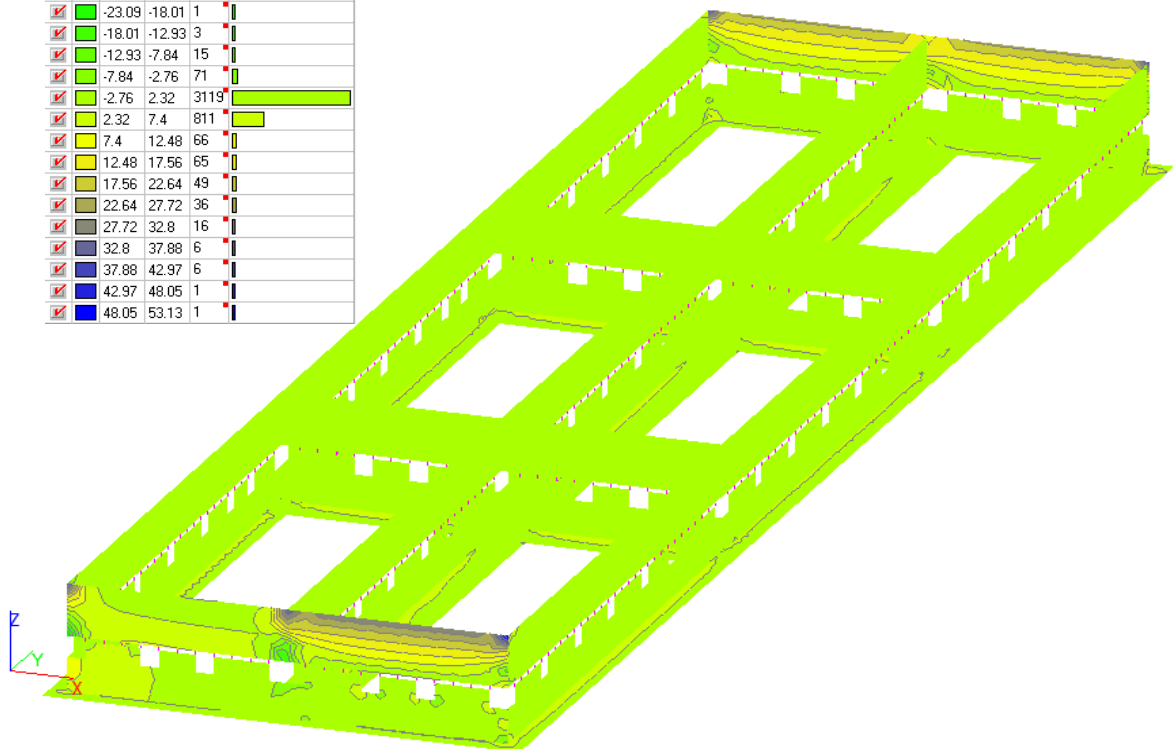


Рисунок В.8 – Згинальний момент  $M_y$  по вісі  $Y$  за другим поєднанням зусиль: а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

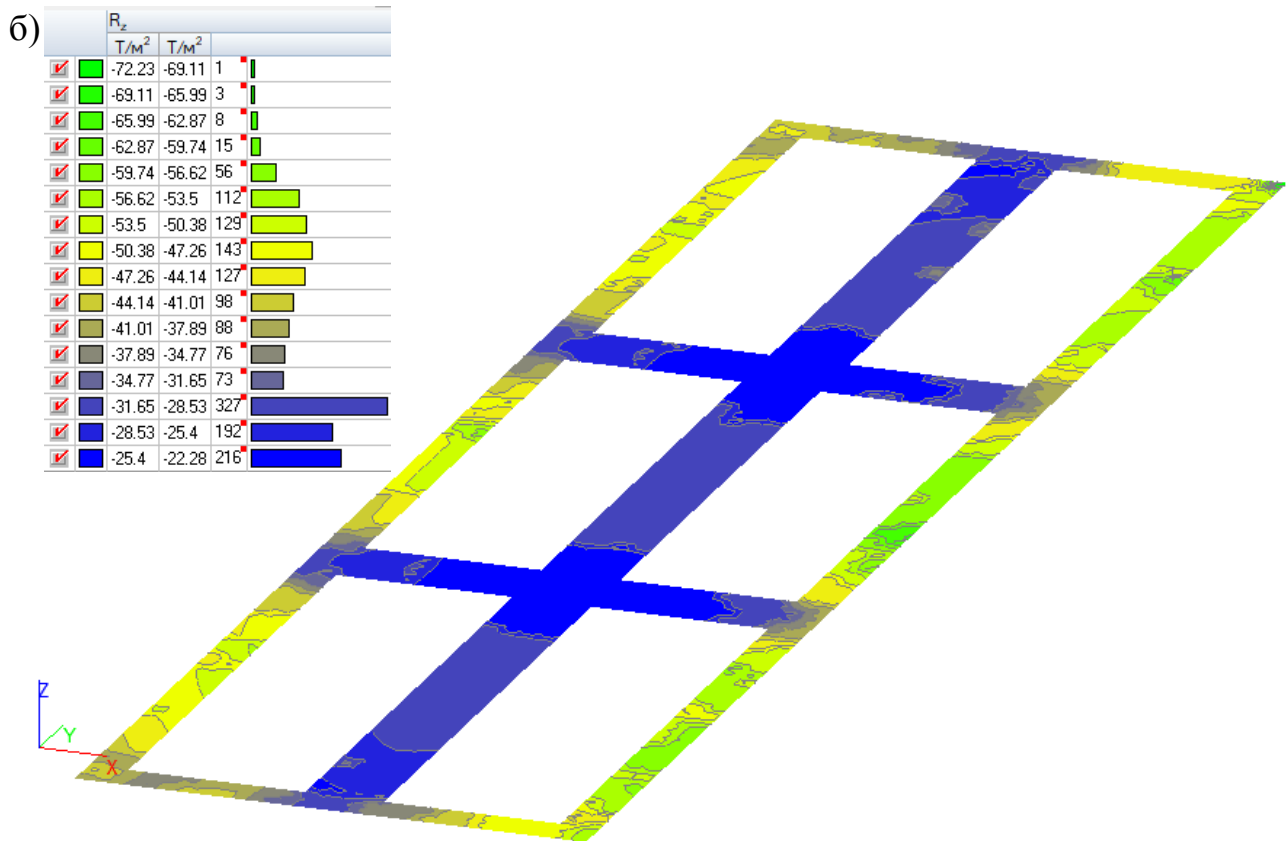
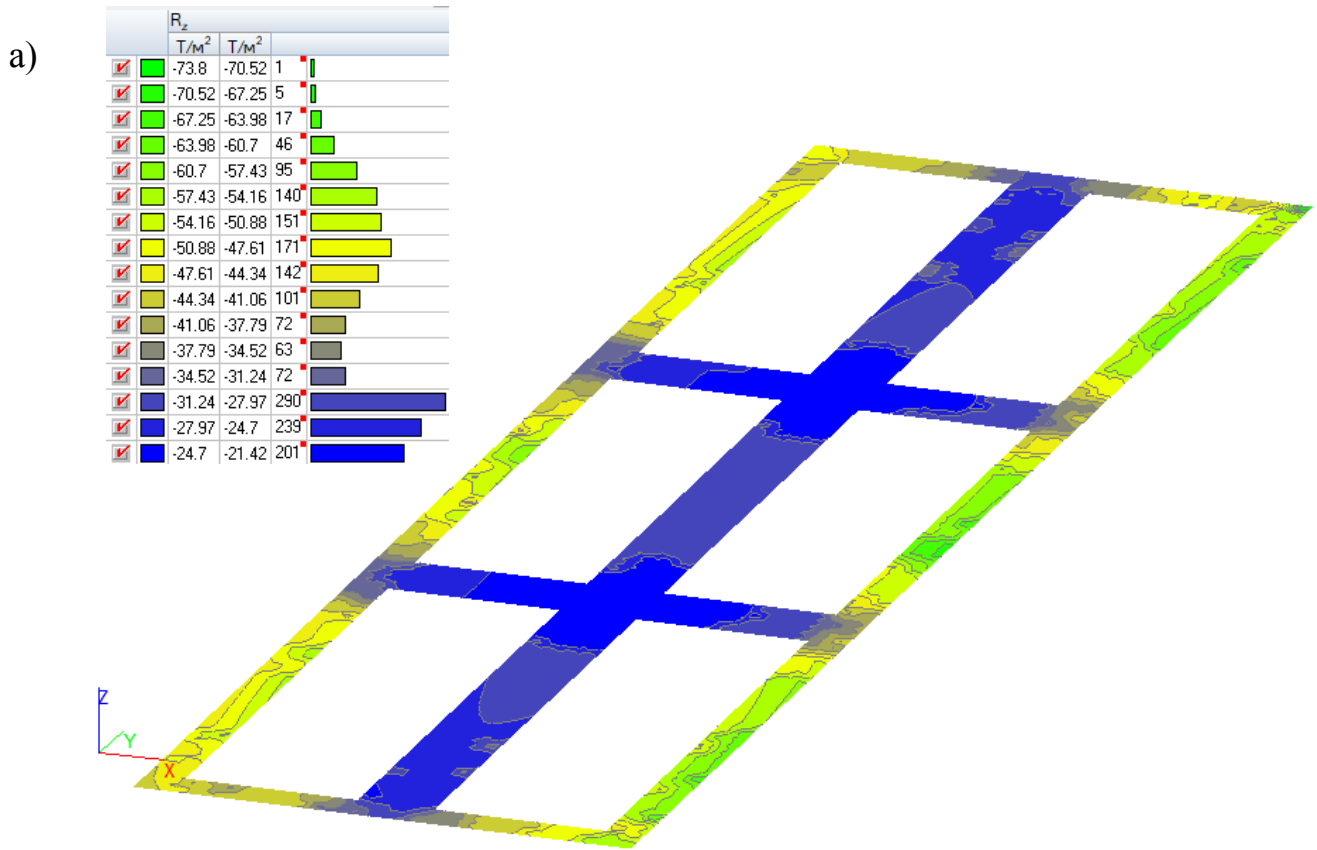


Рисунок В.9 – Тиск під підшовою фундаменту  $R_z$  по вісі Z за першим поєднанням зусиль: а – суцільний фундамент; б – з нішами та розривом по периметру.

## Додаток Г

Локальний кошторис на загально-будівельні роботи для суцільного стрічкового фундаменту та фундаменту виконаного за запропонованою технологією

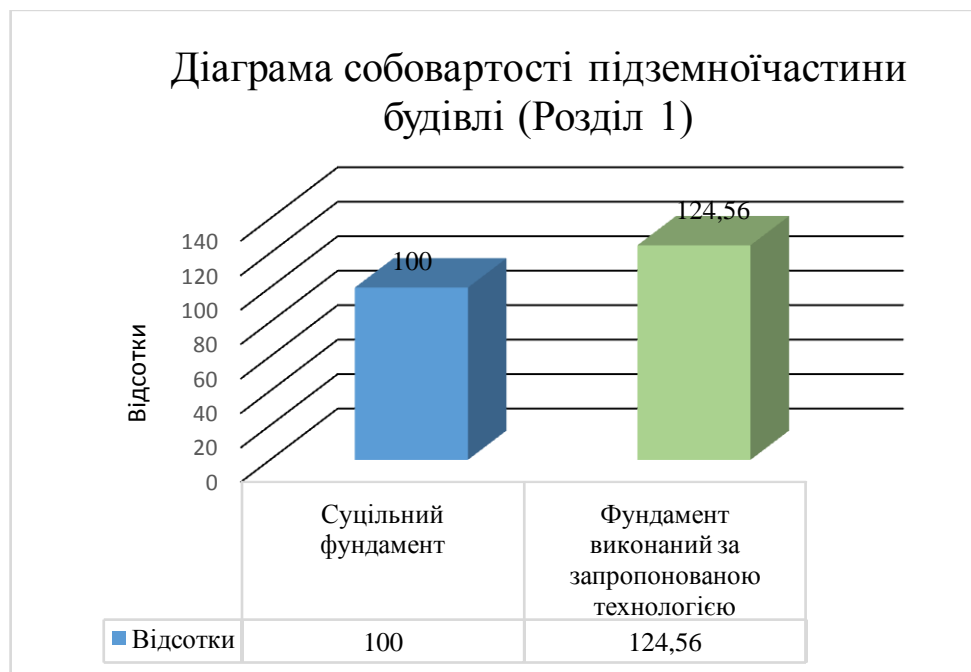


Рисунок Г.1 – Діаграма собівартості на виконання підземної частини будівлі.

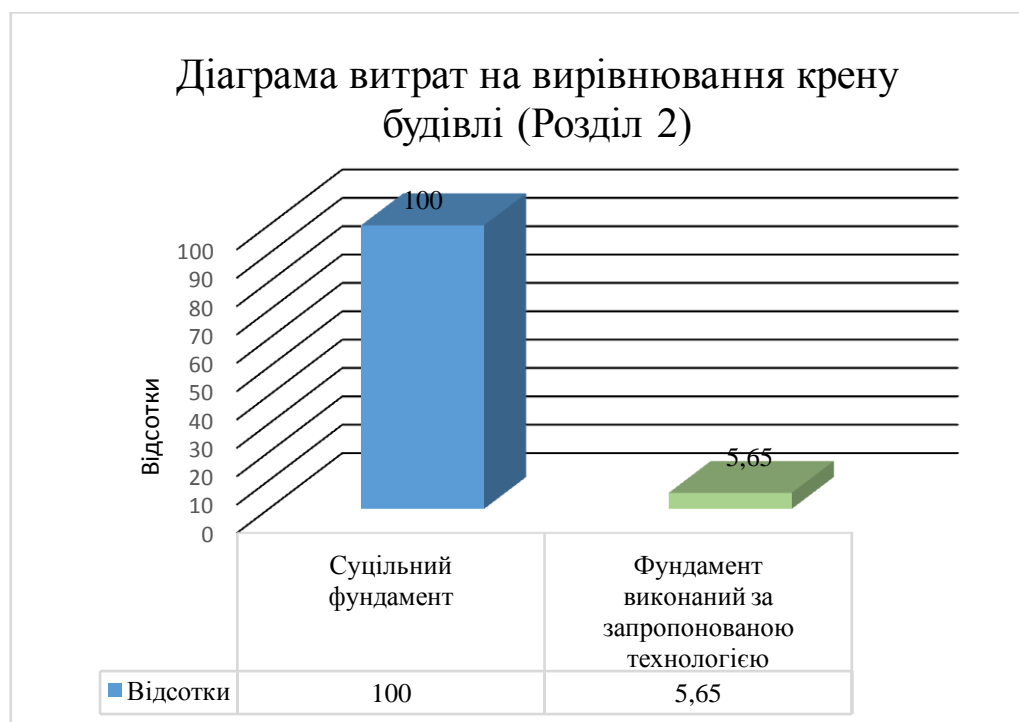


Рисунок Г.2 – Діаграма вартості вирівнювання крену будівлі.

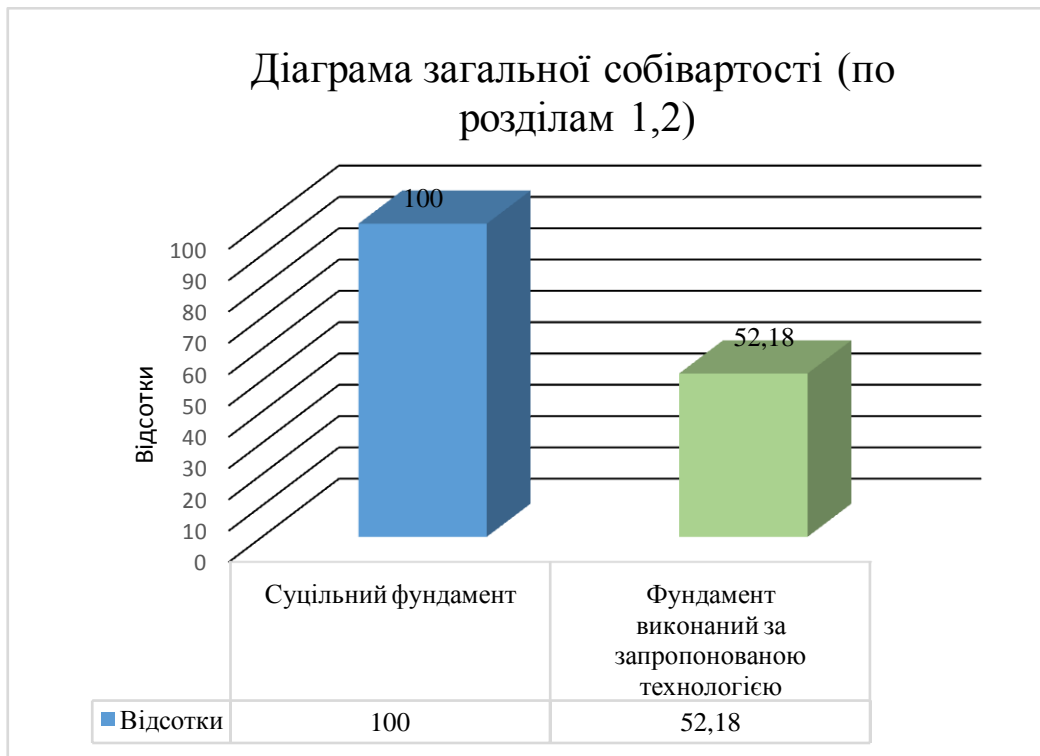


Рисунок Г.3 – Діаграма загальної собівартості (по розділам 1,2).

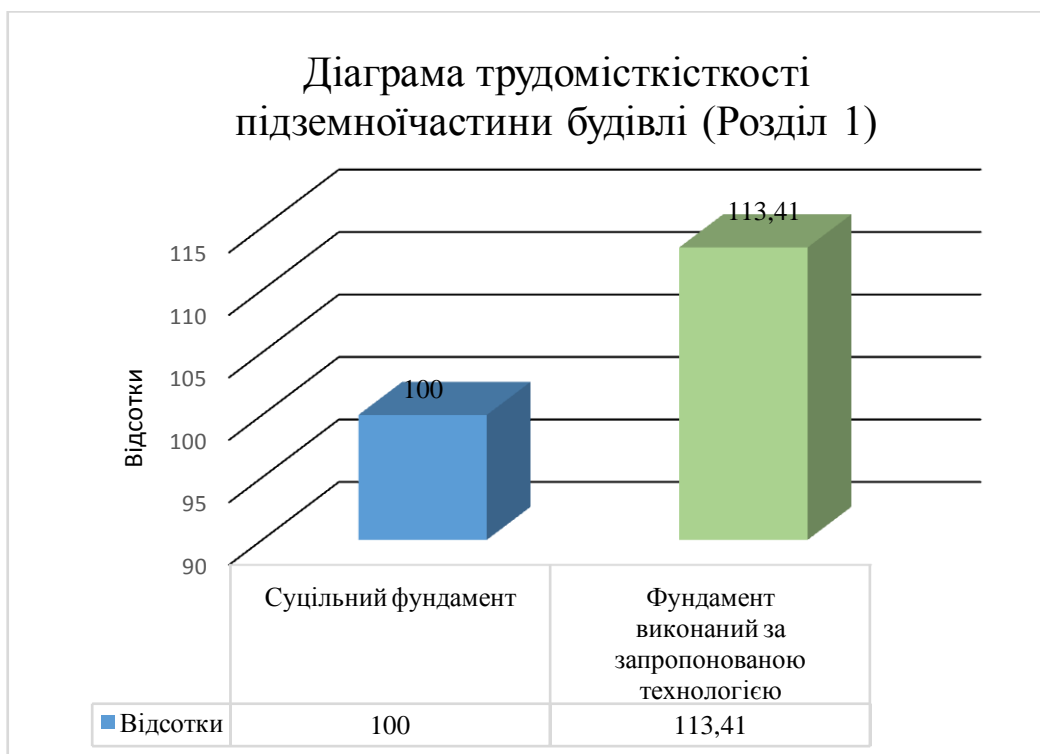


Рисунок Г.4 – Діаграма трудомісткості на виконання підземної частини будівлі.

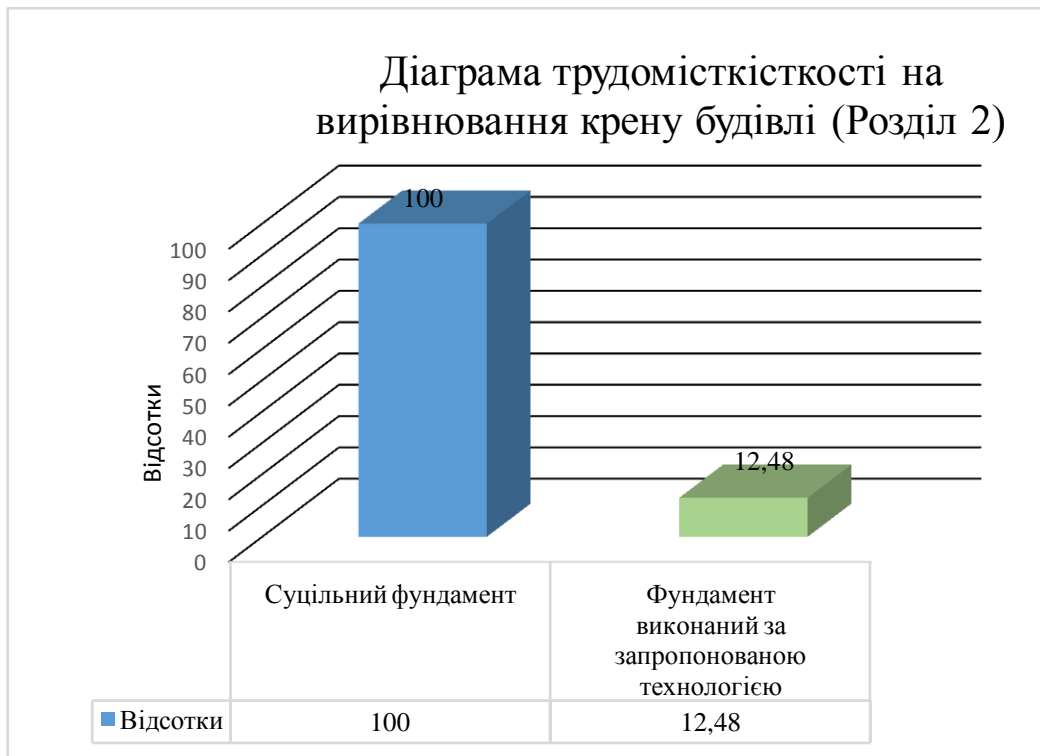


Рисунок Г.5 – Діаграма трудомісткості на вирівнювання крену будівлі.

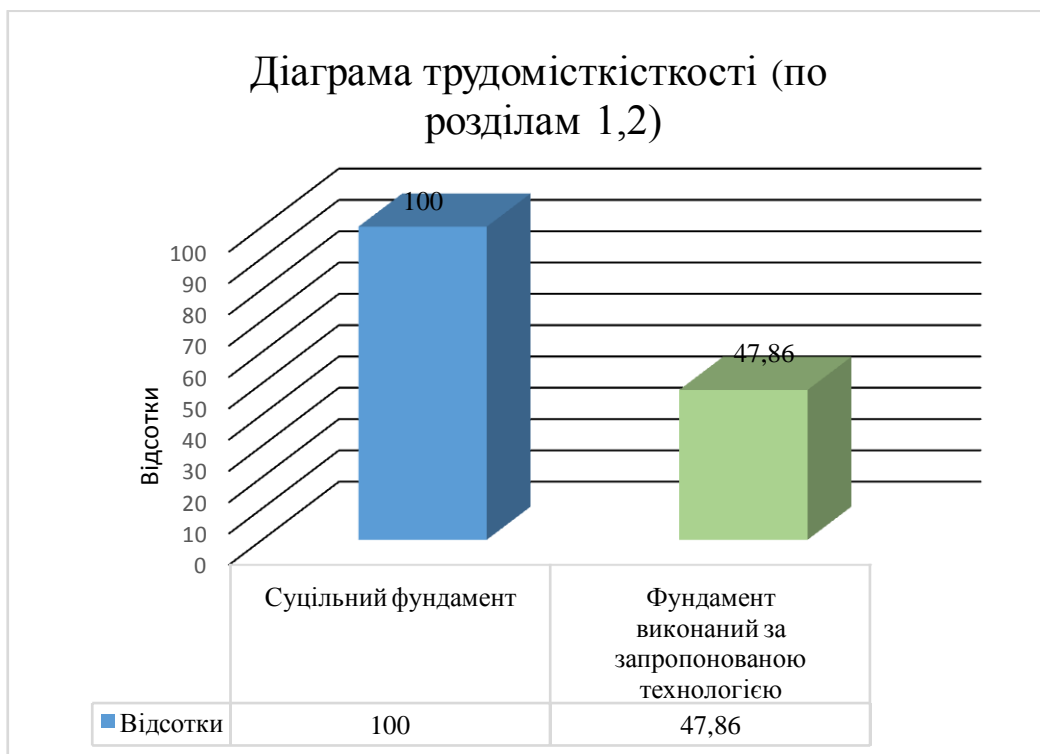


Рисунок Г.6 – Діаграма трудомісткості по розділам 1,2.