

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра Промислового та цивільного будівництва  
Рівень вищої освіти другий магістрський рівень  
(другий (магістерський) рівень)  
Спеціальність 192 "Будівництво та цивільна інженерія"  
(шифр і назва)  
Освітньо-професійна програма "Промислове і цивільне будівництво"  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ПЦБ  
проф. Арутюнян І.А.  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ /ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Череватюк Дмитро Дмитрович  
(прізвище, ім'я по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Підвищення ефективності дорожнього будівництва  
на основі технологічної ув'язки будівельних потоків

керівник роботи Міщук К.М., доц., к.т.н.  
(прізвище, ім'я по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затвержені наказом ЗНУ від " 25 " 05 2020 року № 598 - с

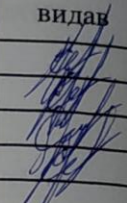
2. Строк подання студентом роботи 01 травня 2021 р.  
3. Вихідні дані до роботи загальні принципи організації дорожнього будівництва,  
основні техніко-експлуатаційні показники дорожнього оюягу, навчальна, нормативна  
та науково література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
вступ, аналіз проблем розвитку мережі автомобільних доріг в Україні,  
основні принципи моделювання, розрахунок неритмічних потоків з безперервним використанням  
ресурсів, оцінка її ефективності запропонованих методів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
вступ, основні питання дослідження, аналіз сучасних методів та моделей,  
розрахунок неритмічних потоків з безперервним використанням ресурсів

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Міщук К.М., к.т.н., доц.
Розділ 2	Міщук К.М., к.т.н., доц.
Розділ 3	Міщук К.М., к.т.н., доц.
Розділ 4	Міщук К.М., к.т.н., доц.

Підпис, дата	
завдання видав	завдання прийняв
	

7. Дата видачі завдання

02 вересня 2020 р.


## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.		КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	30.09.2020	
2.		МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ	21.10.2020	
3.		ПРИНЦИПИ ПОТОЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО-БУДІВНИЦТВА ТА ОСОБЛИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ПОТОКІВ	05.11.2020	
4.		ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УВ'ЯЗАННОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ПОТОКІВ	21.12.2020	
			25.01.2021	
5.		Оформлення та підготовка до захисту	25.02.2021	

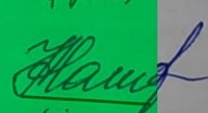
Студент

  
(підпис)

Керівник роботи/проекту

  
(підпис)

Нормоконтроль пройдено

  
(підпис)

Череватюк Д.Д.

(прізвище та ініціали)

Міщук К.М.

(прізвище та ініціали)

Данкевич Н.О.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Череватюк Д.Д. Підвищення ефективності дорожнього будівництва на основі технологічної ув'язки будівельних потоків

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти кваліфікаційного магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Міщук Інженерний навчально-науковий інститут, Запорізький національний університет, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2020.

Визначені основні принципи організації дорожньо-будівельних роіт. Проаналізовані та обґрунтовані основні **проблеми розвитку мережі автомобільних доріг в Україні**. Розглянуті основні теоретичні аспекти моделювання будівельних процесів та основні принципи поточної організації.

Проведено узагальнення та аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду проектування та здійснення потокової організації дорожнього будівництв. Розраховано і оптимізовано за критерієм часу застосовуючи алгоритм Афанасьєва-Джонсона неритмічний потік комплексно-механізованих будівельних робіт.

Ключові слова: Дорожньо-будівельні роботи, поточна організація робіт, неритмічний потік, оптимізація, оптимальне рішення.

Список публікацій магістранта:

1. Череватюк Д.Д. Підвищення ефективності дорожнього будівництва на основі технологічної ув'язки будівельних потоків. *Збірник матеріалів доп. участн. XXV наук.-техн. конф. аспірантів, магістрантів, студентів та викладачів ІННІ ЗНУ Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020. С 182*

## ABSTRACT

Cherevatyuk D.D. The efficiency improvement in road construction based on the technological connection of construction flows

Qualifying final work for obtaining a higher education degree of a qualifying master for specialty 192 - Construction and civil engineering, scientific adviser K.N. Mishuk Engineering Research Institute, Zaporozhye National University, Department of Industrial and Civil Engineering, 2020.

The basic principles of the organization of road construction work have been determined. The main problems of the development of the road network in Ukraine are analyzed and substantiated. The main theoretical aspects of modeling construction processes and the basic principles of flow organization are considered. The generalization and analysis of domestic and foreign experience in the design and implementation of the flow organization of road construction is carried out. Calculated and optimized by the criterion of time using the Afanasyev-Johnson algorithm, an irregular flow of complex mechanized construction works.

Keywords: Road construction work, current organization of work, irregular flow, optimization, optimal solution.

### List of postgraduate publications

1. Череватюк Д.Д. Підвищення ефективності дорожнього будівництва на основі технологічної ув'язки будівельних потоків. *Збірник матеріалів доп. участн. XXV наук.-техн. конф. аспірантів, магістрантів, студентів та викладачів ІННІ ЗНУ Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020. С 182*

## АНОТАЦИЯ

Череватюк Д.Д. Повышение эффективности дорожного строительства на основе технологической увязки строительных потоков.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования квалификационного магистра за специальностью 192 - Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель К.Н. Мишук Инженерный учебно-научный институт, Запорожский национальный университет, кафедра промышленного и гражданского строительства, 2020.

Определены основные принципы организации дорожно-строительных работ. Проанализированы и обоснованы основные проблемы развития сети автомобильных дорог в Украине. Рассмотрены основные теоретические аспекты моделирования строительных процессов и основные принципы поточной организации.

Проведено обобщение и анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования и осуществления поточной организации дорожного строительства. Рассчитано и оптимизирован по критерию времени применяя алгоритм Афанасьева-Джонсона неритмичный поток комплексно-механизированных строительных работ.

Ключевые слова: Дорожно-строительные работы, текущая организация работ, неритмичный поток, оптимизация, оптимальное решение. Список публикаций магистранта:

1. Череватюк Д.Д. Підвищення ефективності дорожнього будівництва на основі технологічної ув'язки будівельних потоків. *Збірник матеріалів доп. участн. XXV наук.-техн. конф. аспірантів, магістрантів, студентів та викладачів ІННІ ЗНУ Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020. С 182*

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	7
<b>1 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Класифікація та основні елементи автомобільних доріг...</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Загальні принципи організації дорожньо-будівельних робіт....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Загальні принципи технології будівництва дорожнього одягу.....</b>	<b>25</b>
1.3.1 Конструкція дорожніх одягів.....	25
1.3.2 Техніко-експлуатаційні показники дорожнього одягу.....	28
<b>1.4 Проблеми розвитку мережі автомобільних доріг в Україні.....</b>	<b>30</b>
<b>2 МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ.....</b>	<b>40</b>
2.1 Сутність, етапи становлення та перспективи розвитку.....	40
2.2 Моделі організації будівельного виробництва.....	50
2.3 Методи організації дорожньо-будівельних робіт.....	54
<b>3 ПРИНЦИПИ ПОТОЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО- БУДІВНИЦТВА ТА ОСОБЛИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ПОТОКІВ.....</b>	<b>56</b>
3.1 Основні поняття та суть потокового будівництва.....	56
3.2 Класифікація будівельних потоків та методи організації потокового дорожнього будівництва.....	59
<b>4 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УВ'ЯЗКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПОТОКІВ.....</b>	<b>68</b>
4.1 Постановка завдання і початкові дані.....	68
4.2 Порядок виконання роботи.....	69
4.3 Формування і розрахунок неритмічних потоків з безперервним використанням ресурсів.....	70
4.4 Формування і розрахунок неритмічних потоків з критичними шляхами.....	81
ВИСНОВКИ.....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження:** Причини триваючого в країні кризи пов'язаною з будівництвом, ремонтом та реконструкції автомобільних доріг умовно можна розділити на дві групи - зовнішні та внутрішні. Перші обумовлені важкопрогнозованим розвитком економіки, соціальної і політичною нестабільністю. Другі - внутрішньою кризою самого будівельного виробництва. Однією з причин якого є низький рівень організації дорожнього будівництва і відповідно висока вартість робіт, завищена тривалість будівництва, ремонту та реконструкції об'єктів, низька продуктивність праці і низька якість робіт. Це, зокрема, підтверджується тією обставиною, що незважаючи на недовантаження вітчизняних будівельних організації тендери на будівництво об'єктів часто виграють закордонні будівельні організації, які як правило будують швидше і з більш високою якістю.

Основним засобом індустріалізації будівельного виробництва виступає його комплексна механізація, основними завданнями якої є підвищення продуктивності праці і технологічного рівня будівельного виробництва, звільнення людини від виконання важких, трудомістких і утомливих операцій, зниження собівартості і поліпшення якості будівельної продукції.

На організацію дорожніх будівельних робіт впливають кліматичні умови району будівництва, розтягнутості будівельного майданчика в одному напрямі, часті зміни місць робіт спеціалізованих будівельних підрозділів, а також нерівномірний у ряді випадків розподіл об'ємів деяких видів робіт по довжині дороги, що будується.

Метод організації робіт визначає принципову спрямованість вирішення основних питань черговості виконання робіт, системи введення дороги в експлуатацію, розставляння, взаємодії і використання ресурсів.

Вибір методу залежить від багатьох причин, з яких на перше місце слід поставити : загальний рівень розвитку дорожньої техніки і науки; наявність відповідної матеріально-технічної бази на цьому об'єкті будівництва; географічні особливості району будівництва; особливі умови, властиві тільки цьому об'єкту.

Одним із способів скорочення тривалості, вартості будівництва та підвищення продуктивності праці є суміщення в часі виконання різнотипних комплексів робіт (спеціалізованих потоків), які у в сукупності зіставляють єдиний будівельний процес. Таким чином, актуальність теми визначається необхідністю вдосконалення потокової організації будівництва об'єктів в умовах вимагають істотного підвищення технічних і економічних показників виробництва робіт. Ці обставини і визначили цілі і завдання дослідження.

**Мета роботи** – використання теорії і практики потокової організації дорожнього будівництва в області її оптимізації за критерієм досягнення мінімальної тривалості виконання робіт, підвищення якості продукції та продуктивності праці.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні завдання:**

1. Визначити основні принципи організації дорожньо-будівельних робіт та технології дорожнього одягу автомобільних доріг
2. Обґрунтувати основні проблеми розвитку мережі автомобільних доріг в Україні
3. Розглянути основні теоретичні аспекти моделювання будівельних процесів та основні принципи поточної організації.
4. Провести узагальнення та аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду проектування та здійснення потокової організації дорожнього будівництва;
5. Сформулювати та розрахувати неритмічний потік комплексно-механізованих будівельних робіт і оптимізувати його за критерієм часу застосовуючи алгоритм Афанасьєва-Джонсона.

**Об'єкт дослідження:** є виконанні дорожньо-будівельних робіт.



**Предмет дослідження:** є теоретичні і практичні аспекти моделей і методів підвищення ефективності дорожнього будівництва на основі технологічної ув'язки будівельних потоків.

**Наукова новизна:** використання методики оптимізації потокової організації дорожнього будівництва за рахунок зміни черговості освоєння фронтів робіт і вибір раціональної черговості освоєння часткових фронтів для неритмічного потоку з безперервним використанням ресурсів, що забезпечують досягнення оптимальної тривалості робіт.

**Практична цінність:** впровадження в практику дорожнього будівництва методів поточної організації, яка забезпечує підвищення обґрунтованості прийняття оптимальних рішень, та ефективності будівництва в цілому.

Основні положення роботи докладалися в 2020 році на науковій конференції XXV Науково-технічна конференція аспірантів, магістрантів, студентів та викладачів Інженерного навчально-наукового інституту ЗНУ, (Запоріжжя, 2020р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

**Структура і об'єм магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, виводів, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 90 сторінок тексту, у тому числі 16 рисунків, 11 таблиць. Список використаних джерел містить 26 найменувань

# 1 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

## 1.1 Класифікація та основні елементи автомобільних доріг

Транспорт є однією з найбільших базових галузей господарства, найважливішою складовою частиною виробничої та соціальної інфраструктури України. Транспортні комунікації об'єднують всі райони країни, що є необхідною умовою її територіальної цілісності, єдності її економічного простору. Вони пов'язують країну з світовою спільнотою, будучи матеріальною основою забезпечення зовнішньоекономічних зв'язків України її інтеграції в глобальну економічну систему.

Транспортна система забезпечує умови економічного зростання, підвищення конкурентоспроможності національної економіки і якості життя населення. Транспорт грає важливу роль в розвитку конкурентних переваг країни з точки зору реалізації її транзитного потенціалу. Доступ до безпечних і якісних транспортних послуг визначає ефективність роботи і розвитку виробництва, бізнесу і соціальної сфери.

Класифікація об'єктів транспортної інфраструктури може здійснюватися за різними ознаками, зокрема за доступністю транспортної інфраструктури для користувачів, виду власника, видам транспорту, виконуваної функції в транспортному процесі.

За доступності транспортної інфраструктури для користувачів вона може бути розділена на транспортну інфраструктуру загального і не загального користування. До об'єктів транспортної інфраструктури загального користування належать об'єкти, призначені для руху транспортних засобів необмеженого кола осіб. До об'єктів транспортної інфраструктури не загального користування належать об'єкти, що перебувають у власності, володінні або в користуванні виконавчих органів

державної влади, місцевих адміністрацій, фізичних або юридичних осіб і використовуються ними виключно для забезпечення власних потреб або для державних або муніципальних потреб.

Серед об'єктів транспортної інфраструктури не загального користування найбільшу частину складають відомчі об'єкти, що знаходяться на балансі підприємств і організацій та призначені для обслуговування їх виробничих, технологічних перевезень, під'їздів до виробничих об'єктів і об'єктів транспортної інфраструктури загального користування. Як правило, такі об'єкти транспортної інфраструктури розташовані на території промислового або іншого підприємства (організації), знаходяться на його балансі, обслуговуючи його виробничі, технологічні перевезення і під'їзди до нього, проектуються на основі технічних вимог даного підприємства (організації). Також до об'єктів транспортної інфраструктури не загального користування часто відноситься транспортна інфраструктура оборонних об'єктів [12, 16].

Залежно від власника об'єктів транспортної інфраструктури їх можна поділити на державні, регіональні (територіальні), муніципальні та приватні.

За видами транспорту об'єкти транспортної інфраструктури можуть поділятися на об'єкти інфраструктури наступних видів транспорту: залізничний, морський, внутрішній водний (річковий), автомобільний, повітряний, трубопровідний.

Об'єкти транспортної інфраструктури виконують різні функції в процесі виконання транспортної роботи і можуть бути розділені на шляхи сполучення, технологічні об'єкти, об'єкти коштів управління рухом, будівлі та споруди обслуговування учасників руху.

Об'єкти інфраструктури окремих видів транспорту додатково можуть класифікуватися за іншими ознаками. Технічна класифікація визначає необхідні технічні параметри об'єктів, вимоги до них. Функціональна, як правило, показує, які транспортні зв'язки забезпечують відповідні об'єкти.

Автомобільний транспорт займає все більш значуще місце в перевезеннях вантажів і пасажирів. Спостерігається постійне зростання обсягів і дальності автомобільних перевезень.

Основними техніко-економічними особливостями автомобільного транспорту є наступні[22].:

- висока рухливість (маневреність, що дозволяє швидко зосереджувати транспортні засоби в необхідній кількості, а при необхідності швидко перекидати їх в інше місце);

- здатність приймати вантажі і пасажирів безпосередньо на місці їх формування без проміжних вантажно-розвантажувальних операцій і пересадки пасажирів і доставляти їх до місця призначення "від дверей до дверей", а значить, і без додаткових витрат на ці операції;

- можливість обслуговування окремих і дрібних вантажообразуючих точок;

- досить високі швидкості.

Автомобілем до дороги висуваються такі вимоги:

- можливість безпечного руху автомобілів з розрахунковими швидкостями;

- забезпечення пропуску заданої перспективної інтенсивності руху;

- забезпечення пропуску автомобілів заданої вантажопідйомності без накопичення пластичних деформацій і руйнування дорожнього одягу в межах терміну служби покриття;

- комфорт руху для водіїв і пасажирів;

- дорога повинна гармонійно вписуватися в пейзаж, проглядатися по ходу руху, не маючи провалів, на відстань не менше відстані видимості автомобіля;

- навколишнє дорожня обстановка повинна нести оптимум інформації, не перевантажуючи свідомості водіїв, але й не даючи йому можливості впасти в загальмований стан.

Залежно від виду дозволеного використання вони поділяються на автомобільні дороги загального користування та автомобільні дороги не загального користування.

Автомобільні дороги загального користування призначені для руху транспортних засобів необмеженого кола осіб, тобто по ним можуть пересуватися всі учасники руху.

Автомобільні дороги не загального користування знаходяться у власності, у володінні або в користуванні виконавчих органів державної влади, місцевих адміністрацій (виконавчо-розпорядчих органів муніципальних утворень), фізичних або юридичних осіб і використовуються ними виключно для забезпечення власних потреб або для державних або муніципальних потреб.

Автомобільні шляхи загального користування в Україні - мережа доріг на території України, що об'єднує між собою населені пункти та окремі об'єкти та призначена для руху транспортних засобів, перевезення пасажирів та вантажів [12, 16,22].

Державна політика у сфері дорожнього господарства та здійснення державного управління автомобільними дорогами загального користування реалізується Державним агентством автомобільних доріг України (Укравтодор)[10].

Протяжність автомобільних державних доріг в Україні становить 169,5 тис. км. Мережа основних маршрутів поширена по всій країні і з'єднує всі великі міста України, а також надає транскордонні маршрути із сусідніми країнами, з них з твердим покриттям - 165,8 тис. км. За стан цих доріг відповідає Державне агентство автомобільних доріг України.[15]

Ще є 250 тис. км вулиць міст, за стан яких відповідають місцеві органи влади.[15,22] Також є відомчі і внутрішньогосподарські дороги.

Автомобільні дороги класифікують:

- за значенням;
- за покриттям;

- за категорією

За значенням:

- автомобільні дороги загального користування державного та місцевого значення;

- вулиці і дороги міст та інших населених пунктів;

- відомчі (технологічні) автомобільні дороги. До них належать внутрішньогосподарські технологічні дороги, що знаходяться у власності юридичних або фізичних осіб.

- автомобільні дороги на приватних територіях. До них належать автомобільні дороги, що розташовані на територіях, власниками яких є юридичні (недержавні) або фізичні особи.

За покриттям розрізняють:

з твердим покриттям - автомобільні дороги з одношаровим чи багатошаровим дорожнім покриттям, яке складається з різних видів ущільнених дорожніх сумішей або кам'яних матеріалів (щебінь, гравій, шлак), оброблених або не оброблених в'язучими речовинами.

Поділяються на:

- цементно-бетонні;
- асфальтобетонні;
- чорні шосе;
- білі щебеневі, гравійні шосе;
- бруківка.

Ґрунтові - дороги, проїзна частина яких поліпшена введенням каркасних добавок (гравію, шлаку та ін.). Це нижчий тип покриття, який потребує постійного вирівнювання для запобігання виникненню колій.

Наприклад: 81 % державних доріг мають асфальтобетонне покриття, 8,7 % - цементобетонне і 10,2 % - чорне. Місцеві автомобільні дороги в переважній більшості (45,1%) - це чорні шосе. Асфальтобетонними є 51,1% територіальних доріг і 23,8% районних. Сільські дороги на 42,4%

складаються з чорних шосе, на 26,6%- з білих щебених, гравійних, на 19,8% - з асфальтобетонних.

Залежно від пропускної здатності, кількості смуг руху, ширини смуг, ширини проїзної частини, ширини земляного полотна, ширини смуги відводу, поздовжнього похилу дороги та радіусу закруглень дороги, автомобільні дороги поділяють на 5 категорій [10].

Таблиця 1.1 – Класифікація за категоріями

Категорія	1a	1б	2	3	4	5
Розрахункова перспективна інтенсивність руху (в транспортних одиницях на добу)	>10000	>10000	>3000-10000	>1000-3000	>150-1000	<150
Розрахункова перспективна інтенсивність руху (в приведених до легкового автомобіля)	>14000	>14000	>5000-14000	>2500-5000	>300-2500	<300
Розрахункова швидкість руху, км/год	130	110	90	90	90	90
Кількість смуг (в обидві сторони), шт	4;6;8	4;6	2	2	2	1 (всього)
Ширина смуги руху, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3,0	4,5
Ширина роздільної смуги, м	6,0	3,0	-	-	-	-
Ширина укріпленої смуги на розділювальній смузі, м	0,75	0,50	-	-	-	-
Найменша ширина земляного полотна, м	28,5; 36,0; 43,5	28,5; 36,0	15	12	10	8
Найменший радіус кривої у плані, м	1000	700	450	450	450	450
Найбільший поздовжній похил, проміле	40	50	60	60	60	60

Найбільше доріг I категорії в Київській області - 401км. Після неї йдуть Житомирська - 232км, Донецька -230км, Дніпропетровська - 226км і Харківська - 166 км. Деякі області практично не мають доріг такої якості: Кіровоградська - 1км, Сумська - 4км, Закарпатська - 12км і Чернівецька - 13км. Пропускна здатність окремих автошляхів України дорівнює або перевищує ці стандарти. Зокрема дорога Київ-Бориспіль має пропускну

здатність понад 300тис. авт/добу та 4–5 смуг в обидва напрямки. У процентному відношенні в Україні дорогами першої категорії є 1% всіх автошляхів, другої - 8 %, третьої - 17 %, четвертої - 63% [5] та 11% п'ятої.

Автомобільні дороги загального користування поділяються на [4].:

- дороги державного значення (міжнародні, національні та регіональні дороги)
- дороги місцевого значення (територіальні, обласні та районні дороги)

Переліки доріг державного та місцевого значення, у тому числі їх ділянок, що суміщаються з вулицями міст та інших населених пунктів, затверджуються відповідно Кабінетом Міністрів України та Радою Міністрів Автономної Республіки Крим і обласними державними адміністраціями один раз на три роки.



Рисунок 1.1 - Мережа автомобільних доріг України державного значення

Автомобільні дороги загального користування перебувають у державній власності і не підлягають приватизації. Вони є складовою Єдиної транспортної системи України і задовольняють потреби суспільства в автомобільних пасажирських і вантажних перевезеннях.



Автомобільна дорога являє комплекс споруд, що включає власне автомобільну дорогу, транспортні розв'язки в одному та різних рівнях, автобусні зупинки, майданчики для відпочинку і стоянки автомобілів, кемпінги та станції технічного обслуговування автомобілів. У місцях перетину постійно або тимчасово діючих водотоків влаштовують водопропускні споруди: труби, мости, акведуки. У пересіченій і гірській місцевості влаштовують віадуки та тунелі.

Всі елементи дороги розміщують в межах смуги місцевості, яку називають смугою відведення. На поперечному профілі дороги (рис 1 2) можуть бути виділені певні елементи. Смугою поверхні дороги, в межах якої відбувається рух автомобілів, називають проїзною частиною.

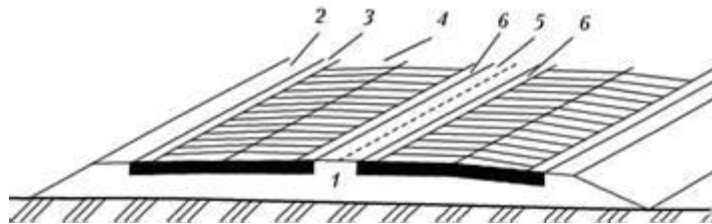


Рисунок 1.2.- Елементи поперечного профілю автомобільної дороги з двома проїзними частинами і розділовою смугою: 1- земляне полотно; 2 - узбіччя; 3 - крайова смуга; 4 - проїжджа частина; 5 - розділова смуга; 6 - укріплена смуга на розділовій смузі

Для забезпечення цілодобового руху автомобілів в межах проїзної частини влаштовують дорожній одяг з матеріалів підвищеної міцності.

Для згладжування рельєфу дорогу споруджують на земляному полотні - насипу або виїмки. Земляне полотно обмежують з обох сторін схилами. Лінії, що відокремлюють узбіччя від укосів, називають бровками земляного полотна. Відстані між бровками умовно називають шириною земляного полотна. Крутизну укосів характеризують коефіцієнтом закладення укосів, який визначається як відношення висоти укосу до його горизонтальної

проекції. Для забезпечення поверхневого водовідведення дороги, розташованої в невисокій насипу або виїмки, по обидва боки від дороги розташовують бічні канали (кювети). У комплекс дороги також входять різні перехоплюючі і водовідвідні споруди: нагірні і водовідвідні канали.

У більшості розвинених країн використовується кілька видів класифікації. Таких класифікацій, як правило, чотири: адміністративна, за видами власності, функціональна і технічна. Кожна з них вирішує певні завдання. Адміністративна і за видами власності застосовуються для позначення рівнів державної відповідальності, а також способу фінансування дорожніх об'єктів. Для цілей проектування доріг необхідні функціональна і технічна класифікації.

На відміну від зарубіжних у вітчизняних нормах проектування поняття функціональної класифікації доріг відсутній [6, 16].

Функціональна класифікація використовується перш за все для цілей транспортного планування. В основу функціональної класифікації покладено визначення ролі (функції), що виконується дорогою в процесі пересування по мережі. Виділяють чотири основні групи доріг: автомагістралі (freeway), магістральні (arterial), розподільні (collector) і місцеві (local) дороги. Такий підхід дозволяє створити ієрархічно побудовану дорожню мережу, в якій в залежності від виконуваної функції визначаються і клас, і технічні параметри дороги.

Функціональна класифікація доріг групує дороги по характеру наданого обслуговування транспортних зв'язків. Відповідно до функціональної класифікації стандарти і рівні обслуговування варіюються виходячи з функції доріг, а інтенсивність і склад руху служать для уточнення стандартів для кожного класу. Процес проектування при наявності функціональної класифікації будується за наступною схемою: визначається функція дороги і відповідний їй рівень обслуговування: потім для очікуваної інтенсивності руху та складу транспортного потоку вибирається найбільш раціональна категорія дороги, економічно вигідна розрахункова швидкість і

геометричні параметри, що забезпечують заданий рівень обслуговування. При цьому вирішуються два завдання - формується структура дорожньої мережі та забезпечується необхідна транспортна зв'язок. Така схема планування розвитку мережі та проектування доріг прийнята в країнах ЄС, США, Канаді.

У країнах Західної Європи технічна класифікація є, але існує не сама по собі, а є частиною функціональної класифікації. Наприклад, у ФРН, Італії, Франції та сама категорія дороги може мати різні технічні параметри в залежності від її функції в національній дорожньої мережі.

## **1.2 Загальні принципи організації дорожньо-будівельних робіт**

Під терміном «організація робіт» розуміють комплекс заходів, що визначають чисельність і розставлення усіх необхідних трудових і матеріально-технічних ресурсів, їх взаємодію і порядок використання, а також систему управління ними впродовж усього періоду робіт. У організації дорожньо-будівельних робіт можна виділити два етапи. На першому етапі проектують організаційні заходи, на другому - практично реалізують прийняті рішення.

Проектування полягає в розробці аналітичних і графічних документів (розрахунків, схем, графіків), що визначають організацію усього будівництва або окремих робіт. Сукупність цих документів складає (залежно від призначення і деталізації рішень) проект організації будівництва і проект виробництва робіт. Перший проект складає проектна організація. У ній вирішують загальні принципові питання організації робіт. Другий - розробляє будівельна організація. У ній доповнюють, уточнюють і деталізують питання виробництва робіт, вирішені в першому проекті укрупнено[12, 13,22].

Практична реалізація рішень, прийнятих в проектах, забезпечується оперативним керівництвом роботами. Суть його полягає в усунення

перешкод, що виникають на шляху здійснення проектних організаційних рішень, в коригуванні цих рішень відповідно до умов, що змінюються, і у безперервному вдосконаленні усього будівельного процесу.

Будівництво є динамічним процесом, що протікає в умовах, що безперервно змінюються. Розроблені спочатку організаційні заходи в ході будівництва частенько коригують відповідно до обстановки, що реально складається. Основними завданнями організації робіт є: виконання усього будівництва і окремих видів робіт в задані терміни ; висока продуктивність колективної праці усієї будівельної організації ; найбільша економія коштів і ресурсів усіх видів ; висока якість робіт.

На організацію дорожніх будівельних робіт впливають кліматичні умови району будівництва, растянутість будівельного майданчика в одному напрямі, часті зміни місць робіт спеціалізованих будівельних підрозділів, а також нерівномірний у ряді випадків розподіл об'ємів деяких видів робіт по довжині дороги, що будується.

При проектуванні організації робіт треба заздалегідь враховувати кліматичні особливості району будівництва : тривалість періодів з негативними і низькими плюсовими температурами (нижче +10 С), глибину і терміни промерзання і відтавання ґрунту, інтенсивність опадів і розподіл їх по календарних періодах, тривалість світлового дня і тому подібне. Для наочності усі ці дані зазвичай зображують графічно на дорожно-кліматичному графіку. Деякі види робіт при негативній температурі нездійснимі.

Розтягнутість дорожнього будівництва на десятки і сотні кілометрів ускладнює організацію робіт, керівництво і контроль за їх виконанням, а також утрудняє маневрування виробничими ресурсами в ході будівельного процесу. Часта зміна місць робіт також ускладнює виробництво. Погіршуються умови підготовки робочих місць і організації ремонту дорожно-будівельних машин і механізмів. У транспортних роботах зміна місць використання матеріалів викликає зміни відстаней перевезень.

Непостійність місць роботи утрудняє організацію розміщення будівельників і погіршує їх побутові умови.

Нерівномірність розподілу об'ємів робіт по довжині дороги, що будується, призводить до зміни тривалості робіт на різних ділянках. Це утрудняє організацію потокового будівництва і порушує його ритмічність.

На будівництві автомобільних доріг великі об'єми робіт по заготівлі матеріалів, їх переробці в напівфабрикати і виготовленню різних виробів і елементів збірних конструкцій виконують дорожні виробничі підприємства (заводи, бази, кар'єри).

Для доріг з вдосконаленими типами покриттів трудомісткість робіт, що виконуються на виробничих підприємствах, нерідко досягає 20 - 30 % і більше від загальної трудомісткості будівництва.

У більшості випадків робота виробничих підприємств характеризується наступними позитивними особливостями: відносною постійністю робіт (більшість виробничих підприємств експлуатують без перебазування не менше 1 - 3 років); постійністю технології і малою різноманітністю складу робіт ; можливістю у багатьох випадках використати місцеві діючі джерела електроенергії, водопостачання і ремонту техніки і розміщення робітників ; меншою залежністю від погоди і клімату.

Враховуючи позитивні сторони організації робіт виробничих підприємств, доцільно там, де це допускають технологія і економічне міркування, переносити максимум операцій з дороги в цехи підприємств, зменшуючи цим трудомісткість будівельно-монтажних робіт на дорозі. Крім того, якість робіт на виробничому підприємстві, як правило, вище, ніж на дорозі [12, 22]..

Зазвичай найбільший організаційний, економічний і якісний ефекти у використанні виробничих підприємств отримують при переході від монолітних конструкцій до збірних на будівництві штучних споруд, житлових і промислових будівель і вдосконалених покриттів. У цих випадках

будівельний процес безпосередньо на об'єкті по суті перетворюється на монтажний.

Всі дорожні роботи за характером виробництва поділяються на заготівельні, транспортні та будівельно-монтажні.

Заготівельні роботи (близько 50% обсягу виконуваних робіт) – це роботи, які полягають у заготівлі та зберіганні мінеральних і в'язучих матеріалів, приготуванні з них суміші, заготівлі штучних виробів та збірних елементів.

Транспортні роботи (вимагають доставку матеріалів на заводи для переробки або на місце вкладання із залізничних станцій, проміжних складів, притрасових кар'єрів, заводів і баз для приготування органічних в'язучих, емульсій, асфальто- та цементобетонних сумішей, збірних залізобетонних виробів. Транспортні витрати складають 15-20% від заготовітельного обсягу робіт і залежать від розташування залізничних станцій постачання та кар'єрів.

Будівельно-монтажні роботи: спорудження земляного полотна, штучних споруд, технічних будівель, тимчасових споруд, основ і покриттів дорожніх одягів, облаштування дороги.

Будівельно-монтажні роботи поділяють:

- за часом виконання - підготовчі й основні роботи.
- за рівномірністю розподілу – лінійні й зосереджені роботи.

Лінійні роботи більш-менш рівномірно розподілені вздовж ділянки дороги й повторюються на кожному кілометрі з невеликими відхиленнями від середніх значень.

До лінійних робіт відносять:

- зведення земляного полотна у невеликих виїмках і насипах;
- влаштування дорожніх основ і покриттів,
- будівництво водоперепускних труб і малих мостів;
- встановлення дорожніх знаків і огороження.

Найбільш об'ємними лінійними роботами, які більш-менш рівномірно (з невеликими відхиленнями від середніх значень) розподілені вздовж дороги, є зведення земляного полотна та влаштування дорожніх основ і покриттів. Інші роботи (влаштування труб чи малих мостів, встановлення огорож та дорожніх знаків) – періодично повторюються. Лінійні роботи складають 80-90% загальної вартості будівництва.

Зосереджені роботи виконуються на окремих ділянках дороги; за складністю виконання, трудомісткістю й обсягами вони різко відрізняються від робіт на суміжних ділянках.

До зосереджених робіт відносять:

- спорудження високих насипів і глибоких виїмок;
- великі об'єми робіт у скельних ґрунтах;
- спорудження середніх і великих мостів.

Зосереджені роботи бажано закінчувати до початку лінійних робіт.

В процесі будівництва доріг усі види робіт - будівельно-монтажні, заготівельні і транспортні - мають бути ретельно пов'язані між собою по об'ємах і часі виконання. Причому заготівельні і транспортні роботи необхідно організувати так, щоб забезпечити найкращі умови для своєчасного виконання будівельно-монтажних робіт. Календарні плани і графіки заготівельних і транспортних робіт повинні передбачати точну відповідність (чи деяке випередження) об'ємів заготівель і перевезень усіх матеріалів, напівфабрикатів і готових виробів об'ємам їх використання в межах кожної зміни і на триваліші періоди (місяці, квартали).

При будівництві автомобільних доріг застосовують два методи організації робіт: поточний та розосереджений (паралельний). Основним методом будівництва автомобільних доріг є поточний метод.

Поточний метод організації робіт передбачає виконання всіх основних робіт пересувними спеціалізованими будівельними підрозділами, Вони рухаються по дорозі, яка будується, з однаковою швидкістю та в певній технологічній послідовності, після яких залишається повністю закінчена

дорога. При поточному методі елементи дороги будуються безперервно й рівномірно з відповідним використанням матеріальних і трудових ресурсів.

Спеціалізовані загони розділені між собою по довжині дороги й працюють на ділянках певної довжини – захватках, де виконуються одна чи декілька технологічних операцій.

Розрізняють потоки: окремі, спеціалізовані, об'єктні та комплексні. [8, 18,21].

Окремий потік вміщує цикл технологічних операцій, які послідовно виконуються на захватці ланкою робочих за допомогою однотипних машин (транспортування, розрівнювання та ущільнення матеріалів тощо).

Спеціалізований потік – сукупність технологічно пов'язаних окремих потоків, що поєднуються у вигляді закінченого конструктивного елемента дороги (земляне полотно, шари основи чи покриття).

Об'єктний потік - сукупність технологічно пов'язаних спеціалізованих потоків, що поєднуються у вигляді закінченого об'єкту (міст, будівля, дорога).

Комплексний потік – група організаційно пов'язаних об'єктних потоків, по завершенню яких закінчується будівництво всього комплексу інженерних споруд, що входять до складу даної дороги.

При поточному методі краще використовуються дорожньо-будівельні машини, поліпшується контроль і керівництво роботою, підвищується якість роботи і продуктивність праці, скорочуються строки будівництва.

Швидкість (темп) потоку – обсяг робіт, що виконується протягом одиниці часу (час, зміна, доба, місяць, рік).

Розосереджений метод організації праці полягає в тому, що роботи виконуються одночасно на широкому фронті. Дорога, що будується, розбивається на окремі ділянки, на кожній з яких всі роботи виконуються незалежно робіт на суміжних ділянках.

При розосередженому методі нерівномірно використовується дорожньо-будівельна техніка, потрібно більше машин і механізмів, важче здійснювати



контроль і керівництво роботами, збільшується тривалість будівництва, закінчені ділянки не можуть експлуатуватись через відсутність проїду між ними.

Розосереджений метод може знайти застосування при будівництві ділянок доріг IV і V категорій за нескладної конструкції дорожнього одягу, при короткочасному масовому залученні на дорожні роботи дорожніх машин, транспортних засобів і робочих.

### **1.3 Загальні принципи технології будівництва дорожнього одягу**

#### **1.3.1 Конструкція дорожніх одягів**

Дорожній одяг – основний елемент дорожньої конструкції, який складається з покриття й основи.

Покриття - одно або багат шарова верхня частина дорожнього одягу, яка безпосередньо сприймає навантаження від транспортних засобів і призначена для забезпечення заданих транспортно-експлуатаційних показників та захисту дорожньої основи й земляного полотна (частково) від впливу атмосферних опадів.

Основа - нижній несучий шар чи декілька шарів дорожнього одягу, який сприймає навантаження від транспортних засобів разом із покриттям і призначений для його перерозподілу на додаткові шари або безпосередньо на ґрунт земляного полотна. Основа надає покриттю й всьому дорожньому одягу достатньої міцності, не допускає небезпечних пружних та залишкових деформацій.

На ділянках з несприятливими погодно-кліматичними та ґрунтово-гідрологічними умовами влаштовують додаткові шари основи між самою основою та підстильним шаром ґрунту. Вони призначені для компенсації дії природно-кліматичних факторів на конструкції дорожнього одягу. За функціональним призначенням вони бувають: підстиляючі, вирівнюючі,

дренуючі, теплоізолюючі, капілярперериваючі, морозозахисні, протизамулюючі. Вибір матеріалів для їх влаштування залежить від різновиду конструкції шару дорожнього одягу. Для будівництва цих шарів бажано використовувати місцеві матеріали.

Дорожні одяги поділяють за конструкцією на типи: капітальний, полегшений, перехідний та нижчий. Капітальні та полегшені типи дорожнього одягу мають удосконалене покриття, перехідні та нижчі – переважно будують з покриттям перехідних різновидів.

Мета технології будівництва дорожніх одягів – забезпечення потрібних експлуатаційних показників дорожнього одягу за мінімальних ресурсів і витримування заданих темпів будівництва[22]..

При проектуванні технології будівництва дорожнього одягу вирішуються такі задачі:

- вибір і обґрунтування таких технологічних параметрів, які забезпечують не тільки максимальне використання властивостей матеріалів для утворення міцних та довговічних шарів дорожнього одягу, але й мінімальний опір матеріалів при їх обробці;
- забезпечення потрібної якості робіт за їх мінімальної енергомісткості й вартості шляхом встановлення оптимальних параметрів робочого процесу та режимів роботи машин;
- впровадження комплексної механізації та автоматизації виробничого процесу;
- розроблення та обґрунтування методів контролю якості продукції, які забезпечують надійне та швидке визначення потрібних показників, обґрунтування допусків.

Задачею технології дорожнього будівництва також є забезпечення необхідної структури матеріалу та її регулювання в процесі оброблення матеріалу.

Основні технологічні процеси при будівництві дорожніх одягів:

- добування й перероблення матеріалів;

- приготування багатокomпонентних матеріалів, напівфабрикатів та виробів;
- транспортування матеріалу на місце укладання;
- укладання матеріалів у шари дорожніх одягів;
- ущільнення шарів дорожніх одягів.

Узагальнюючий принцип технології влаштування дорожнього одягу полягає у створенні його конструкції, яка відповідає транспортно-експлуатаційним вимогам у заданий термін будівництва з мінімальними витратами всіх ресурсів.

Способи влаштування дорожнього одягу поділяють за основними робочими операціями, що визначають структуру його шарів і транспортно-експлуатаційні властивості всієї дорожньої споруди. Поділ за такою класифікацією зумовлений використанням стаціонарних установок підприємств для будівництва дорожнього одягу або виконання робіт без них безпосередньо на місці будівництва. Обробка матеріалів на об'єкті будівництва (на місці) дорожньо-будівельними машинами дозволяє скоротити транспортні витрати та зменшити вартість будівництва. Однак при цьому погіршується якість будівництва, а терміни та ритм роботи здебільшого залежить від погодних умов.

Спосіб улаштування дорожнього одягу визначаються шляхом порівняння техніко-економічних та екологічних показників кожного варіанту з урахуванням особливостей прокладання даної ділянки дороги.

До основним принципів будівництва дорожнього одягу відносять:

- дотримання прийнятої технологічної послідовності будівництва конструкції дорожнього одягу;
- високу якість дорожньо-будівельних робіт відповідно до діючих норм;
- відповідність прийнятої технології виконання робіт місцевим умовам;
- забезпечення повної й комплексної механізації робіт;
- автоматизація окремих робочих операцій і технологічних процесів;

- максимальний рівень збірності (індустріалізації) будівництва;
- безумовне досягнення запланованих експлуатаційних якостей дороги;
- обмеження або усунення деструктивних процесів і забезпечення сприятливих умов структуроутворенню матеріалів конструкції;
- максимальну продуктивність праці та економію ресурсів;
- виконання робіт із ретельним дотриманням охорони праці та навколишнього середовища.

### **1.3.2 Техніко-експлуатаційні показники дорожнього одягу**

Одним з найбільш важливих показників якості дороги, зокрема під час її будівництва, є надійність. За надійність дорожнього одягу прийнято вважати ймовірність його безвідмовної роботи протягом установленого строку служби (періоду експлуатації) до капітального ремонту чи реконструкції.

На стадії будівництва дорожнього одягу надійність забезпечується:

- дотриманням технології робіт;
- додержанням норм і допусків;
- використанням автоматизованих систем керування машинами;
- виконанням у запланованому обсязі статистичного контролю якості будівельних робіт.

Строк служби дорожнього одягу – період часу, протягом якого відбувається зниження міцності й надійності дорожнього одягу до розрахункового рівня, гранично допустимого за умовами руху.

Кількісним показником надійності дорожнього одягу є відношення площі по смугах накату або довжини ділянок без пошкоджень і деформацій до загальної площі (довжини ділянки дороги) [12, 16,22].

Протилежним показником надійності є відмова – вихід дорожнього одягу чи його елементів з ладу. Розрізняють повну або часткову відмову.

Технологія будівництва дорожнього одягу повинна забезпечувати улаштування окремих шарів і одягу в цілому з потрібною міцністю й довговічністю при мінімальних витратах ресурсів.

Міцність шарів дорожнього одягу – здатність шарів дорожнього одягу взаємодіяти між собою та навантаженнями при заданих експлуатаційних показниках (деформації, напружень, зносу тощо).

Довговічність – період експлуатації дорожніх одягів, на протязі якого зберігається потрібна міцність.

Основним показником міцності дорожнього одягу є модуль пружності – деформативна характеристика, яка визначається навантаженням дорожнього одягу колесом з наступним розвантаженням за величиною пружних деформацій.

Також визначають граничний опір стиску, граничний опір розтягу та граничний опір зсуву дорожнього одягу.

Основні вимоги до елементів дорожнього одягу: шорсткість, рівність поверхні, міцність і морозостійкість всієї конструкції.

При будівництві дорожнього одягу дотримуються вимог нормативних документів щодо охорони навколишнього середовища, безпеки дорожнього руху; охорони праці, проектної документації, проекту організації будівництва (ПОВ) і проекту виконання робіт (ПВР).

Чинним законодавством виділено три екологічні класи дорожніх об'єктів за впливом на навколишнє середовище. До першого класу, екологічно небезпечних видів діяльності, відносять крупні об'єкти – автомобільні дороги I і II категорій кількістю смуг руху не менше чотирьох.

В другий клас зараховують об'єкти, що суттєво впливають на навколишнє середовище, а саме – дороги II і III категорій.

До третього класу відносять об'єкти, які мають незначний вплив на навколишнє середовище. Це дороги з розрахунковою інтенсивністю до 200 автомобілів на добу, а також споруди на них.

Серед заходів з охорони навколишнього середовища вирізняють

збережень родючого шару ґрунту, ґрунтових і поверхневих вод, захисту повітряного простору рослинного та тваринного світу. Будівельники систематично додержуються існуючих санітарних норм, слідкують за дотриманням норм граничних викиді забруднюючих речовин в атмосферу.

Улаштування дорожнього одягу ділянки автомобільної дороги доцільно здійснювати потоковим методом будівництва. Виконання окремих робіт на групі розосереджених об'єктів невеликої довжини покладають на організації спеціалізованих потоків, які послідовно переміщуються з одного об'єкта на інший, складі одного комплексного потоку.

Швидкість переміщення потоків, тривалість організаційних і технологічних перерв між виконанням окремих технологічних процесів розраховують на підставі нормативних вимог, техніко-економічних порівнянь варіантів будівництва та директивних термінів будівництва.

Після завершення будівництва всі земельні ділянки, які надані у тимчасове користування будівельному підприємству, нагальне рекультивують і повертають землекористувачам.

Розробка технології виконання робіт спонукає вирішення низки проблем, які мають організаційний напрямок. Вважають, що власне технологія відповідає на запитання, як і чим виконують робочі операції. Натомість організація робіт виявляється у відповідях на запитання, коли та кому виконувати технологічні операції. Однак такий поділ дещо умовний, тому доцільно взаємозв'язок технології та організації виражати одночасно вживанням цих назв або об'єднувати їх словом "будівництво" (будівельно-монтажні роботи).

#### **1.4 Проблеми розвитку мережі автомобільних доріг в Україні**

Жахливий нинішній стан українських автомобільних доріг, поза всяким сумнівом, став загальнонаціональною проблемою, яка регулярно висвітлюється вітчизняними ЗМІ. І це не дивно, оскільки протягом останніх

двох – трьох десятків років, а подекуди – й більше, витрати на ремонт і будівництво автомобільних шляхів в Україні не забезпечували відновлення їх належного стану. Утім, слід наголосити, що останніми роками уряд суттєво збільшив витрати на ремонт і будівництво автомобільних шляхів та взявся за наведення ладу в автодорожньому господарстві. Однак, враховуючи застарілість цієї проблеми і масштаби країни, стає очевидним, що розв'язання проблем, накопичених у цій сфері української економіки, вимагатиме величезних коштів протягом вельми значного періоду часу.

Адже сукупна довжина доріг загального користування з твердим покриттям в Україні (без урахування окупованої АР Крим) на кінець 2016 р. становила 159,5 тис. км. Залежно від пропускнуої здатності, кількості смуг руху, ширини смуг, ширини проїзної частини, ширини земляного полотна, ширини смуги відводу, повздовжнього похилу дороги та радіусу закруглень дороги, автомобільні дороги поділяють на 5 категорій. Дороги I категорії повинні бути з обов'язковою розподільчою смугою і 2–4 смугами для руху в одному напрямку. А в обидві сторони, відповідно, удвічі більше. А на дорогах 2 – 4 категорій передбачена одна смуга в одному напрямку, тобто 2 смуги в обидві сторони. Дороги 5 категорії мають взагалі лише одну смугу. Розрахункова перспективна інтенсивність руху (в показниках приведених до легкового автомобіля) на дорогах I категорії складає понад 14 тис. автомобілів, 2 категорії – від 5 тис. до 14 тис. автомобілів, 3 категорії – від 2,5 тис. до 5 тис., 4 категорії – від 0,3 тис. до 2,5 тис., 5 категорії – менше 0,3 тис. автомобілів. [6,12,16].

Із сукупної довжини доріг загального користування з твердим покриттям в Україні (без урахування окупованої Росією АР Крим) лише 1,7 % від сукупної довжини цих доріг припадало на дороги I категорії, на дороги 2 категорії припадало 7,7% від сукупної довжини таких доріг, на дороги 3 категорії – 16,6%, на дороги 4 категорії – 65,3% і на дороги 5 категорії – 8,7% від сукупної довжини шляхів загального користування з твердим покриттям в Україні. Найбільше доріг I категорії в Київській, Дніпропетровській,

Донецькій, Житомирській і Харківській областях. А найменше, по суті, мізерно мало – у Сумській, Закарпатській і Чернівецькій областях.

Однак, на сучасному етапі суспільного розвитку, якщо виходити з результатів аналізу повідомлень, якими рясніють вітчизняні ЗМІ, пріоритетною проблемою в автодорожньому господарстві України, вочевидь, є не збільшення довжини і частки шляхів вищих категорій у загальноукраїнській мережі доріг, а кардинальне покращення якості дорожнього покриття практично в усіх регіонах України.

На жаль, загальнодоступні дані державної статистики не дають чіткої кількісної характеристики цієї проблеми у нашій державі. Зокрема, відповідні органи державного управління не надають для широкого публічного доступу детальної статистичної інформації саме про якісний стан дорожнього покриття на автомобільних шляхах, які згідно з документами вважаються дорогами з твердим покриттям, по регіонах і Україні в цілому. Складно сказати чи така зведена в цілому по Україні точна статистична інформація існує взагалі. З іншого боку, саме аналіз повідомлень ЗМІ надає уявлення про масштаби руйнації автомобільних доріг в Україні.

Водночас слід наголосити, що і в уряді, і в органах місцевої влади добре усвідомлюють масштаби і гостроту цієї проблеми, про що свідчать відповідні заяви посадовців. Наприклад, у травні цього року ЗМІ навели заяві міністра інфраструктури про те, що ще минулого року «95% автодоріг були вже непридатні для використання» Хоча транспорт по цих 95 % доріг якимось рухається й нині.

Прем'єр-міністр України, під час ознайомлення з ходом робіт у Київській області сказав, що обсяг коштів, які цього року доступні і можуть бути витрачені на виконання дорожніх робіт в Україні, становить близько 30 млрд грн. Наступного року, за його словами, цей обсяг буде збільшено до 40 млрд грн. Участь у будівництві взяли міжнародні партнери, а контроль використання коштів дозволив зекономити значні ресурси. Згодом ЗМІ звернули увагу на те, що проектом державного бюджету на 2021 р.



передбачено збільшення фінансування будівництва і ремонту українських доріг на 37% порівняно з 2020 р.

Дорожня галузь України у 2016 р. була профінансована на 10 млрд грн із заявлених урядом близько 20 млрд грн. За даними Укравтодору, щорічна потреба у фінансуванні автодоріг в країні оцінюється щонайменше у 60 млрд грн. За інформацією уряду, у 2016 р. в Україні було відремонтовано 816 км доріг, ще на 711 км покладено захисне покриття, «ямковий» ремонт проведено на 9 млн. кв. км автодоріг».

Як повідомив на засіданні уряду в середині листопада виконуючий обов'язки голови «Укравтодору», дорожня галузь України готова виконати обсяг робіт з ремонту доріг на суму близько 54 мільярдів гривень протягом декількох років.

Водночас, Прем'єр-міністр України заявив що витрати на виконання дорожніх робіт в Україні, таки сягнуть близько 30 млрд грн., а наступного року їх буде збільшено до 40 млрд грн. Хоча з повідомлень ЗМІ не зрозуміло скільки саме кілометрів автомобільних шляхів і до якого конкретно якісного рівня можна привести в Україні за умови зазначених «Укравтодором» щорічних витрат на дорожні роботи в обсязі 60 млрд грн. Адже різниця в обсягах витрат на 1 (один) км ямкового ремонту і будівництва сучасного автобану буде величезною. Тому для адекватної оцінки стану і проблем розвитку мережі автомобільних доріг України подібні вельми абстрактні кількісні фінансово-економічні показники доцільно доповнювати різноманітними якісними оцінками.

Взагалі, на перший погляд видається, що ключовими в процесі відновлення якості автомобільних шляхів України повинні бути майже виключно економічні пріоритети. Однак, реальність сьогодення засвідчує, що суто економічні критерії розвитку вітчизняної мережі автомобільних шляхів далеко не завжди відповідають національним інтересам України в цілому. Враховуючи надзвичайну гостроту «автодорожньої» проблеми в Україні, мабуть багато уваги слід приділяти організаційно-правовим, соціальним,

воєнним та деяким іншим аспектам її розв'язання. Не виключено, що у певних випадках вони можуть важити більше за суто економічні критерії ухвалення рішень щодо реалізації того чи іншого проекту. Хоча, звичайно, будь-який проект ремонту та будівництва автомобільних доріг обов'язково починається з його фінансово-економічного обґрунтування.

При цьому надзвичайно важливим є збереження дорожнього полотна, особливо на відремонтованих і новозбудованих автомобільних шляхах. Адже добре відомо, що значних, іноді фатальних, ушкоджень дорожньому полотну завдає саме вантажний транспорт, вага якого перевищує припустиму для відповідного типу дорожнього полотна технічну норму. Тому, як повідомили деякі ЗМІ, для запобігання руйнації та збереженню дорожнього полотна, Міністерство інфраструктури України за підтримки ЄБРР розпочало реалізацію пілотного проекту із застосування інтелектуальної транспортної системи зважування автотранспорту під час руху (Weight-in-Motion (WiM)). Цей проект розроблений спільно Міністерством інфраструктури, «Укравтодором» та «Укртрансбезпекою».

Крім того, Міністерство інфраструктури України має намір ввести онлайн-моніторинг будівництва та ремонту доріг починаючи з 2018 р. Тобто будуть встановлені камери, кожна людина, якщо буде бажання, буде бачити, що конкретно робить техніка на тій чи іншій ділянці і чи присутня вона там взагалі. Також буде впроваджено правила щодо обов'язкового надання повного звітування щодо будівництва доріг в електронному форматі.

Варто також звернути увагу на те, що останнім часом ЗМІ доволі регулярно наводять висловлювання посадовців щодо можливих проектів будівництва сучасних автомобільних шляхів в Україні вже у найближчому майбутньому. Так, у жовтні прес-служба «Укравтодору» повідомила, що ця компанія має намір реалізувати проект нового автобану Львів – Будапешт (Угорщина) через контрольний-пропускний пункт Дийда. Нова автомагістраль з'єднає Львів з угорським автобаном М-3 Будапешт – Ніредьгаза і стане головним автомобільним коридором між Україною та Угорщиною. Зараз

проїзд дорогою М–06 з Мукачева до Львова займає близько 3,5 годин. Новий автобан скоротить час у дорозі до 2 годин, зазначили в «Укравтодорі». У перспективі новий автобан Львів – Мукачево буде взаємодіяти зі словацьким автобаном R–2, що забезпечить його зв'язок з системою швидкісних доріг Словаччини, Чехії, Німеччини.

Також наголошується, що ця дорога стане основною артерією для експорту українських товарів до країн Східної і Південної Європи і транзитним коридором міжнародної торгівлі через Україну з Білорусі та країн Прибалтики в країни Східної і Південної Європи, а також забезпечить стійке сполучення Закарпаття з іншими регіонами України». Однак, якщо твердження про розширення експорту українських товарів до європейських країн новою дорогою, в цілому, заперечень не викликає, то оцінки перспектив функціонування нової траси, як складової міжнародного транзитного коридору можуть бути не такі однозначні, хоча б через конкуренцію різних транспортних артерій в Європі, включаючи, звичайно, і Україну. Правда, трохи згодом було повідомлено, що американські інвестори розглядають можливість участі в будівництві автобану з Чопу до Львова.

Крім того, міністр інфраструктури обіцяв, що в 2019 р. може початися будівництво автобану Львів–Дубно. Цей проект опрацьовується спільно зі Світовим банком. Також в 2019 році Україна і Польща підписали меморандум про будівництво міжнародної автомагістралі, яка повинна з'єднати українські та польські порти – Одесу і Гданськ. Цей проект підтримується Світовим банком, і за його підтримки почалась підготовка техніко–економічного обґрунтування проекту. За рахунок державного бюджету України у 2017 почався ремонт майже по половині протяжності цього маршруту на території України, а вже через кілька років почнеться повномасштабне будівництво дороги в обхід населених пунктів [6, 12]..

Польські фірми було обрано шляхом тендерів. Ремонт доріг займають «Unniber» та «Drog–Bud». Директор другої фірми А. Таузовський додав, що половину робіт виконують польські працівники, 60% матеріалів

забезпечує польська сторона, 40% – українська. Повна документація проектів буде виконана за півроку. Перші фрагменти доріг були введено в експлуатацію вже 2018 році, друга частина автошляхів – у 2019 р.

Утім, польські фірми – не єдині іноземні компанії, що залучені до процесу дорожнього будівництва в Україні. Так, у жовтні 2019 року Державне агентство автомобільних доріг України («Укравтодор») підписало контракти на виконання ремонтних робіт на ділянках українських автомобільних доріг з китайською компанією Xinjiang Communications Construction Group Co., LTD. Зазначені контракти підписані в рамках Другого проекту покращення автомобільних доріг та безпеки руху між Україною та Міжнародним банком реконструкції та розвитку. Перший проект передбачає виконання ремонту на дорозі М–12 від с. Голосків (Хмельницької області) до кордону Хмельницької та Вінницької областей, на ділянці 291–332 км. Сума контракту – \$38,5 млн. Термін виконання робіт – 18 місяців. Дата початку робіт буде визначена інженером з технагляду (орієнтовно на початку 2018 р.). Другий проект передбачає реконструкцію і капремонт дороги М–03 від м. Лубни до м. Полтави на ділянці 210 – 333 км (окремими ділянками). Проводитимуться роботи, які залишилися після розірвання контракту з італійською компанією Todini Costruzioni Generali. При цьому про причини розірвання контракту з італійською компанією у ЗМІ не повідомляється. Сума нового контракту з китайською компанією – \$57,3 млн. Термін виконання робіт – вісім місяців. Проект реалізується коштом кредиту Світового банку в рамках Другого проекту покращення доріг і безпеки руху. А, за інформацією Радіо Прага, Компанія Arca Industry Ukraine, дочірня структура чеської Arca Capital, підписала тристоронній меморандум з ТОВ «Українсько–польське підприємство з іноземними інвестиціями» УПС» і компанією з обслуговування інвестицій Investment Service Ukraine про консолідацію зусиль, спрямованих на об'єднання активів і потужностей 11 українських будівельних компаній на базі «УПС» і спільні дії при

будівництві доріг і магістралей та інших об'єктів інфраструктури по всій Україні.

Також «Міністерство інфраструктури України розпочало у 2018 р. три проекти з реконструкції 232 км доріг, які передбачають їх цементобетонне покриття. Сумарний кошторис реалізації цих проектів близько 8 млрд. грн. Перший проект – реконструкція Північного обходу Житомира по трасі М–06 Київ – Чоп (22,3 км). За словами директора департаменту стратегічного розвитку дорожнього ринку і автомобільних перевезень, на цій трасі заплановано підвищення категорії дороги до 1б, тобто розширення дороги з 2–х до 4–х смуг. Вартість реконструкції становитиме 1 млрд. грн. Проект фінансується за рахунок кредиту ЄБРР. Другий проект – реконструкція дороги Н–31 Дніпро – Решетилівка. Проект передбачає розширення дороги з двох до чотирьох смуг, а також виконання покриття в цементобетоні (137 км). Вартість проекту, за даними Укравтодору, становить 5,4 млрд. грн. Ще один проект на автотрасі Н–11 Кропивницький – Миколаїв передбачає проведення капітального ремонту дороги в межах Миколаївської області (73 км). Вартість проекту – 1,6 млрд грн., роботи проводилися у 2018 р.

Хоча, в цілому ж, наведені вище повідомлення ЗМІ створюють враження, що на сучасному етапі пріоритет в автодорожньому будівництві в Україні мають насамперед проекти, пов'язані з експортною діяльністю вітчизняних підприємств. Непрямим чином це підтверджується кредитуванням таких проектів в Україні з боку міжнародних фінансових організацій та іноземних компаній. А з огляду ЗМІ складається враження, що акцент у ремонті та будівництві автомобільних шляхів більше зроблено на виконанні робіт на Правобережній Україні. Утім, за згадуваними обнадійливими повідомленнями якось не завжди проглядається стратегія розвитку системи автомобільних шляхів в Україні в цілому.

Водночас, проведений аналіз свідчить, що однією з ключових проблем розвитку вітчизняного автодорожнього господарства залишається проблема фінансування ремонтних і будівельних робіт у цій сфері. Наведені вище

повідомлення свідчать, по–перше, про суттєвий дефіцит коштів для ремонту, реконструкції та нового будівництва вітчизняних автомобільних доріг. А, по–друге, про вагомую роль міжнародних фінансових організацій та іноземних компаній у кредитуванні автодорожнього будівництва в Україні. Певною мірою зазначені іноземні позики і є джерелом зменшення дефіциту фінансування автодорожнього будівництва в Україні. Що ж стосується власне дефіциту фінансування вітчизняного автодорожнього будівництва як такого, то він за будь–яких обставин зберігатиметься ще протягом цілого ряду років, оскільки за один рік з макроекономічної точки зору неможливо якісно відновити покриття всієї мережі автомобільних доріг України до рівня сусідніх європейських держав (Польщі, Словаччини, Угорщини, країн Балтії). Звичайно, якщо приймати цей рівень якості за одну з головних цілей розвитку мережі автомобільних доріг України. Тому певний дефіцит фінансових ресурсів на розвиток автодорожнього будівництва в Україні зберігатиметься принаймні протягом кількох найближчих років.

Тому, усвідомлюючи всю складність ситуації у вітчизняному автодорожньому господарстві влада України взяла курс на його реформування. Як було зазначено на засіданні Уряду керівник Державного агентства автомобільних доріг України, 2018 р. став роком початку двох фундаментальних реформ дорожньої галузі – децентралізації доріг та впровадження Дорожнього фонду. «Дорожній фонд та децентралізація – це нова конституція дорожньої галузі країни, яка повністю змінить систему її управління. На сьогодні «Укравтодор», зі свого боку, повністю виконав весь комплекс заходів для реалізації цієї реформи. Підготовлено необхідні зміни до законодавства, розроблено рекомендації для областей, проведено навчання. Найголовніше – завершено інвентаризацію доріг, які мають бути передані на місця. Станом на сьогодні видано накази про передачу доріг на баланс по ряду областей (Київській, Одеській, Вінницькій, Івано–Франківській та Черкаській).

Цілком імовірно, що до початку 2021 р. згадувані спірні питання будуть узгоджені й відповідні зміни будуть внесені до чинних правових актів України. Однак, це ще навряд чи буде гарантією успішного практичного розв'язання ймовірних спірних питань розподілу коштів Дорожнього фонду. Адже умови виконання робіт з ремонту, реконструкції та будівництва автомобільних шляхів у різних регіонах України, як то густина дорожньої мережі, стан дорожнього покриття, співвідношення доріг загальнодержавного і місцевого значення, стан системи розселення тощо, об'єктивно різні. Тому впровадження єдиного нормативу розподілу коштів Дорожнього фонду може виявитись не завжди ефективним для практичного вирішення проблем розвитку мережі автомобільних доріг по регіонах України. Цілком імовірно, що через рік – два ці механізми доведеться коригувати.

Також в «Укравтодорі» вважають, що нинішній закон не дозволяє втілити ідею будівництва платних доріг в Україні, тоді як у європейських країнах таке будівництво сприяє практичному розв'язанню транспортних проблем [6,12, 16].

Втілення ідеї будівництва платних доріг в Україні вимагає не лише організаційно–правового, а й серйозного техніко–економічного обґрунтування. На думку фахівців «Укравтодору» будівництво платних доріг в Україні може початися не раніше ніж через 3 – 4 роки. Однак, навіть за таких обставин це питання викликало певний суспільний резонанс. І це зайвий раз доводить, що, крім всього іншого, розвиток мережі автомобільних шляхів в Україні є важливою соціально–політичною проблемою.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

### 2.1 Сутність, етапи становлення та перспективи розвитку

Під моделюванням розуміється процес дослідження реальної системи, що включає побудову моделі, вивчення її властивостей і перенесення отриманих відомостей на модельовану систему.

Загальними функціями моделювання є опис, пояснення і прогнозування поведінки реальної системи.

Типовими цілями моделювання можуть бути пошук оптимальних або близьких до оптимальних рішень, оцінка ефективності рішень, визначення властивостей системи (чутливості до зміни значень характеристик та ін.), встановлення взаємозв'язків між характеристиками системи, перенесення інформації в часі. Термін "модель" має численні трактування. У найбільш загальному формулюванні дотримуватимемося наступного визначається.

Модель - це об'єкт, який має схожість в деяких стосунках з прототипом і служить засобом опису і/або пояснення і/або прогнозування поведінки прототипу.

Найважливішою якістю моделі є те, що вона дає спрощений образ, що відбиває не усі властивості прототипу, а тільки ті, які суттєві для дослідження.

Складні системи характеризуються виконуваними процесами (функціями), структурою і поведінкою в часі. Для адекватного моделювання цих аспектів в автоматизованих інформаційних системах розрізняють функціональні, інформаційні і поведінкові моделі, що перетинаються один з одним. [1,2].



Функціональна модель системи описує сукупність виконуваних системою функцій, характеризує морфологію системи (її побудова) - склад функціональних підсистем, їх взаємозв'язку.

Інформаційна модель відбиває стосунки між елементами системи у вигляді структур даних (склад і взаємозв'язки).

Поведінкова (подієва) модель описує інформаційні процеси (динаміку функціонування), в ній фігурують такі категорії як стан системи, подія, перехід з одного стану в інший, умови переходу, послідовність подій.

Особливо велике значення моделювання в системах, де натурні експеримент неможливі з цілого ряду причин: складність, великі матеріальні витрати, унікальність, тривалість експерименту. Так, не можна «провести війну в мирний час», натурні випробування деяких типів систем пов'язані з їх руйнуванням, для експериментальної перевірки складних систем управління вимагається тривалий час і так далі

Можна виділити три основні сфери застосування моделей: навчання, наукові дослідження, управління. При навчанні за допомогою моделей досягається висока наочність відображення різних об'єктів і полегшується передача знань про них. Це, в основному, моделі, що дозволяють описати і пояснити систему. У наукових дослідженнях моделі служать засобом отримання, фіксації і впорядкування нової інформації, забезпечуючи розвиток теорії і практики. У управлінні моделі використовуються для обґрунтування рішень. Такі моделі повинні забезпечити як опис, так і пояснення і пророцтво поведінки систем.

Класифікація видів моделювання може бути проведена за різними ознаками. Один з варіантів класифікації приведений на рис. 2.1.

Моделювання відповідно до класифікаційної ознаки повноти діляться на повне, неповне і наближене. При повному моделюванні моделі ідентичні об'єкту в часі і просторі. Для неповного моделювання ця ідентичність не зберігається. У основі наближеного моделювання лежить подібність, при якій деякі сторони реального об'єкту не моделюються зовсім. Теорія подібності

стверджує, що абсолютна подібність можливо лише при заміні одного об'єкту іншим таким самим же. Тому при моделюванні абсолютна подібність неможлива.



Рисунок 2.1 - Класифікація видів моделювання

Залежно від типу носія і сигнатури моделі розрізняються наступні види моделювання: детерміноване і стохастичне, статичне і динамічне, дискретне, безперервне і дискретно-безперервне [2,4,18 ].

Детерміноване моделювання відображає процеси, в яких передбачається відсутність випадкових дій. Стохастичне моделювання враховує імовірнісні процеси і події. Статичне моделювання служить для опису стану об'єкту у фіксований момент часу, а динамічне моделювання - для дослідження об'єкту в часі. При цьому оперують аналоговими (безперервним), дискретними і змішаними моделями.

Залежно від форми реалізації носія і сигнатури моделювання класифікується на уявне і реальне. Уявне моделювання застосовується тоді,

коли моделі не реалізуються в заданому інтервалі часу або відсутні умови для їх фізичного створення (наприклад, ситуація мікросвіту). Уявне моделювання реальних систем здійснюється у вигляді наочного, символічного і математичного. Для представлення функціональних, інформаційних і подієвих моделей цього виду моделювання розроблено значне число засобів і методів.

При наочному моделюванні на базі уявлень людини про реальні об'єкти створюються наочні моделі, що відображають явища і процеси, що протікають в об'єкті. Прикладом таких моделей є учбові плакати, малюнки, схеми, діаграми.

У основу гіпотетичного моделювання кладуть гіпотезу про закономірності протікання процесу в реальному об'єкті, яка відбиває рівень знань дослідника про об'єкт і базується на причинно-наслідкових зв'язках між входом і виходом об'єкту, що вивчається. Цей вид моделювання використовується, коли знань про об'єкт недостатньо для побудови формальних моделей.

Аналогове моделювання ґрунтується на застосуванні аналогій різних рівнів. У разі досить простих об'єктів найвищим рівнем є повна аналогія. З ускладненням системи використовуються аналогії подальших рівнів, коли аналогова модель відображає декілька (чи тільки одну) сторін функціонування об'єкту. Макетування застосовують, коли процеси, що протікають в реальному об'єкті, не піддаються фізичному моделюванню або можуть передувати проведенню інших видів моделювання. У основі побудови уявних макетів також лежать аналогії, що зазвичай базуються на причинно-наслідкових зв'язках між явищами і процесами в об'єкті.

Символічне моделювання є штучним процесом створення логічного об'єкту, який заміщає реальний і виражає його основні властивості за допомогою певної системи знаків і символів. У основі мовного моделювання лежить деякий тезаурус, який утворюється з набору понять досліджуваної предметної області, причому цей набір має бути фіксованим. Під тезаурусом

розуміється словник, що відбиває зв'язки між словами або іншими елементами цієї мови, призначений для пошуку слів по їх сенсу.

Якщо ввести умовне позначення окремих понять, тобто знаки, а також певні операції між цими знаками, то можна реалізувати знакове моделювання і за допомогою знаків відображати набір понять - скласти окремі ланцюжки із слів і пропозицій. Використовуючи операції об'єднання, перетини і доповнення теорії великих кількостей, можна в окремих символах дати опис якогось реального об'єкту [2, 18,25,26].

Математичне моделювання - це процес встановлення відповідності цьому реальному об'єкту деякого математичного об'єкту, що називається математичною моделлю. В принципі для дослідження характеристик будь-якої системи математичними методами, включаючи і машинні, має бути обов'язково проведена формалізація цього процесу, тобто побудована математична модель. Вид математичної моделі залежить як від природи реального об'єкту, так і від завдань дослідження об'єкту, від необхідної достовірності і від точності рішення задачі. Будь-яка математична модель, як і всяка інша, описує реальний об'єкт з деякою мірою наближення.

Для представлення математичних моделей можуть використовуватися раз-особисті форми запису. Основними є інваріантна, аналітична, алгоритмічна і схемна (графічна) форми моделювання.

Інваріантна форма - запис співвідношень моделі за допомогою традиційної математичної мови безвідносно до методу рішення рівнянь моделі.

Аналітична форма - запис моделі у вигляді результату рішення вихідних рівнянь моделі. Зазвичай моделі в аналітичній формі представляють собою явні вирази вихідних параметрів як функцій входів і змінних стану.

Для аналітичного моделювання характерне те, що, в основному, моделюється тільки функціональний аспект системи. При цьому глобальні рівняння системи, що описують закон (алгоритм) її функціонування, записуються у вигляді деяких аналітичних співвідношень (алгебри, інтегро-

дифференційних, кінечно-різницевих і так далі) або логічних умов.

Аналітична модель досліджується декількома методами:

- аналітичним, коли прагнуть отримати в загальному вигляді явні залежності, що зв'язують шукані характеристики з початковими умовами, параметрами і змінними стану системи;
- чисельним, коли, не уміючи вирішувати рівняння в загальному вигляді, прагнуть отримати числові результати при конкретних початкових даних (нагадаємо, що такі моделі називаються цифровими);
- якісним, коли, не маючи рішення в явному виді, можна знайти деякі властивості рішення (наприклад, оцінити стійкість).

Нині поширені комп'ютерні методи дослідження характеристик процесу функціонування складних систем. Для реалізації математичної моделі необхідно побудувати відповідний моделюючий алгоритм.

Алгоритмічна форма - запис співвідношень моделі і вибраного чисельного методу рішення у формі алгоритму. Серед алгоритмічних моделей важливий клас складають імітаційні моделі, призначені для імітації фізичних або інформаційних процесів при різних зовнішніх діях. Власне імітацію названих процесів називають імітаційним моделюванням.

При імітаційним моделюванні відтворюється алгоритм функціонування системи в часі - поведінка системи, причому імітуються елементарні явища, що становлять процес, зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання, що дозволяє за початковими даними отримати відомості про стани процесу в певні моменти часу, що дають можливість оцінити характеристики системи. Основною перевагою імітаційного моделювання в порівнянні з аналітичним є можливість рішення складніших завдань. Імітаційні моделі дозволяють досить просто враховувати такі чинники як наявність дискретних і безперервних елементів, нелінійні характеристики елементів системи, численні випадкові дії і інші, які часто створюють труднощі при аналітичних дослідженнях. Нині імітаційне моделювання - найбільш ефективний метод дослідження систем, а часто - і єдиний

практично доступний метод отримання інформації об поведінку системи, особливо на етапі її проектування.

У імітаційному моделюванні розрізняють метод статистичних випробувань (Монте-Карло) і метод статистичного моделювання.

Метод Монте-Карло - чисельний метод, вживаний для моделювання випадкових величин і функцій, імовірнісні характеристики яких збігаються з рішеннями аналітичних завдань. Метод полягає у багатократному відтворенні процесів, що є реалізаціями випадкових величин і функцій, з подальшою обробкою інформації методами математичної статистики.

Якщо цей прийом застосовується для машинної імітації (з використанням ЕОМ) в цілях дослідження характеристик процесів функціонування систем, схильних до випадкових дій, то такий метод називається, методом статистичного моделювання [2, 18,25,26].

Метод імітаційного моделювання застосовується для оцінки варіантів структури системи, ефективності різних алгоритмів управління системою, впливу зміни різних її параметрів. Імітаційне моделювання може бути покладене в основу структурного, алгоритмічного і параметричного синтезу систем, коли вимагається створити систему із заданими характеристиками при певних обмеженнях.

Комбіноване (аналітико-імітаційне) моделювання дозволяє об'єднати достоїнства аналітичного і імітаційного моделювання. При побудові комбінованих моделей виконують попередню декомпозицію процесу функціонування об'єкту на складові підпроцеси, і для тих з них, у разі яких це можливо, використовують аналітичні моделі, а для інших підпроцесів будують імітаційні моделі. Такий хід дає можливість охопити якісно нові класи систем, які не можуть бути досліджені з використанням аналітичного або імітаційного моделювання окремо.

Інформаційне (кібернетичне) моделювання пов'язане з дослідженням моделей, в яких відсутня безпосередня подібність фізичних процесів реальним процесам, що відбуваються в моделях. В цьому випадку прагнуть

відобразити лише деяку функцію, розглядають реальний об'єкт як «чорний ящик), що має ряд входів і виходів, і моделюють деякі зв'язки між виходами і входами.

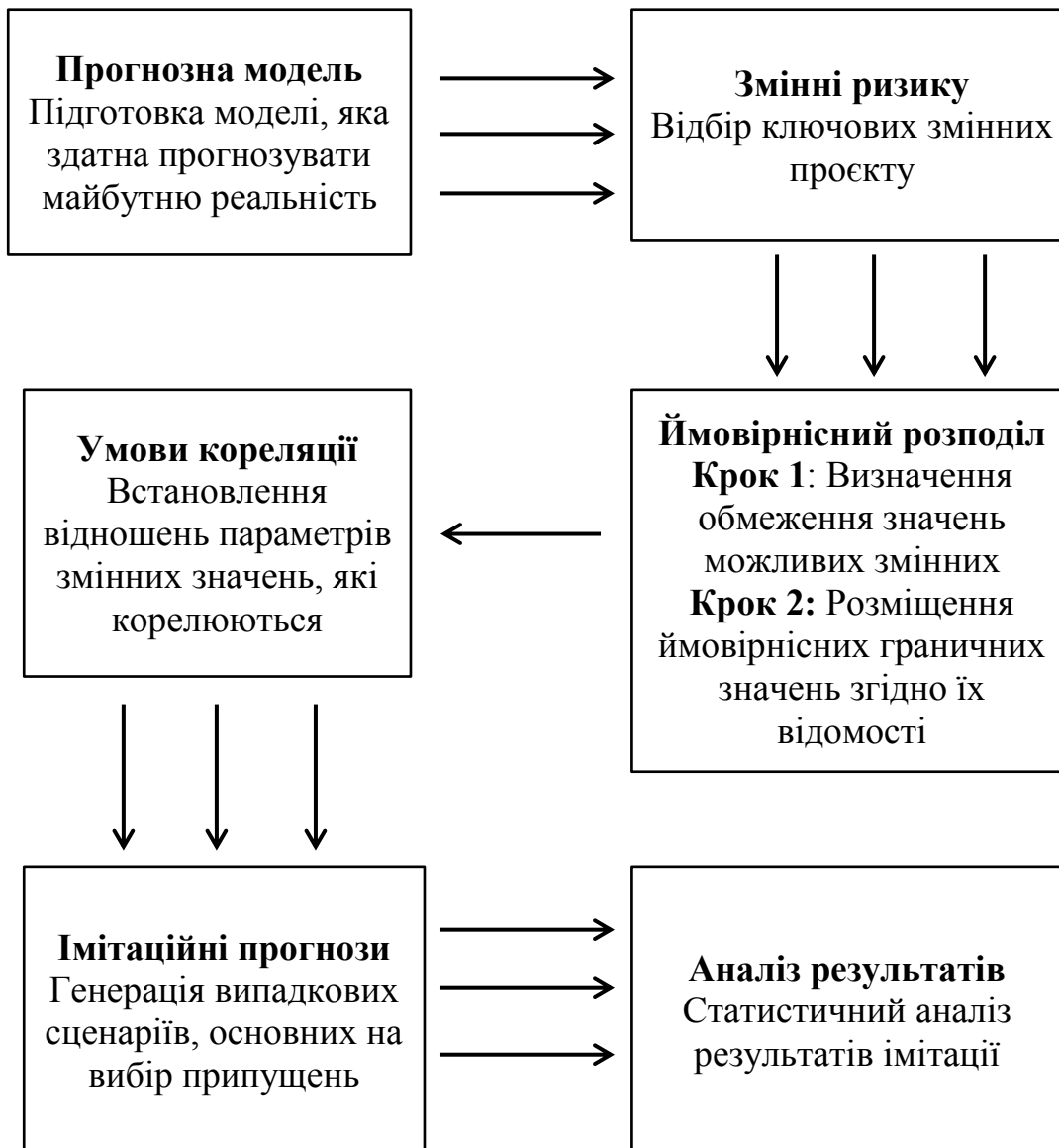


Рисунок 2.2 - Укрупнена блок-схема роботи з моделі

Таким чином, в основі інформаційних (кібернетичних) моделей лежить відображення деяких інформаційних процесів управління, що дозволяє оцінити поведінка реального об'єкту. Для побудови моделі в цьому випадку необхідно виділити досліджувану функцію реального об'єкту, спробувати формалізувати цю функцію у вигляді деяких операторів зв'язку між входом і

виходом і відтворити цю функцію на імітаційній моделі, причому на абсолютно іншій математичній мові і, природно, при іншій фізичній реалізації процесу. Так, наприклад, експертні системи є моделями осіб, що приймають рішення.

Структурне моделювання системного аналізу базується на деяких специфічних особливостях структур певного виду, які використовуються як засіб дослідження систем або служать для розробки на їх основі специфічних підходів до моделювання із застосуванням інших методів формалізованого представлення систем (теоретика - множинних, лінгвістичних, кібернетичних і так далі). Розвитком структурного моделювання є об'єктно-орієнтоване моделювання [23,25,26].

Структурне моделювання системного аналізу включає:

- методи сітьової модернізації;
- поєднання методів структуризації з лінгвістичними;
- структурний підхід у напрямі формалізації побудови і дослідження структур різного типу (ієрархічних, матричних, довільних графів) на основі теоретико-множинних представлень і поняття номінальної шкали теорії вимірів.

При цьому термін «структура моделі може застосовуватися як до функцій, так і до елементів системи. Об'єктно-орієнтоване моделювання об'єднує структури обох типів в ієрархію класів, що включають як елементи, так і функції.

Ситуаційне моделювання спирається на модельну теорію мислення, у рамках якої можна описати основні механізми регулювання процес-совхвалення рішень. У центрі модельної теорії мислення лежить уявлення про формування в структурах мозку інформаційної моделі об'єкту і зовнішнього світу. Ця інформація сприймається людиною на базі вже наявних у нього знань і досвіду. Доцільна поведінка людини будується шляхом формування цільової ситуації і уявного перетворення вихідної ситуації в цільову.

Основою побудови моделі є опис об'єкту у вигляді сукупності



елементів, пов'язаних між собою певними стосунками, що відображають семантику предметної області. Модель об'єкту має багаторівневу структуру і є тим інформаційним контекстом, на тлі якого протікають процеси управління. Чим багатіше інформаційна модель об'єкту і вище за можливість маніпулювання нею, тим краще і різноманітніше якість рішень, що приймаються, при управлінні.

У разі реального моделювання використовується можливість дослідження характеристик або на реальному об'єкті цілком, або на його частині. Такі дослідження проводяться як на об'єктах, працюючих в нормальних режимах, так і при організації спеціальних режимів для оцінки дослідження характеристик (при інших значеннях змінних і параметрів, в іншому масштабі часу і так далі), що цікавлять. Реальне моделювання є найбільш адекватним, але його можливості обмежені.

Натурним моделюванням називають проведення дослідження на реальному об'єкті з подальшою обробкою результатів експерименту на основі теорії подібності. Таке моделювання підрозділяється на науковий експеримент, комплексні випробування і виробничий експеримент.

Науковий експеримент характеризується широким використанням засобів автоматизації, застосуванням дуже різноманітних засобів обробки інформації, можливістю втручання людини в процес проведення експерименту. Один з різновидів експерименту - комплексні випробування, в процесі яких внаслідок повторення випробувань об'єктів в цілому (чи великих частин системи) виявляються загальні закономірності про характеристики якості, надійність цих об'єктів. В цьому випадку моделювання здійснюється шляхом обробки і узагальнення відомостей про групу однорідних явищ. Разом із спеціально організованими випробуваннями можлива реалізація натурального моделювання шляхом узагальнення досвіду, накопиченого в ході виробничого процесу, тобто можна говорити про виробничий експеримент. Тут на базі теорії подібності обробляють статистичний матеріал по виробничому процесу і отримують його

узагальнені характеристики. Відмінність експерименту від реального протікання процесу полягає в тому, що в експерименті можуть з'явитися окремі критичні ситуації і визначитися межі стійкості процесу. В ході експерименту вводяться нові чинники і обурюючі дії в процес функціонування об'єкту.

## **2.2 Моделі організації будівельного виробництва**

Моделювання будівельного виробництва - дослідження будівельних процесів шляхом побудови і вивчення їх моделей, що є спрощеним уявленням про деякий об'єкт, зручніший для сприйняття, чим сам об'єкт.

У організаційно-технологічних моделях будівництва об'єктів виконують взаємну ув'язку виконання окремих видів будівельних робіт, термінів і інтенсивності ведення робіт, а також раціонального порядку використання ресурсів [19-21,25,26].

Будівельний процес і вид роботи можуть бути представлені у вигляді уявної, описової або графічної моделі.

Відомі різні види організаційно-технологічних моделей будівництва об'єктів, і у ряді випадків можна встановити найбільш раціональні сфери застосування кожної з них.

В якості графічних моделей будівельного виробництва служать: лінійні (стрічкові) графіки Гангу, циклограми, таблиці (матриці), а також сітьові графіки.

Лінійні графіки наочно відображають однозначний взаємозв'язок і послідовність робіт. їх широко використовують при одноваріантному характері нормалізованої технології, наприклад, при масовому житловому будівництві, зведенні нескладних об'єктів, а також коли необхідно лише встановити конкретні строки виконання окремих операцій (рис. 2.3).

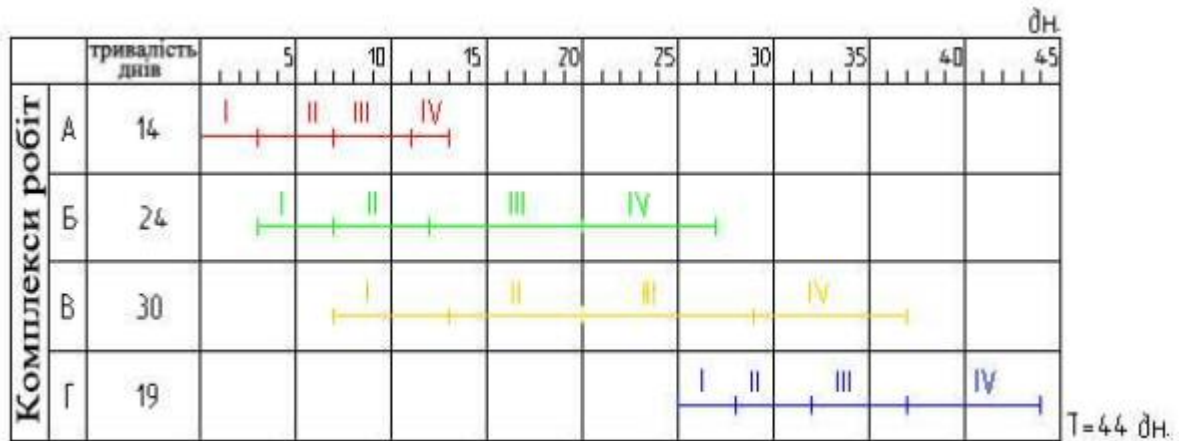


Рисунок 2.3 - Зображення моделі календарного плану у вигляді лінійного графіка

Переваги лінійних графіків у формі КП полягають в простоті побудови і читання креслення, а також можливості побудови під графіком графіків руху робочих кадрів по об'єкту, роботи будівельних машин і механізмів, використання будівельних матеріалів, виробів і конструкцій для потреб будівельного майданчика. До недоліків слід віднести складність відображення взаємозв'язку між роботами і потокам на сусідніх захватках, а також відсутність позначення місць виконання робіт [18,21].

Циклограми використовують при організації потокового будівництва, особливо під час зведення однотипних будинків і споруд (рис. 2.4). Вони наочно відображають розвиток потоку у часі і просторі. В основу побудови циклограми покладено технологічні нормалі. Кожна нормаль описує одно варіантну послідовність виконання робіт на одній захватці або ділянці

Перевагами графічних моделей у вигляді циклограм є можливість показати час і місце виконання кожної роботи, прослідковування взаємозв'язків між потоками і роботами на захватках, а також можливості побудови під графіком графіків руху робочих кадрів по об'єкту, роботи будівельних машин і механізмів, використання будівельних матеріалів, виробів і конструкцій для потреб будівельного майданчика. Недоліками

таких графічних моделей є відсутність позначення назви робіт і потоків і необхідність розбивки об'єкту на захватки або фронти робіт.

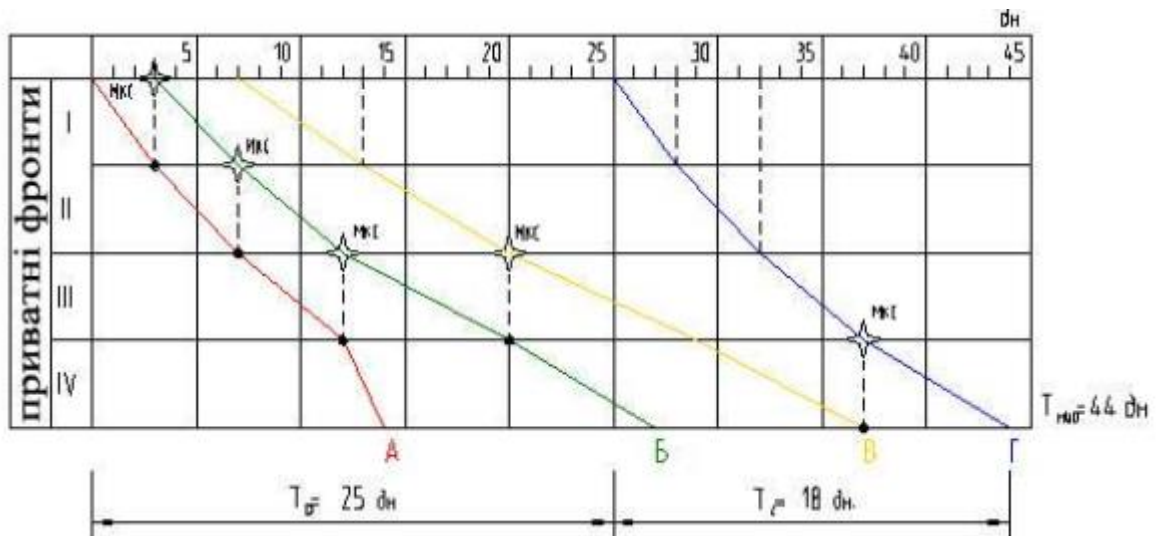


Рисунок 2.4 - Зображення моделі календарного плану у вигляді циклограми

Сітьові (мережеві) графіки дають змогу оптимально відобразити послідовність зведення складного об'єкта, забезпечити керівника і виконавців інформацією для схвалення рішень з організації й управління, встановити чіткий взаємозв'язок робіт при їх наочній технологічній послідовності, проаналізувати хід будівництва в просторі і часі, поєднувати в одній моделі увесь комплекс робіт, що виконуються усіма учасниками будівництва, використовувати сучасні комп'ютерні технології для аналізу варіантів досягнення мети і для розрахунку часових параметрів сітки [18,21].

Сітьовий графік (рис. 2.5) є документом, що дозволяє оперативно керувати будівництвом і перерозподіляти ресурси залежно від практичного стану будівництва. Він має і ряд інших переваг в порівнянні з іншими моделями.

Сітьові моделі дозволяють краще всього відобразити порядок зведення складного об'єкта, здійснювати науково - обґрунтовані методи будівництва, визначати і дозволяти багато проблемних ситуацій, що виникають в процесі виробництва будівельних робіт.

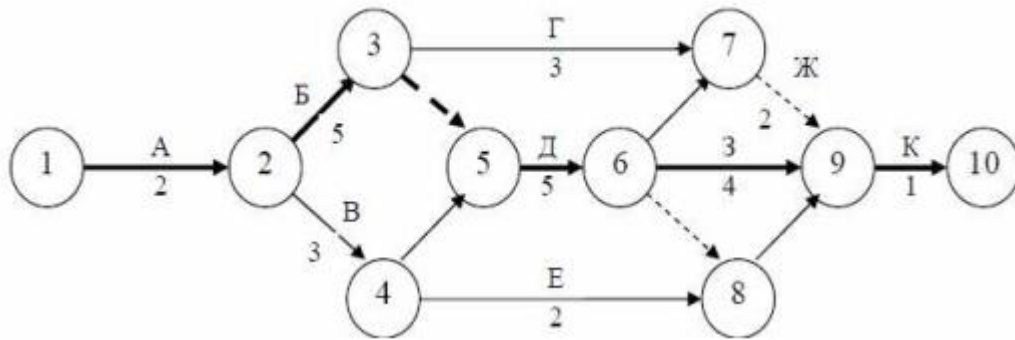


Рисунок 2.5 - Зображення сіткової моделі технологічної послідовності виробництва робіт: А. Б. В, .... К – кодове позначення назви робіт; 2, 5, 3, ... 1 – цифри під стрілками (роботи і фіктивні залежності) вказують на тривалість процесів

Проте застосування сіткових графіків не означає, що тим самим виключається застосування лінійних графіків, циклограм і матриць. [18,21].

Ці моделі взаємно доповнюють один одного і застосовуються в тих випадках, де вони найбільш доцільні.

Сітвові графіки особливо ефективні у разі спорудження складних промислових і інших комплексів, де беруть участь багато організацій, причому такі графіки враховують усі роботи, від яких залежить успішний хід будівництва, у тому числі проектування, зовнішні постачання матеріалів, технологічного устаткування та ін.

Сітвові моделі використовують у будівництві для вирішення завдань перспективного планування, визначення тривалості і термінів виконання основних етапів створення об'єктів (проектування, СМР, постачання технологічного устаткування, освоєння виробничої потужності, а також планування капітальних вкладень по періодах будівництва об'єкту.

## 2.3 Методи організації дорожньо-будівельних робіт

Метод організації робіт визначає принципову спрямованість вирішення основних питань черговості виконання робіт, системи введення дороги в експлуатацію, розставляння, взаємодії і використання ресурсів.

Вибір методу залежить від багатьох причин, з яких на перше місце слід поставити : загальний рівень розвитку дорожньої техніки і науки; наявність відповідної матеріально-технічної бази на цьому об'єкті будівництва; географічні особливості району будівництва; особливі умови, властиві тільки цьому об'єкту.

Методи організації дорожньо-будівельних робіт визначаються динамікою інтенсивності виконання робіт, мірою поєднання робіт в часі, характером зв'язків, що враховуються, і іншими ознаками, по яких розрізняються ці методи (рис. 2.6). Розглянемо основні різновиди методів організації робіт у будівництві.

При послідовному методі кожен новий об'єкт будується після того, як побудований попередній. При цьому методі суміщення робіт дорівнює нулю, причому як однотипних, так і різнотипних.

Достоїнствами методу є те, що, по-перше, потрібно менше виконавців в одиницю часу, і, в-других, легко міняється структура організації робіт при збої якого-небудь виду робіт.

До недоліків методу слід віднести найбільшу тривалість робіт по спорудженню об'єкту.

Паралельний метод, здійснюється паралельним виконанням однотипних робіт на різних фронтах робіт і послідовним виконанням різнотипних робіт на кожному фронті робіт.

Перевагами методу є скорочення загального терміну зведення об'єкту. До недоліків методу слід віднести збільшення кількості виконавців в одиницю часу.

Паралельно-потоківий метод здійснюється поєднанням різнотипних робіт і паралельним виконанням однотипних робіт.

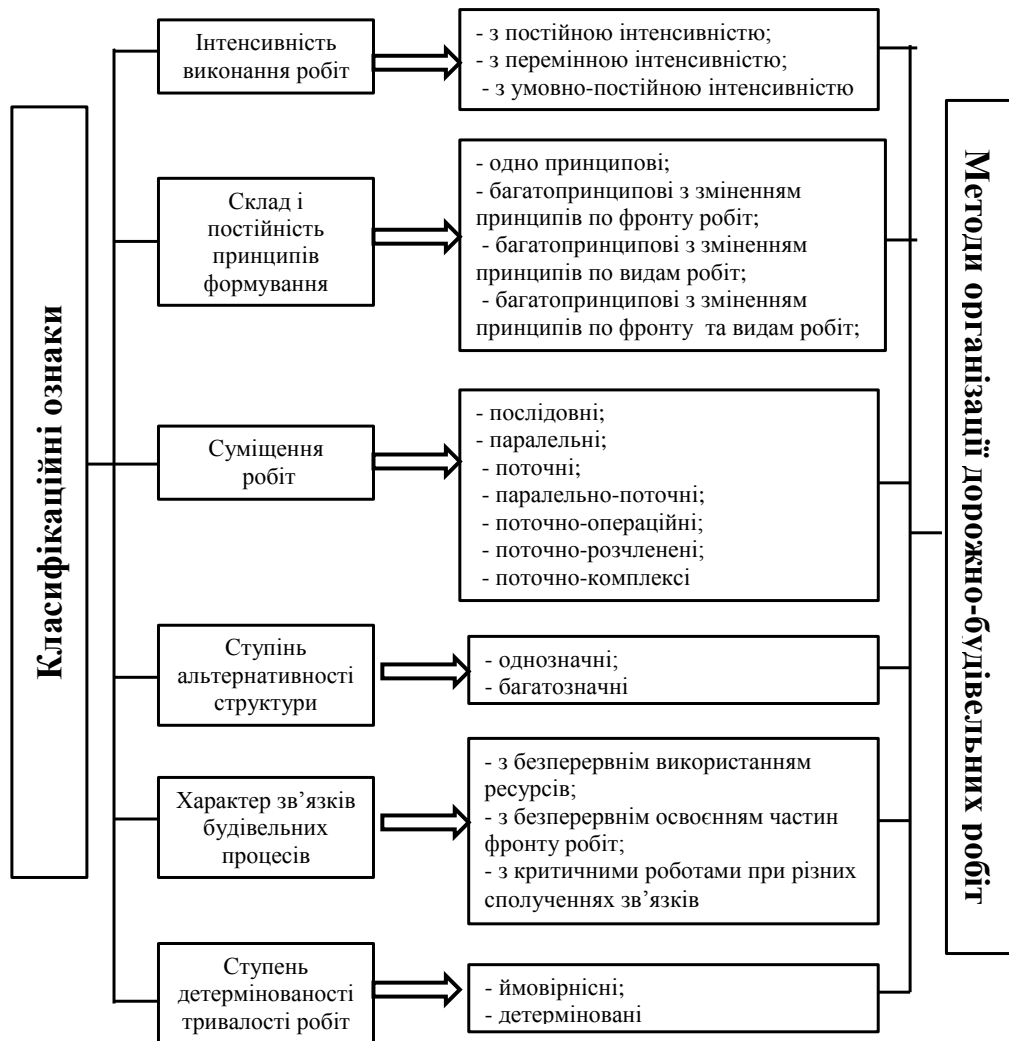


Рисунок 2.6 – Класифікація методів організації дорожно-будівельних робіт

Паралельно-потоківий метод здійснюється поєднанням різнотипних робіт і паралельним виконанням однотипних робіт[18,21,26].

Найбільш прогресивним і науково обґрунтованим визнаний потоківий метод організації дорожно-будівельних робіт. В окремих випадках знаходить застосування не потокова організація будівництва. У складних умовах будівництво доріг іноді організують змішаним методом, при якому частину робіт (як правило, велику) виконують потоковим методом, іншу - не потоковим (розосереджено або по ділянках).

### **3 ПРИНЦИПИ ПОТОЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО-БУДІВНИЦТВА ТА ОСОБЛИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ПОТОКІВ**

#### **3.1 Основні поняття та суть потокового будівництва**

Потоковим методом організації виробництва називають такий, при якому відбувається безперервний і рівномірний випуск продукції і відповідно безперервне і рівномірне використання трудових і матеріально-технічних ресурсів. Потоковий метод уперше був застосований у фабрично-заводській промисловості, звідки його розповсюдили на інші види виробництва, у тому числі і на будівництво. Лінійний характер дорожніх об'єктів сприяє успішному його застосуванню.

Суть потокового методу будівництва автомобільних доріг полягає в наступному: в рівні короткі проміжки часу (зміну, добу) закінчують будівництво рівних по довжині ділянок дороги, причому готову дорогу нарощують безперервною стрічкою в одному напрямі; усі роботи виконують механізованими загонами (підрозділами), спеціалізованими по основних видах робіт; спеціалізовані загони рівномірно один за одним пересуваються по дорозі, що будується, і послідовно виконують усі будівельно-монтажні роботи; після проходження останнього загону дорога повністю готова до здачі в експлуатацію [2, 18,21,25].

Суть потокового методу пояснимо на прикладі організації будівництва кількох однакових об'єктів, наприклад, одноповерхових житлових будинків. Принципово їх можна побудувати послідовним (рис. 3.1), паралельним (рис. 3.2) або потоковим (рис. 3.3) методами.

При послідовному методі кількість робітників-опоряджувальників дорівнює  $N$ ; ці робітники працюють з перервами; загальний термін будівництва групи об'єктів буде максимальним.





Рисунок 3.1 - Графік будівництва об'єктів при послідовному методі роботи бригад



Рисунок 3.2 - Графік будівництва об'єктів при паралельному методі роботи бригад

При паралельному методі робітники працюють без перерв, але кількість їх значно вища і дорівнює  $Nn$ , де  $n$  - кількість об'єктів, що

будуються; термін будівництва групи об'єктів - мінімальний, дорівнює терміну будівництва одного об'єкта. При потоковому методі робітники також працюють без перерв; їх кількість така сама, як при послідовному, але менша ніж при паралельному.



Рисунок 3.3 - Графік будівництва об'єктів при потоковому методі роботи бригад

Потоковий метод має ряд суттєвих переваг перед іншими методами організації робіт[20].:

– дорогу в дії вводять безперервно і рівномірно з перших днів після розгортання усіх робіт потоку, що дозволяє використати готові ділянки дороги для перевезення будівельних матеріалів. Транспорт загального користування також дістає можливість задовго до кінця будівництва пересуватися по закінченій частині дороги, що прискорює її окупність в народному господарстві.

– концентрація коштів механізації в спеціалізованих загонах дозволяє краще їх використати, створює сприятливі умови для обслуговування і ремонту, полегшує контроль за роботою машин ;

- спеціалізація робітників на виконанні обмеженого числа виробничих операцій сприяє підвищенню їх кваліфікації, що підвищує продуктивність праці і знижує собівартість робіт;
- зосередження робіт на відносно невеликій ділянці дороги полегшує оперативне керівництво роботами і контроль за їх якістю;
- уся система потокового будівництва підвищує загальну культуру робіт, скорочує терміни оборотності матеріальних і грошових засобів і обсяг незавершеного виробництва.

### **3.2 Класифікація будівельних потоків та методи організації потокового дорожнього будівництва**

Будівельні потоки класифікують за такими ознаками [18,20].

За структурою:

- а) спеціалізовані потоки, продукцією яких є однакові конструктивні елементи будівель або аналогічні види робіт (улаштування покрівлі, опоряджувальні роботи та ін.);
- б) об'єктні потоки, які складаються з кількох спеціалізованих потоків у межах об'єкта; продукція цих потоків - закінчені будівельні об'єкти;
- в) комплексні потоки – це поєднання об'єктних потоків зі зведення окремих різнотипних споруд, які становлять єдиний комплекс споруд.

За часовими параметрами (рис. 3.4):

- а) ритмічні потоки, в яких ритми роботи бригад на захватках однакові;
- б) кратноритмічні - ритми роботи бригад кратні між собою;
- в) різноритмічні - ритми робіт на захватках не однакові і не кратні між собою;
- г) сталі потоки, в яких  $\alpha > 0$ ;
- д) несталі потоки, де  $\alpha = 0$ .

За ступенем спеціалізації робочих бригад:

а) з повним розчленуванням процесів, де потоком є простий будівельний процес (наприклад, штукатурні роботи);

б) з частковим розчленуванням процесів, де потоком є складний будівельний процес (наприклад, опоряджувальні роботи, до яких належать штукатурні, малярні, шпалерні роботи)

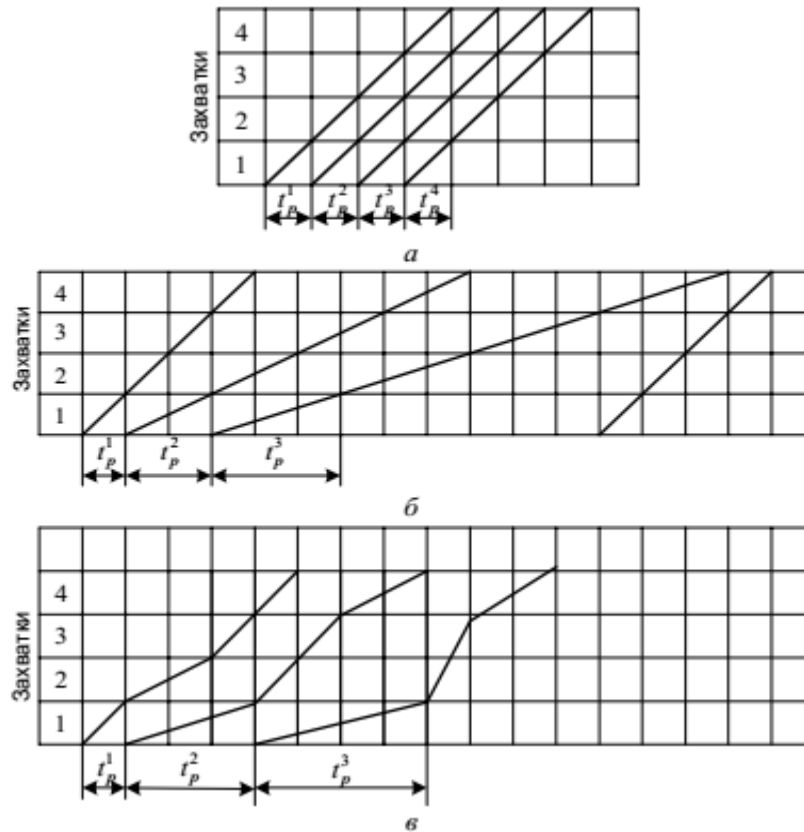


Рисунок 3.4 Види потоків залежно від ритму роботи бригад ( $t_p$  – ритми потоку): *а* - ритмічні; *б* - кратноритмічні; *в* - різноритмічні

Основною організаційною одиницею при потоковому будівництві автомобільних доріг є спеціалізований (чи частний) потік. Під спеціалізованим потоком розуміють комплекс усіх матеріально-технічних і трудових ресурсів, необхідних для будівництва окремої дорожньої конструкції або виконання окремого виду робіт поточковим методом, що знаходиться в дію.

Механізовані загони, що виконують роботи в спеціалізованих потоках, мають зазвичай постійний склад машин і робітників і відповідно постійну продуктивну потужність. Між тим деякі види робіт мають нерівномірний розподіл об'ємів по дорозі, що будується. У зв'язку з цим розрізняють два види потоку [18,19,20]:

- потік з постійною швидкістю (темпом), при якій спеціалізовані загони в рівні проміжки часу проходять рівні по довжині ділянки дороги ;
- потік зі змінною швидкістю (темпом), при якій спеціалізовані загони в рівні проміжки часу проходять різні по довжині ділянки дороги.

З постійною швидкістю працюють потоки по облаштуванню дорожнього одягу і земляного полотна в рівнинній місцевості, змінну швидкість найчастіше мають потоки по будівництву земляного полотна в пересіченій і гірській місцевостях, штучних споруд і інші.

Швидкість потоку може змінюватися також при вступі в спеціалізовані підрозділи додаткових коштів механізації або при зміні технології.

Окрім підрозділів, працюючих безпосередньо в потоках по виконанню лінійних робіт, на будівництві автомобільних доріг організують спеціалізовані підрозділи для зосереджених робіт великих об'ємів. Виконувати їх слід також потоковим методом. Проте параметри потоку на ділянці зосереджених робіт різко відрізняються від параметрів потоку лінійних робіт.

Для виконання заготівельних і транспортних робіт також створюють спеціалізовані підрозділи: машинно-кар'єрні загони; підрозділи, обслуговуючі асфальтобетонні, цементобетонні і каменедробильні заводи, полігони залізобетонних деталей і конструкцій, бітумні бази і інші виробничі підприємства заводського і базового типу; автомобільні колони.

Об'єднання усіх спеціалізованих лінійних потоків, ресурсів, зайнятих на зосереджених роботах, підприємств виробничої бази будівництва і

транспортних підрозділів утворює комплексний потік по будівництву автомобільної дороги.

Це об'єднання повинне мати у своїй основі узгодження і взаємну ув'язку дії усіх підрозділів так, щоб забезпечити безперервність і ритмічність будівництва, найбільшу продуктивність праці, найменшу вартість і найвищу якість робіт.

Дороги невеликої протяжності будують зазвичай одним комплексним потоком, значній протяжності - одним потоком впродовж ряду років або коротші терміни декількома одночасно діючими потоками. У останньому випадку дорогу розділяють на ділянки і на кожному організують комплексний потік.

Організацію потокового будівництва автомобільних доріг характеризують чисельним значенням ряду параметрів дорожньо-будівельних спеціалізованих і комплексних потоків.

1) Темп спеціалізованого потоку - протяжність ділянки дороги в метрах або кілометрах, на якому спеціалізований загін виконує усі покладені на нього роботи в одиницю часу (зміну або добу). Швидкість комплексного потоку - протяжність ділянки дороги, повністю закінченого в одиницю часу (зміну або добу). Швидкість - основний показник потоку, що характеризує продуктивність механізованих загонів, а отже, міра оснащення їх засобами механізації і рівень їх використання. Величина швидкості зазвичай визначає чисельне значення інших параметрів потоку. Слід прагнути до організації потоків з максимальною швидкістю. В умовах рівнинної і пересіченої місцевості при достатньому оснащення засобами механізації можна забезпечити швидкість комплексного потоку по будівництву автомобільних доріг 2 - 5 категорій 200 - 300 м. у зміну. У міру вдосконалення дорожньо-будівельних машин технології робіт швидкість потокового будівництва автомобільних доріг збільшуватиметься, тому приведені цифри не є межею.

2) Час дії потоку - тривалість роботи усіх засобів потоку. Для спеціалізованого потоку - це тривалість роботи усіх трудових і матеріально-

технічних ресурсів спеціалізованого загону, включаючи періоди розгортання і згортання робіт. Для комплексного потоку - цей час від початку роботи першого спеціалізованого загону до кінця роботи останнього. При багаторічному будівництві одного об'єкту розрізняють річний і повний час дії потоку. Під річним часом розуміють тривалість дії потоку впродовж одного року. Воно може складати від декількох місяців до одного року. Під повним часом розуміють тривалість дії багаторічного потоку(2-3 роки). Комплексний потік, що охоплює усі види робіт в повному об'ємі, у більшості випадків діє тільки в межах сезону плюсових температур. У зв'язку з цим річний час дії комплексного потоку для середньої частини складає від 5 до 7 місяців, на півдні воно збільшується до 9-10, на півночі скорочується до 3-4 місяців.

3) Ділянка роботи потоку (комплексного або спеціалізованого) - ділянка дороги, який може бути побудований одним потоком. Довжина ділянки роботи потоку залежить від швидкості потоку, а так само від кліматичних умов району будівництва і прийнятої технології робіт. Орієнтовно довжину річної ділянки роботи комплексного потоку в південних областях можна приймати для рівнинної місцевості 75-100 км, пересіченою-60-70, гороною-25-30 км; у центральних і північних областях для рівнинної місцевості-40-60 км, пересіченою-30-40 і гірською-15-25 км.

4) Довжина ( захватка ) спеціалізованого потоку - ділянка дороги, на якій розміщені і працюють усі засоби механізованого потоку. У ряді випадків довжина потоку чисельно дорівнює його швидкості. При цьому спеціалізований загін за зміну (чи доба) повністю закінчують на захватці усі роботи. Якщо з технологічних або організаційних міркувань необхідно збільшувати захватку, то її роблять кратній змінній швидкості потоку, а спеціалізований загін працює на ній стільки змін(чи доби), в скільки разів довжина захватки більше швидкості потоку.

5) Довжина (фронт робіт) комплексного потоку - ділянка дороги, зайнятий усіма спеціалізованими загонами, що входять в комплексний потік.

Довжина комплексного потоку дорівнює сумі довжин спеціалізованих потоків і сумі заділів і технологічних розривів, що залишаються між спеціалізованими потоками. Вільні від засобів виробництва ділянки дороги (заділи по окремих видах робіт), що будується, потрібні як резерв фронту робіт для регулювання швидкостей спеціалізованих потоків у разі непередбачених затримок окремих з них. Довжина комплексного потоку характеризує ділянку дороги, що знаходиться у виробництві. Вона залежить від складності споруджуваних конструкцій і прийнятої технології робіт. Найбільша довжина комплексного потоку буде на будівництві дороги з вдосконаленим багатошаровим покриттям. Для доріг 2 і 3 категорій довжина комплексного потоку коливається в середньому в межах 5-10 км.

При організації цілорічного будівництва в зимовий період зазвичай виконують вибірково окремі види робіт, і загальна довжина ділянки дороги, що знаходиться у виробництві, значно збільшується. Іноді можливо так само розділення комплексного потоку на дві частини з розривом в часі, приблизно рівним одному року. У перший рік будують штучні споруди і земляне полотно, в другій - дорожній одяг. В цьому випадку під фронтом робіт ( довгою потоку ) слід розуміти ділянку дороги, зайняту відповідною частиною комплексного потоку (окремо для першого і другого року будівництва ).

б) Період розгортання потоку - період часу, необхідний за технологічними і організаційними умовами для послідовного введення в роботу усіх засобів механізації потоку. Для спеціалізованого потоку тривалість розгортання зазвичай обмежена однією - двома змінами. Для комплексного потоку період розгортання дорівнює часу, необхідному для введення в роботу усіх спеціалізованих загонів. Період розгортання комплексного потоку залежить від кількості і тривалості розгортання складових його спеціалізованих потоків і від технологічних розривів в часі між ними. Впродовж періоду розгортання комплексного потоку на початку будівництва нової дороги машини спеціалізованих потоків, що включаються



в роботу не першими, простоюють, що зменшує довжину річної ділянки роботи комплексного потоку.

Нераціонально запроектовані багат шарові конструкції дорожнього одягу у поєднанні з розтягнутими в часі способами виробництва робіт можуть подовжити період розгортання до місяця і навіть більше. При розробці організації робіт слід обмежувати період розгортання 10 - 15 днями. При багаторічному потоці не можна допускати на початку кожного подальшого року розгортання потоку наново від нуля. Перерви (якщо вони мають місце) на зимовий період слід робити так, щоб зберегти необхідний заділ по кожному виду робіт для розгортання в подальшому році усього комплексного потоку в найкоротші терміни.

7) Період згортання потоку - період часу, необхідний для послідовного виводу з роботи усіх засобів механізації потоку після повного закінчення робіт. Для спеціалізованого потоку цей період дорівнює одній або двом змінам. Для комплексного потоку період згортання дорівнює проміжку часу від кінця роботи першої машини першого спеціалізованого загону до кінця роботи останньої машини останнього спеціалізованого загону.

8) Період потоку, що встановився, - період роботи потоку з постійною швидкістю. Для комплексного потоку - це період одночасної дії усіх складових його потоків з постійною (чи що трохи змінюється) швидкістю. Чисельно період потоку, що встановився, дорівнює часу від кінця розгортання до початку згортання. У цей період найефективніше використовуються усі ресурси будівництва і повною мірою проявляються усі переваги потокового методу організації робіт.

Потокову організацію будівництва лінійних об'єктів можна характеризувати лінійним календарним графіком в плоскій системі координат. На таких графіках в умовному масштабі відкладають по вертикалі час, а по горизонталі довжину дороги. Оскільки при потоковій організації будівництва доріг безперервно змінюється час і місце виробництва робіт, то кожен приватний потік можна уявити собі у вигляді точки, що переміщається

в системі плоских координат. Лінії, що є слідом точки, що рухається, характеризують роботу окремих потоків в часі і просторі.

Для використання на виробництві в якості робочого документу графіки комплексних потоків розробляють детальніше. Графічне зображення потоку дозволяє дати математичне вираження зв'язку його основного параметра (швидкості) з іншими параметрами.

Поєднання графічного зображення усіх приватних потоків на одному кресленні полегшує взаємну ув'язку їх робіт і дає наочне уявлення про основні параметри комплексного потоку. Розробку лінійних календарних графіків розпочинають з визначення швидкостей спеціалізованих і комплексних потоків і встановлення термінів виробництва кожного виду робіт. Швидкості кожного приватного потоку окремо і комплексного потоку в цілому повинні забезпечувати; закінчення будівництва дороги в задані терміни, найкраще використання ресурсів будівництва дороги в задані терміни, найкраще використання ресурсів будівництва і найменшу вартість робіт.

Виходячи з двох останніх вимог швидкості потоку визначають шляхом варіантного проектування технологічних схем. Техніко-економічним порівнянням знаходять оптимальне рішення по ув'язці продуктивності машин, зайнятих на будівельно-монтажних роботах, з продуктивністю транспорту і виробничих підприємств, а також за найменшою вартістю виробництва робіт. У більшості випадків економічними бувають потоки з більшою швидкістю.

Рівень організації комплексного потоку (рис.3.5) характеризується також рівномірністю використання трудових і матеріально-технічних ресурсів. Графічно використання ресурсів відбивається епюрами їх руху в часі. Зазвичай ці епюри для наочності зображують на одному кресленні з лінійними календарними графіками організації робіт. Чим ближче контур епюри до прямокутника, тим вище рівномірність використання ресурсів.

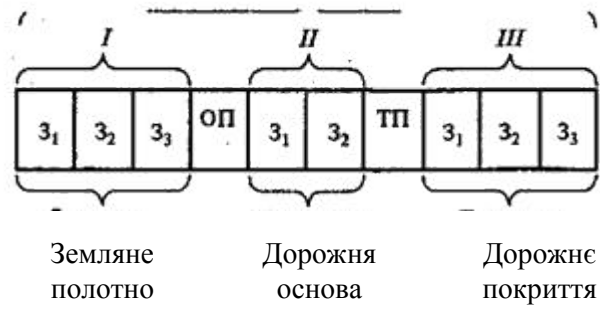


Рисунок 3.5 - План-схема комплексного потоку будівництва дороги:  
 I, II, III - спеціалізовані потоки; 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub> - захватки; ОП - організаційна перерва; ТП - технологічна перерва

Будівництво доріг невеликої протяжності здійснюють одним комплексним потоком. При значній протяжності дороги її будівництво здійснюється або одним потоком впродовж декількох років, або в коротші терміни декількома одночасно діючими потоками.

Частіше потреба будівництва в матеріально-технічних і трудових ресурсах менше взимку, в початковому і завершальному періоді на кожному окремому об'єкті. При проектуванні організації робіт необхідно розробляти заходи по раціональному використанню будівельних кадрів і засобів механізації на ці періоди. Для цього слід планувати дорожньо-будівельним організаціям роботи на декілька років вперед, завчасно створювати будівельні заділи на нових об'єктах, передбачати проведення деякої частини будівельних, транспортних і заготівельних робіт, а також і ремонт машин і механізмів в зимовий період.

## 4 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УВ'ЯЗКИ БУДІВЕЛЬНИХ ПОТОКІВ

### 4.1 Постановка завдання і початкові дані

Розглянуті теоретичні положення та принципи потокового методу застосовуємо на прикладі виробництва комплексно-механізованих будівельних і дорожньо - будівельних робіт.

Розглянемо укладання бетонної смуги комплектом машин для швидкісного будівництва автомобільних доріг. Види робіт і необхідні засоби механізації приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Видів робіт і необхідні засоби механізації

Види робіт	Наявність засобів механізації	Продуктивність	Ширина захоплення, м
1. Профілізація основи дороги	Профілювальник	120 м <sup>3</sup> /ч	8,5
2. Розподіл бетону	Бетонорозподілювач	240 м <sup>3</sup> /ч	7,5
3. Укладання і ущільнення бетону	Бетоноукладач	120 м <sup>3</sup> /ч	7,5
4. Обробка бетону	Трубчастий фінішер	1500 м/см	7,5
5. Нарізка подовжніх швів	Нарезчик швів	100 м/ч	

Параметри ділянок : їх довжина, товщина основи ґрунту, що знімається профілювальником, і товщина що укладається бетононасосом і бетоноводом бетону зводимо у таблицю 4.2.

Потрібно сформувані і розрахувати неритмічний потік комплексно-механізованих будівельних робіт і оптимізувати його за критерієм часу.

Таблиця 4.2 - Початкові дані для розрахунку

Номери ділянок						Товщина грунту, що знімається, см	Товщина бетону, що укладається, см
1	2	3	4	5	6		
Довжина ділянок, км							
3	4	5	4	7	2	15	30

#### 4.2 Порядок виконання роботи

Розрахунок неритмічного потоку будь-якого типу виконується в наступній послідовності:

- 1) розбиття загального фронту робіт на ряд приватних об'єктів - приватні фронти робіт;
- 2) розділення комплексу робіт на окремі види робіт - приватні потоки;
- 3) розрахунок необхідної тривалості приватних потоків на приватних фронтах;
- 4) розрахунок мережевої для матриці моделі потоку;
- 5) оптимізація потоку за критерієм часу за рахунок встановлення раціональної черговості освоєння приватних фронтів.

Розбиття загального фронту робіт на ряд часткових фронтів виконується виходячи з технологічних умов будівництва. Розміри часткових фронтів визначаються виходячи з чисельності провідних засобів механізації (машин) і їх оптимальних фронтів роботи. Об'єми робіт на окремих часткових фронтах, як правило, різні.

Розділення комплексу робіт на часткові потоки виконується з умови, що кожен частковий потік складається з таких видів робіт, які можуть з достатньою ефективністю спільно виконуватися на одному і тому ж частковому фронті одним комплектом машин.

Як провідна частка потоку приймається найбільш трудомісткий вид робіт, що виконується найбільш потужними і продуктивними машинами.

При будь-якому виді неритмічного потоку, тобто не лише для потоків з безперервним використанням ресурсів, але і потоків з безперервним освоєнням часткових фронтів і потоків з критичними шляхами, той, що веде частковий потік повинен мати безперервність зайнятості машин при переході з одного приватного фронту на інший.

Розрахунок необхідної тривалості робіт на часткових фронтах встановлюється виходячи з експлуатаційної продуктивності машин і об'ємів робіт на часткових фронтах. Методи розрахунку сітьової для матриці моделі і оптимізації потоку за критерієм часу різні для різних типів неритмічних потоків.

#### **4.3 Формування і розрахунок неритмічних потоків з безперервним використанням ресурсів**

У дорожньому будівництві потоково-швидкісні методи отримали найбільше поширення при спорудженні автомобільних доріг з капітальними покриттями.

При потоковому будівництві об'єкт робіт ділиться на часткові фронти (захватки), а комплекс робіт - на часткові потоки (види робіт).

Найбільш загальним і часто таким, що зустрічається виглядом будівельних потоків є неритмічні потоки. У неритмічних потоках тривалість різних видів робіт, що виконуються на одному приватному фронті, різна. Крім того, як правило, різною є також і тривалість однотипних робіт, що виконуються на різних фронтах.

Залежно від необхідних умов організації будівельних робіт неритмічні потоки можуть бути наступних типів:

- 1) з безперервним використанням ресурсів;
- 2) з безперервним освоєнням приватних фронтів;
- 3) з критичними шляхами.

Неритмічні потоки з безперервним використанням ресурсів формуються в умовах високої механоозброєності робіт.

При цьому методі формування потоку повністю відсутні простоя засобів механізації і робочої сили.

Комплект машин, що виконує той або інший вид робіт, закінчивши роботи на одному частинному фронті, негайно переходить на наступний частинний фронт. Неритмічні потоки з безперервним освоєнням частинних фронтів формуються виходячи з умов безперервності виробництва робіт на кожному приватному фронті.

Неритмічні потоки з критичними шляхами дають можливість встановлення найбільш короткої тривалості поточкових робіт. При цьому методі формуванні потоку можливі, проте, короточасні простоя будівельних машин.

В умовах комплексної механізації будівельних процесів найбільш часто застосування знаходять неритмічні потоки з безперервним використанням ресурсів. Потоки з критичними шляхами формуються при необхідності найбільшого скорочення тривалості робіт.

Після розбиття загального фронту робіт на частинні фронти і розділення комплексу робіт на частинні потоки робиться розрахунок тривалості робіт на окремих частих фронтах. Отримані дані про необхідну тривалість робіт заносяться в матрицю формування потоку (таблиця 4.9).

Матриці формування потоку можуть бути складені в системі освоєння фронту робіт (ОФР) і в системі ордината видів робіт (ОВР). У рядках матриці вказуються частинні фронти, а в стовпцях - частинні потоки. При формуванні матриці в системі ОВР в рядках матриці записуються частинні потоки, а в стовпцях - частинні фронти. Переклад матриць з системи ОФР в систему ОВР (чи навпаки) здійснюється шляхом їх транспонування.

Елементами матриці служить тривалість частинних потоків на частинних фронтах. У нижньому рядку матриці підраховується тривалість кожного частинного потоку.

У матрицю заносяться також значення періодів розгортання кожного частинного потоку по відношенню до попереднього.

Періодом розгортання приватного потоку називається час, через який можуть бути розпочаті роботи цього потоку після початку робіт попереднього потоку.

Періоди розгортання приватних потоків по відношенню до попередніх визначаються окремо для кожного приватного фронту.

В якості розрахункового періоду розгортання береться максимальне значення з числа вчислених по усіх приватних фронтах.

В першу чергу зробимо розбиття загального фронту робіт на приватні фронти і комплексу робіт на приватні потоки, розрахувавши тривалість робіт на окремих приватних фронтах.

Розрахунок тривалості потоку А

$$T_{A_i} = \frac{L \cdot h \cdot B}{\Pi \cdot 8,2}, \text{ змін} \quad (4.1)$$

$$T_{A_1} = \frac{3000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 4 \text{ змін}$$

$$T_{A_4} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 6 \text{ змін}$$

$$T_{A_2} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 6 \text{ змін}$$

$$T_{A_5} = \frac{7000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 10 \text{ змін}$$

$$T_{A_3} = \frac{5000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 7 \text{ змін}$$

$$T_{A_6} = \frac{2000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 3 \text{ змін}$$

Розрахунок тривалості потоку Б

$$T_{B_i} = \frac{L \cdot h \cdot B}{\Pi \cdot 8,2}, \text{ змін} \quad (4.2)$$

$$T_{B_1} = \frac{3000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{240 \cdot 8,2} = 7 \text{ змін}$$

$$T_{B_4} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{240 \cdot 8,2} = 5 \text{ змін}$$

$$T_{B_2} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{240 \cdot 8,2} = 5 \text{ змін}$$

$$T_{B_5} = \frac{7000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{240 \cdot 8,2} = 8 \text{ змін}$$

$$T_{B_3} = \frac{5000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{240 \cdot 8,2} = 6 \text{ змін}$$

$$T_{B_6} = \frac{2000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{240 \cdot 8,2} = 3 \text{ змін}$$

Розрахунок тривалості потоку В



$$T_{B_1} = \frac{L \cdot h \cdot B}{\Pi \cdot 8,2}, \text{ змін} \quad (4.3)$$

$$T_{B_1} = \frac{3000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{120 \cdot 8,2} = 7 \text{ змін}$$

$$T_{B_4} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{120 \cdot 8,2} = 10 \text{ змін}$$

$$T_{B_2} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{120 \cdot 8,2} = 10 \text{ змін}$$

$$T_{B_5} = \frac{7000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{120 \cdot 8,2} = 16 \text{ змін}$$

$$T_{B_3} = \frac{5000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{120 \cdot 8,2} = 12 \text{ змін}$$

$$T_{B_6} = \frac{2000 \cdot 0,15 \cdot 7,5}{120 \cdot 8,2} = 5 \text{ змін}$$

Розрахунок тривалості потоку Г

$$T_{\Gamma} = \frac{L}{\Pi}, \text{ змін} \quad (4.4)$$

$$T_{A_1} = \frac{3000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 4 \text{ змін}$$

$$T_{A_4} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 6 \text{ змін}$$

$$T_{A_2} = \frac{4000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 6 \text{ змін}$$

$$T_{A_5} = \frac{7000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 10 \text{ змін}$$

$$T_{A_3} = \frac{5000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 7 \text{ змін}$$

$$T_{A_6} = \frac{2000 \cdot 0,15 \cdot 8,5}{120 \cdot 8,2} = 3 \text{ змін}$$

Розрахунок тривалості потоку Д

$$T_{\Delta} = \frac{L}{\Pi \cdot 8,2}, \text{ смєн} \quad (4.5)$$

$$T_{A_1} = \frac{3000}{100 \cdot 8,2} = 4 \text{ змін}$$

$$T_{A_4} = \frac{4000}{100 \cdot 8,2} = 5 \text{ змін}$$

$$T_{A_2} = \frac{4000}{100 \cdot 8,2} = 5 \text{ змін}$$

$$T_{A_5} = \frac{7000}{100 \cdot 8,2} = 9 \text{ змін}$$

$$T_{A_3} = \frac{5000}{100 \cdot 8,2} = 7 \text{ змін}$$

$$T_{A_6} = \frac{2000}{100 \cdot 8,2} = 3 \text{ змін}$$

$$\sum t_A = 4 + 6 + 7 + 6 + 10 + 3 = 36$$

$$\sum \dot{\Delta}_A = 4 + 5 + 6 + 5 + 8 + 3 = 31$$

$$\sum \dot{\Delta}_B = 7 + 10 + 12 + 10 + 16 + 5 = 60$$

$$\sum \dot{\Delta}_A = 2 + 3 + 4 + 3 + 5 + 2 = 19$$

$$\sum \dot{\Delta}_A = 4 + 5 + 7 + 5 + 9 + 3 = 33$$

Таблиця 4.3 - Матриця формування потоку

Частинні фронти	Частинні потоки				
	А	Б	В	Г	Д
1	4	4	7	2	4
2	6	5	10	3	5
3	7	6	12	4	7
4	6	5	10	3	5
5	10	8	16	5	9
6	3	3	5	2	3
Σ	36	31	60	19	33

Розрахунок тривалості періоду розгортання на кожному частинному фронті виконується за формулами та таблицю 4.4

Таблиця 4.4 - Розрахунок тривалості періоду розгортання

Частные фронты	Продолжительность			
	$T_{РАЗВ} = \left(\frac{Б}{А}\right)$	$T_{РАЗВ} = \left(\frac{В}{Б}\right)$	$T_{РАЗВ} = \left(\frac{Г}{В}\right)$	$T_{РАЗВ} = \left(\frac{Д}{Г}\right)$
1	4	4	7	2
2	6	2	15	1
3	8	-2	24	0
4	8	-9	30	-4
5	13	-11	43	-4
6	8	-24	43	-11
$T_{РАСЧ} = \max T_{РАЗВ}$	13	4	43	2

Загальна тривалість комплексу поточних робіт визначається за формулою:

$$T_{ОБЩ} = \sum_{(Б/А)}^{(Д/Г)} T_{Розр} + T_{Закл}, \quad (4.6)$$

де  $T_{закл}$  - сума продовжителності работ в последнем частном потоке.

$$Q_A = 13 + 4 + 43 + 2 + 33 = 95 \text{ змін}$$

Відповідно до даних матриці формування будується календарний графік виробництва поточних робіт.

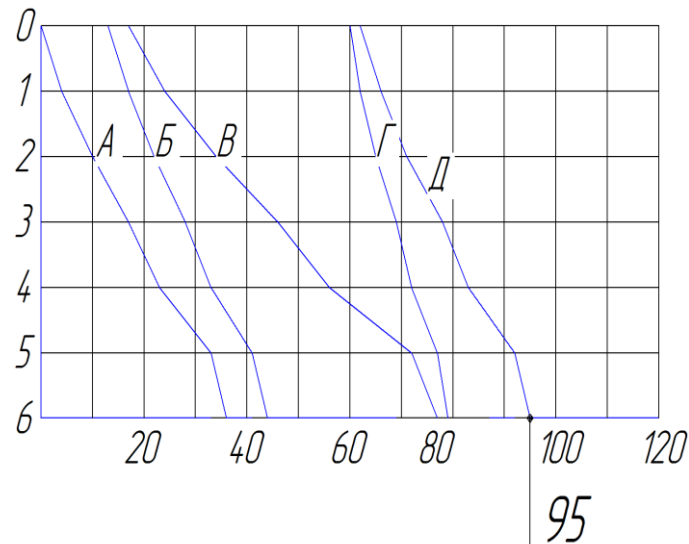


Рисунок 4.1 - Календарний графік потоку з безперервним використанням ресурсів

Оптимізація потоку по параметру часу виконується за рахунок раціональної черговості освоєння частинних фронтів, що дозволяє зменшити сумарне значення періодів розгортання.

Розрахунок оптимізації робиться по алгоритму Афанасьєва-Джонсона. У основу розрахунку покладено правило Джонсона (1954г), що дозволяє вибирати раціональну черговість освоєння часткових фронтів для двох стовпчастої матриці, що описує взаємодію двох часткових потоків.

У початковій матриці по черзі розглядаються усі її рядки, і виявляється робота з найменшою тривалістю.

Якщо робота з мінімальною тривалістю розташована в першому стовпці матриці, то цей рядок переноситься на перше місце і надалі не розглядається. Якщо робота з мінімальною тривалістю розташована в другому стовпці, то увесь рядок, що містить цю роботу, переноситься на останнє місце і також надалі не розглядається.

Професором В.А. Афанасьєвим в розвиток алгоритму Джонсона запропонований алгоритм, що дозволяє вибрати раціональну черговість освоєння часткових фронтів для неритмічного потоку з безперервним використанням ресурсів, що складається з будь-якого числа часткових

потоків. Алгоритм Афанасьєва-Джонсона має наступну послідовність розрахунків :

1. Початкова матриця з  $\mu$  приватних потоків розбивається на  $\mu-1$  парних підматриць.

2. Кожна з парних підматриць оптимізується за правилом Джонсона.

3. Кожна з оптимізованих підматриць по черзі береться за генеральну, по якій переформовується початкова матриця таким чином, що для усіх її стовпців приймається послідовність освоєння, вказана в оптимізованій підматриці.

4. Для кожного варіанту формування розраховуються періоди розгортання усіх приватних потоків. Мінімальне значення суми періодів розгортання відповідатиме оптимальному варіанту черговості освоєння приватних фронтів. Відповідно до оптимізованого варіанту матриці формування потоку знову будується мережевий календарний графік виробництва поточкових робіт.

$$I_{\text{ESO}} = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{bmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} \\ 4 & 4 & 7 & 24 \\ 6 & 5 & 10 & 35 \\ 7 & 6 & 12 & 47 \\ 6 & 5 & 10 & 35 \\ 10 & 8 & 16 & 59 \\ 3 & 3 & 5 & 23 \end{bmatrix}$$

$$\dot{I}_1 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \hat{A} & \hat{A} \\ 4 & 4 \\ 6 & 5 \\ 7 & 6 \\ 6 & 5 \\ 10 & 8 \\ 3 & 3 \end{pmatrix}; \quad \dot{I}_2 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \hat{A} & \hat{A} \\ 4 & 7 \\ 5 & 10 \\ 6 & 12 \\ 5 & 10 \\ 8 & 16 \\ 3 & 5 \end{pmatrix}; \quad \dot{I}_3 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \hat{A} & \hat{A} \\ 7 & 2 \\ 10 & 3 \\ 12 & 4 \\ 10 & 3 \\ 16 & 5 \\ 5 & 2 \end{pmatrix}; \quad \dot{I}_4 = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \tilde{A} & \tilde{A} \\ 2 & 4 \\ 3 & 5 \\ 4 & 7 \\ 3 & 5 \\ 5 & 9 \\ 2 & 3 \end{pmatrix}.$$

Оптимізація по підматриці  $M_1$ :

Визначаємо за правилом Джонсона оптимальну черговість освоєння часткових фронтів :

$$I_i = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} \\ 4 & 4 \\ 6 & 5 \\ 7 & 6 \\ 6 & 5 \\ 108 \\ 3 & 3 \end{pmatrix} \qquad I_i = \begin{matrix} 6 \\ 1 \\ 5 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} \\ 3 & 3 \\ 4 & 4 \\ 108 \\ 7 & 6 \\ 6 & 5 \\ 6 & 5 \end{pmatrix}$$

Відповідно до методу Афанасьєва приймаємо цю підматрицю за основну, визначальну черговість робіт, і озраховуємо по ній періоди розгортання і загальну тривалість робіт :

$$M_{\text{звн}(1)} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & B & B & \Gamma & D \end{matrix} \\ \begin{matrix} 6 \\ 1 \\ 5 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \\ \Sigma \end{matrix} & \begin{pmatrix} 3 & 3 & 5 & 2 & 3 \\ 4 & 4 & 7 & 2 & 4 \\ 10 & 8 & 16 & 5 & 9 \\ 7 & 6 & 12 & 4 & 7 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 36 & 31 & 60 & 19 & 33 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Таблиця 4.5 – Розрахунок періодів розгортання і загальної тривалість робіт підматриці  $M_1$

Частковий фронт	Тривалість, змін			
	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{A}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{\Gamma}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{D}{\Gamma}\right)$
6	3	3	5	2
1	4	2	10	1
5	10	3	24	2
3	9	-7	31	-3
2	9	-14	37	-7
4	10	-19	44	-9
$T_{PAC4} = \max T_{PA3B}$	10	3	44	2

$$Q_{A1} = 10 + 3 + 44 + 2 + 33 = 92 \text{ змін}$$

Таким чином, при цій черговості освоєння часткових фронтів загальна тривалість виробництва робіт, дає скорочення на 3 дні проти початкового варіанту.

Оптимізація по підматриці  $M_2$

$$I_i = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} \\ 4 & 7 \\ 5 & 10 \\ 6 & 12 \\ 5 & 10 \\ 8 & 16 \\ 3 & 5 \end{pmatrix} \quad I_i = \begin{matrix} 6 \\ 1 \\ 2 \\ 4 \\ 5 \\ 5 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} \\ 3 & 5 \\ 4 & 7 \\ 5 & 10 \\ 5 & 10 \\ 6 & 12 \\ 8 & 16 \end{pmatrix} \quad I_{\text{ESO}} = \begin{matrix} 1 \\ 6 \\ 2 \\ 5 \\ 4 \\ 3 \\ \Sigma \end{matrix} \begin{bmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} \\ 4 & 4 & 7 & 2 & 4 \\ 3 & 3 & 5 & 2 & 3 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 10 & 8 & 16 & 5 & 9 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 7 & 6 & 12 & 4 & 7 \\ 3631601933 \end{bmatrix}$$

Таблиця 4.6 – Розрахунок періодів розгортання і загальної тривалість робіт підматриці  $M_2$

Частковий фронт	Тривалість			
	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{A}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{\Gamma}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{D}{\Gamma}\right)$
1	4	4	7	2
6	3	0	10	0
2	6	0	18	0
5	11	-2	31	0
4	9	-13	36	-6
3	11	-17	45	-7
$T_{PAC4} = \max T_{PA3B}$	11	4	45	2

$$Q_{A2} = 11 + 4 + 45 + 2 + 33 = 95 \text{ змін}$$

Таким чином, при цій черговості освоєння часткових фронтів загальна тривалість виробництва робіт дорівнюватиме початковому варіанту.

Оптимізація по підматриці  $M_3$

$$I_i = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} \\ 7 & 2 \\ 10 & 3 \\ 12 & 4 \\ 10 & 3 \\ 16 & 5 \\ 5 & 2 \end{pmatrix} \quad I_i = \begin{matrix} 5 \\ 3 \\ 4 \\ 2 \\ 1 \\ 46 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} \\ 16 & 5 \\ 12 & 4 \\ 10 & 3 \\ 10 & 3 \\ 7 & 2 \\ 5 & 2 \end{pmatrix} \quad I_{\text{ESO}} = \begin{matrix} 5 \\ 3 \\ 4 \\ 2 \\ 1 \\ 6 \\ \Sigma \end{matrix} \begin{bmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} \\ 10 & 8 & 16 & 5 & 9 \\ 7 & 6 & 12 & 4 & 7 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 4 & 4 & 7 & 2 & 4 \\ 3 & 3 & 5 & 2 & 3 \\ 3631601933 \end{bmatrix}$$

Генеральна матриця №3 генеральної матриці №1, отже, періоди розгортання у них будуть однакові.

Таблиця 4.7 – Розрахунок періодів розгортання і загальної тривалість робіт підматриці  $M_3$

Частковий фронт	Тривалість, змін			
	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{A}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{\Gamma}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{D}{\Gamma}\right)$
5	10	8	16	5
3	9	-2	23	0
4	9	-9	29	-4
2	10	-14	36	-6
1	9	-20	40	-9
6	8	-24	43	-11
$T_{PAC4} = \max T_{PA3B}$	10	8	43	5

$$Q_{A3} = 10 + 8 + 43 + 5 + 33 = 99 \text{ змін}$$

Таким чином, при цій черговості освоєння часткових фронтів загальна тривалість виробництва робіт буде більше початкового варіанту на 4 дні.

Оптимізація по підматриці  $M_4$

$$I_i = \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A}\ddot{A} \\ 24 \\ 35 \\ 47 \\ 35 \\ 59 \\ 23 \end{pmatrix} \quad I_i = \begin{matrix} 6 \\ 1 \\ 2 \\ 4 \\ 3 \\ 5 \end{matrix} \begin{pmatrix} \ddot{A}\ddot{A} \\ 23 \\ 24 \\ 35 \\ 35 \\ 47 \\ 59 \end{pmatrix} \quad I_{ESO} = \begin{matrix} 6 \\ 1 \\ 2 \\ 4 \\ 3 \\ 5 \\ \Sigma \end{matrix} \begin{bmatrix} \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} & \ddot{A} \\ 3 & 3 & 5 & 2 & 3 \\ 4 & 4 & 7 & 2 & 4 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 6 & 5 & 10 & 3 & 5 \\ 7 & 6 & 12 & 4 & 7 \\ 10 & 8 & 16 & 5 & 9 \\ 36 & 31 & 60 & 19 & 33 \end{bmatrix}$$

$$Q_{A4} = 13 + 3 + 46 + 2 + 33 = 97 \text{ змін}$$

Таким чином, при цій черговості освоєння приватних фронтів загальна тривалість виробництва робіт буде більше початкового варіанту.

Таблиця 4.8 – Розрахунок періодів розгортання і загальної тривалість робіт підматриці  $M_4$

Частковий фронт	Тривалість, змін			
	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{A}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{B}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{\Gamma}{B}\right)$	$T_{PA3B} = \left(\frac{D}{\Gamma}\right)$
6	3	3	5	2
1	4	2	10	1
2	6	0	18	0
4	7	-5	25	-2
3	9	-9	34	-3
5	13	-13	46	-5
$T_{PACЧ} = \max T_{PA3B}$	13	3	46	2

Таким чином оптимальним варіантом є основна матриця №1, варіант черговості освоєння часткових фронтів.

Побудуємо календарний графік потоку з безперервним використанням ресурсів для основної матриці №1.

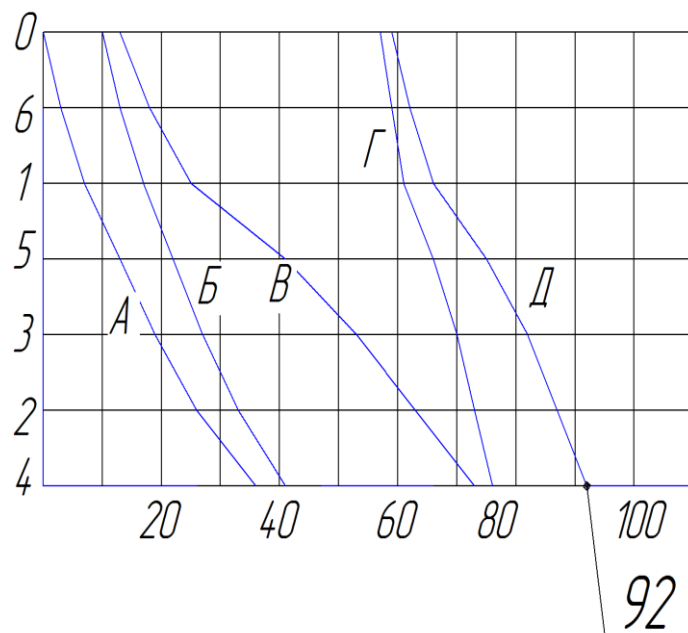


Рисунок 4.2 - Календарний графік потоку з безперервним використанням ресурсів для основної матриці №1



#### 4.4 Формування і розрахунок неритмічних потоків з критичними шляхами

При необхідності виробництва робіт в найбільш стислі терміни формування потоку виконується методами сітьового планування.

Розрахунок потоку в цьому випадку складається з двох етапів:

- 1) складається сітьова для матриці модель потоку;
- 2) робиться оптимізація потоку, по параметру часу виходячи з умови раціональної черговості освоєння часткових фронтів.

Матриця формування потоку записується в розгорнутій формі (таблиця 4.9), при якій кожна клітина матриці розбивається на шість прямокутників, в яких вказуються :

- 1) у лівому верхньому кутку - тривалість роботи  $t_{ij}$ ;
- 2) у правому верхньому кутку - повний резерв часу роботи  $R_{nij}$ ;
- 3) у лівому середньому прямокутнику - ранні терміни виконання роботи  $T_{pij}$ ;
- 4) у правому нижньому кутку - пізні терміни виконання роботи  $T_{pij}$ .

Заповнення матриці формування потоку робиться в послідовності, що містить вісім етапів.

Етап 1. У клітинах матриці виписується тривалість усіх робіт.

Етап 2. Підраховуються ранні терміни виконання робіт першого часткового потоку на усіх часткових фронтах. У зв'язку з відсутністю попередніх робіт комплект машин, що виконують роботи першого часткового потоку, закінчивши роботу на одному фронті, може негайно переходити на наступний.

Етап 3. Підраховуються ранні терміни виконання комплексу робіт на першій частці фронті. Роботи на першій частці фронті робляться безперервно, після закінчення робіт якогось часткового потоку негайно починають виконуватися роботи наступного часткового потоку.

Етап 4. Підраховуються ранні терміни виконання усіх інших робіт. Ранній термін початку кожної роботи визначається як максимальний з ранніх термінів закінчення попередньої роботи того ж виду і роботи попереднього потоку, що виконувалася на тому ж частковому фронті.

Таблиця 4.9 - Розгорнута матриця формування потоку

Частковий фронт	Часткові потоки										$\frac{\sum t_{i, \text{дані}}}{\sum t_{i, \text{нв}}}$
	А		Б		В		Г		Д		
6	(3)	0	3	6	5	7	2	35	3	35	6/5
	0-3		3-6		6-11		11-13		13-16		
		0-3		10-13		13-18		46-48		48-51	
1	4	0	4	6	7	7	2	30	4	31	8/6
	3-7		7-11		11-18		18-20		20-24		
		3-7		13-17		18-25		48-50		51-55	
5	(10)	0	(8)	0	(16)	0	5	9	9	9	18/14
	7-17		17-25		25-41		41-46		46-55		
		7-17		17-25		25-41		50-55		55-64	
3	7	11	6	10	(12)	0	4	7	7	7	13/11
	17-24		25-31		41-53		53-57		57-64		
		28-35		35-41		41-53		60-64		64-71	
2	6	18	5	17	(10)	0	3	5	5	5	11/8
	24-30		31-36		53-63		63-66		66-71		
		42-48		48-53		53-63		68-71		71-76	
4	6	22	5	22	(10)	0	(3)	0	(5)	0	11/8
	30-36		36-41		63-73		73-76		76-81		
		52-58		58-63		63-73		73-76		76-81	
$\Sigma$	36		31		60		19		33		179

Етап 5. Підраховуються пізні терміни виконання робіт, що входять в останній частковий потік і в комплекс робіт на останній частці фронту.

Оскільки відповідно до правил сітьового планування пізній термін роботи яка завершена останнього часткового потоку на останній частці фронту співпадає з раннім терміном її виконання, то комплект машин, що виконують роботи останнього часткового потоку, переходить безперервно з фронту на фронт; аналогічно виконуються безперервно і різнорідні роботи на останній частці фронту.

Етап 6. Підраховуються пізні терміни виконання усіх інших робіт. Пізній термін закінчення кожної роботи визначається як мінімальний з пізніх термінів початку подальшої роботи того ж виду і роботи подальшого потоку, що виконується на тому ж частковому фронту.

Етап 7. Визначаються повні резерви робіт як різниця між пізнім і раннім початком кожної роботи.

Етап 8. Виявляються критичні роботи як роботи з нульовим резервом часу. На матриці формування потоку робиться розмітка критичного шляху.

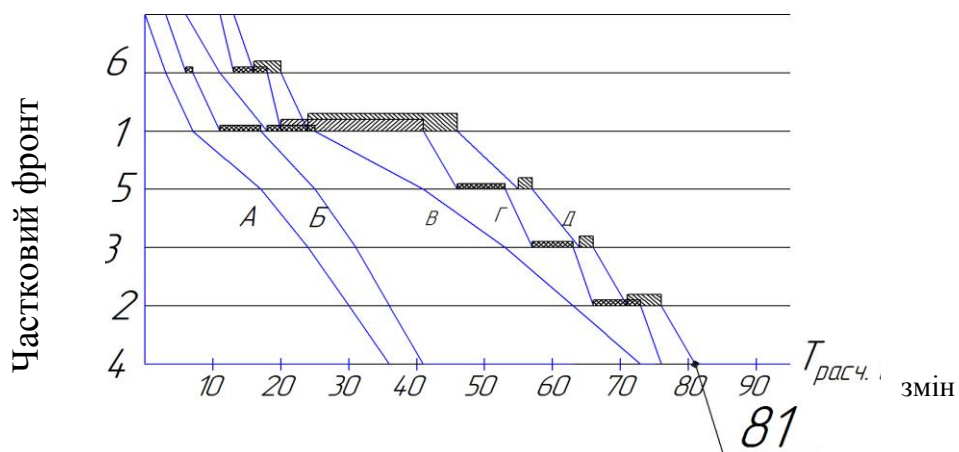


Рисунок 4.3 - Сітьовий календарний графік потоку з критичним шляхом

Після заповнення матриці робиться побудова сітьового календарного графіку потокових робіт. В першу чергу на графіці розмічається критичний

шлях. Усі інші роботи заносяться на графік по ранніх, пізніх або будь-яким проміжним терміном виходячи з умови бажаної безперервності використання ресурсів. Особлива увага приділяється умові відсутності простоїв у комплексу машин, що виконують роботи провідного часткового потоку.

Загальна тривалість комплексу робіт складає на підставі розгорнутої матриці 81 змін, що дає скорочення тривалості робіт на 11 змін проти початкового варіанту.

Оптимізація потоку з критичним шляхом по параметру часу робиться за рахунок встановлення раціональної черговості освоєння часткових фронтів.

У початковій матриці тривалості робіт (таблиця 4.9) підраховується сумарна тривалість часткових потоків і комплексів робіт на часткових фронтах. Частковий потік, що має, найбільшу тривалість, називається основним потоком. Комплекс робіт на якому-небудь частковий фронті, що має найбільшу тривалість, називається основним комплексом. У початкової матриці потокових робіт максимальна тривалість робіт відповідає проміжному частковому потоку (потік В).

В цьому випадку для встановлення раціональної черговості освоєння часткових фронтів, частковий фронт з мінімальними попередніми роботами ставимо на перше місце, частковий фронт з мінімальними подальшими роботами ставимо на останнє місце. Виходить послідовність освоєння фронтів 1-5-3-2-4-6. Складемо знову розгорнуту розрахункову матрицю робіт (таблиця 4.10). Загальна тривалість потоку буде 81 зміна. Так як, мінімальні попередні роботи і мінімальні подальші роботи доводяться на 1 частковому фронті, то зробимо перестановку часткового фронту на останнє місце в розгорнутій матриці. Відповідно до зроблених перестановок знову складається розгорнута матриця формування потоку, визначається загальна тривалість робіт і будується наново сітьовий календарний графік потоку. Критичний шлях проходить по основній частці потоку (потік В).

Таблиця 4.10 - Розгорнута матриця формування потоку.

Частко вий фронт	Частковий потік									
	А		Б		В		Г		Д	
1	(4)	0	4	6	7	10	2	30	4	31
	0-4		4-8		8-15		15-17		17-21	
		0-4		10-14		15-22		45-47		48-52
5	(10)	0	(8)	0	(16)	0	5	9	9	9
	4-14		14-22		22-38		38-43		43-52	
		4-14		14-22		22-38		47-52		52-61
3	7	11	6	10	(12)	0	4	7	7	7
	14-21		22-28		38-50		50-54		54-61	
		25-32		32-38		38-50		57-61		61-68
2	6	18	5	17	(10)	0	3	5	5	5
	21-27		28-33		50-60		60-63		63-68	
		39-45		45-50		50-60		65-68		68-73
4	6	22	5	22	(10)	0	(3)	0	(5)	0
	27-33		33-38		60-70		70-73		73-78	
		49-55		55-60		60-70		70-73		73-78
6	3	32	3	30	5	1	2	1	(3)	0
	33-36		38-41		70-75		75-77		78-81	
		65-68		68-71		71-76		76-78		78-81
$\Sigma$	36		31		60		19		33	

Висновок: Таким чином, загальна тривалість робіт не зменшилася в порівнянні з початковим варіантом. Тому скласти сітьовий календарний графік потоку з критичним шляхом немає сенсу.

У зв'язку з цим початкова матриця з тривалістю робіт 81 змін оптимальніша і остаточною приймаємо її при проектуванні проекту виробництва робіт.

## ВИСНОВКИ

1. Транспорт є однією з найбільших базових галузей господарства, найважливішою складовою частиною виробничої та соціальної інфраструктури України. Транспортна система забезпечує умови економічного зростання, підвищення конкурентоспроможності національної економіки і якості життя населення.

Проектування автомобільних доріг полягає в розробці аналітичних і графічних документів (розрахунків, схем, графіків), що визначають організацію усього будівництва або окремих робіт. Будівництво є динамічним процесом, що протікає в умовах, що безперервно змінюються. Нерівномірність розподілу об'ємів робіт по довжині дороги, що будується, призводить до зміни тривалості робіт на різних ділянках. При поточному методі елементи дороги будуються безперервно й рівномірно з відповідним використанням матеріальних і трудових ресурсів.

2. Узагальнення і аналіз літературних джерел і безпосереднього досвіду організацій які займаються будівництвом автомобільних доріг дозволили встановити, що накопичений великий досвід потокової організації робіт, покладений в основу проблеми, постійно розвивається теорії взаємної ув'язки робіт в часі і просторі, розрахунку потреби і раціональної динаміки витрат ресурсів. В даний час знайшли широке застосування теорія і практика формування та оптимізації (за прийнятими критеріями) поточних методів організації робіт, а також теорія і практика управління проектами, що базується головним чином на основі теорії і практики сітьового планування.

3. Організацію потокового будівництва автомобільних доріг характеризують чисельним значенням ряду параметрів дорожньо-будівельних спеціалізованих і комплексних потоків. Будівництво доріг обумовлюється значним протяжністю дороги, тому будівництво здійснюється або одним потоком впродовж декількох років, або в коротші терміни декількома одночасно діючими потоками. Частіше потреба

будівництва в матеріально-технічних і трудових ресурсах менше взимку, в початковому і завершальному періоді на кожному окремому об'єкті. При проектуванні організації робіт необхідно розробляти заходи по раціональному використанню будівельних кадрів і засобів механізації на ці періоди. Для цього слід планувати дорожньо-будівельним організаціям роботи на декілька років вперед, завчасно створювати будівельні заділи на нових об'єктах, передбачати проведення деякої частини будівельних, транспортних і заготівельних робіт, а також і ремонт машин і механізмів в зимовий період.

4. Розрахований неритмічний потік комплексно-механізованих будівельних робіт і оптимізований за критерієм часу застосовуючи алгоритм Афанасьєва-Джонсона на основі технологічної ув'язки будівельних потоків визначив, що загальна тривалість комплексу робіт складає на підставі розгорнутої матриці 81 зміну, що дає скорочення тривалості робіт на 11 змін проти початкового варіанту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Л.И., Манаенкова Э.А. Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией: Учеб. для вузов. Москва: Стройиздат, 1990. 400 с.
2. Абрамов С.И. Организация инвестиционно-строительной деятельности. Москва. Центр экономики и маркетинга, 1999. 240 с.
3. Авдеев Ю.А. Выработка и анализ плановых решений в сложных проектах (опыт разработки АСУ в строительстве). Москва. Экономика, 1971. 96 с.
4. Антанавичюс К.А. Многоуровневое стохастическое моделирование отраслевых плановых решений. Вильнюс: Москлис, 1977. 450 с.
5. Антанавичюс К.А., Бивайнис Ю.П. Современная технология управления строительным производством. Москва: Стройиздат, 1990. 224 с.
6. Гуренко М. Проблемні аспекти впровадження концесій в сфері будівництва та експлуатації автомобільних доріг в Україні / М. Гуренко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2014. – 1 (99). [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [file:///C:/Users/HP/Downloads/VKNU\\_Yur\\_2014\\_1\\_22%20\(10\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/VKNU_Yur_2014_1_22%20(10).pdf)
7. Голенко Д.И. Статистические методы сетевого планирования и управления. Москва.: Наука, 1968. 400 с.
8. Дикман Л.Г. Организация строительного производства/Учебник для строительных вузов. М.осква: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 608 с.
9. ДСТУ В.А.3.1-22:2013 Визначення тривалості будівництва об'єктів.. [Чинний від 2014–01–01]. Київ. 2014. 34 с. (Національні стандарти України).
10. ДБН В.2.3-4-2015 Автомобільні дороги. Частина 1. Проектування. Частина II Будівництва. [Чинний від 2016–04–01]. Київ. 2015. 110 с. (Національні стандарти України).



11. 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).
12. Досвід реалізації проектів будівництва та експлуатації автомобільних доріг на умовах концесії /наук.-журн./ Дорожня галузь України.-№2.[Електронний ресурс].-Режим доступу:<http://www.dorogy.com.ua/ukrarchive/item/2012/2-2012.html?field=field4>
13. Євтушенко С. Концесійні договори перші кроки України та досвід Європи. [Електронний ресурс] - режим доступу:[http://investukraine.com/wp-content/uploads/2012/11/concession\\_SY.pdf](http://investukraine.com/wp-content/uploads/2012/11/concession_SY.pdf)
14. Закон України «Про концесії на будівництво та експлуатацію автомобільних доріг» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1286-14>.
15. Закон України «Про автомобільні дороги» Верховна Рада України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>
16. Інноваційні матеріали і технології для будівництва та ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг: навч. посіб. / за ред.. С.Й.Солодкий; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Вид-во Львів. політехніки, 2013.140 с.
17. Керування проектами та системотехніка в будівництві: навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА спец. 192 "Будівництво та цивільна інженерія" спеціалізації "Промислове та цивільне будівництво" ден. та заоч. форм навчання / І. Д. Павлов, І. А. Арутюнян, М. О. Полтавець; ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 153 с.
18. Кирнос В.М., Залунин В.Ф., Дадиверина Л.Н. Организация строительства: Учеб. пособие для студентов строит. спец. Днепропетровск.: Пороги, 2005. 309 с

19. Наукові основи розвитку будівельної галузі України монографія / В. А. Банах, І. Д. Павлов, А. В. Радкевич та ін. ; ред. І. А. Арутюнян ; ЗДІА. Каф. ПЦБ. Каф. МБГ. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 460 с.
20. Оптимізація управлінських рішень в будівництві: навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА спец. 7.06010101 та 8.06010101 "ПЦБ" ден. та заоч. форм навчання / І. Д. Павлов, М. Д. Терех, М. О. Полтавець ; ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. - 73 с.
21. Організація будівництва./ за ред. С.А. Ушацького. Підручник. Київ.: Кондор, 2007. 521 с.
22. Проектування розв'язок на автомобільних дорогах: навч. посіб. [для студ. спец. «Автомоб. дороги та аеродроми», «Мости і транспорт. тунелі», «Орг. та регулювання дор. руху»] / С.Й. Солодкий, Л.О. Карасьова, Д.О. Куліков; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2013. 200 с.
23. Павлов І.Д. Оптимальні моделі організації будівельного виробництва : навч. посібник. М-во освіти України. Ін-т систем. досліджень освіти. ЗП. Київ. : ІСДО, 1993. 219 с.
24. Павлов І.Д., Радкевич А.В. Оптимальні моделі організації будівельного виробництва : Для студ. ЗДІА : навч. посібник.; ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2003. 170 с.
25. Спектор М.Д. Выбор оптимальных вариантов организации и технологии строительства. Москва: Стройиздат, 1980. 159с.
26. Селектованація управлінських рішень у будівництві : монографія / І. Д. Павлов, Ф. І. Павлов, М. О. Каплуновська ; ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2013. - 211 с.