

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ імені Ю.М. Потебні
Кафедра промислового і цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему: _____ «Удосконалення технології улаштування фундаментів із
плитними ростверками»_____

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1920-пцб-з

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Примислове та цивільне
будівництво»

(код і назва освітньої
програми)

Названов О.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. Самченко Р.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та
ініціали)

Рецензент доц., к.т.н. Міщук К.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та
ініціали)

м. Запоріжжя – 2021 рік

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. Потебні

Факультет _____
Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код та назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ





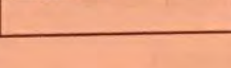

Завідувач кафедри ПЦБ
проф. Арутюнян І.А.
« » 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Названову Олександр Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи (проекту) Удосконалення технології улаштування фундаментів із плитними ростверками
- 1 керівник роботи Самченко Роман Васильович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» червня 2021 року №975-ц
- 2 Строк подання студентом роботи 02.12.2021 р.
- 3 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібні розробити) Провести порівняльний аналіз існуючих технологічних рішень з пристрою фундаментів. Виявити технологічні параметри опресуванню ґрунтової основи. Розробити методіку технології і організації робіт.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичного обґрунтувань наукового напрямку досліджень, результат

експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

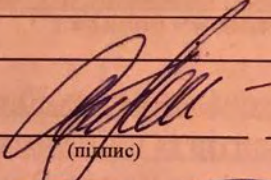
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 2	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 3	Самченко Р.В., доц.		

7 Дата видачі завдання 01.10.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1 Сучасні організаційно-технологічні рішення з пристрою фундаментів на сильностисніх ґрунтових основах	27 жовтня	
2	Розділ 2 Виявлення технологічних параметрів опресування ґрунтової основи	15 листопад	
3	Розділ 3 Методика технології та організації робіт з влаштування КППФ з опресовкою основи	1 грудня	


Студент


(підпис)

О.В. Названов

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Р.В. Самченко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

Н.О. Данкевич

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Названов О.В. Удосконалення технології улаштування фундаментів із плитними ростверками.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник Р.В. Самченко. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потєбні Запорізького національного університету. Кафедра промислового та цивільного будівництва, 2021

Виконано аналіз технологічних методів і принципів «технологічної механіки ґрунтів», що показують вплив прийнятої технології та послідовності виконання робіт на напружено-деформований стан ґрунтового масиву, що вміщує конструкції фундаментів, та спрямованих на підвищення ефективності пристрою КППФ багатопверхових будівель на стиснених ґрунтових основах, що дозволили намітити шляхи дослідження. Розроблено ефективні організаційно-технологічні схеми опресування основи, обґрунтовано склад технологічних процесів та обладнання, та розроблено методику визначення обсягу розчину для опресування. визначено, на основі виявленої трудомісткості, кількісні показники виконання бетонних робіт при влаштуванні плити КППФ, що складається зі стрічкової та оболонкової частин.

Ключові слова: ФУНДАМЕНТИ, ОСНОВИ, РЕКОНСТРУКЦІЯ, , ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ОПРЕСУВАННЯ, РОСТВЕРК.

Список публікацій магістранта:

Названов О. В., Самченко Р.В. Удосконалення технології улаштування фундаментів із плитними ростверками. Матеріали I Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науковотехнічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (19-21 жовтня 2021 р., м. Запоріжжя). Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2021. С. 402-404.

АННОТАЦИЯ

Названов О.В. Усовершенствование технологии устройства фундаментов с плитными ростверками.

Квалификационная выпускная работа на получение степени высшего образования магистра по специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель Р.В. Самченко. Инженерный учебно-научный институт имени Ю.М. Потемки Запорожского национального университета. Кафедра промышленного и гражданского строительства, 2021

Выполнен анализ технологических методов и принципов «технологической механики грунтов», показывающих влияние принятой технологии и последовательности выполнения работ на напряженно-деформированное состояние грунтового массива, вмещающего конструкции фундаментов, и направленных на повышение эффективности устройства КППФ многоэтажных зданий на сжатых грунтовых основаниях, которые позволили наметить пути исследования. Разработаны эффективные организационно-технологические схемы опрессовки основания, обоснован состав технологических процессов и оборудования, и разработана методика определения объема раствора для опрессовки. определены, на основе выявленной трудоемкости, количественные показатели выполнения бетонных работ при устройстве плиты КППФ, состоящей из ленточной и оболочковой частей.

Ключевые слова: ФУНДАМЕНТЫ, ОСНОВЫ, РЕКОНСТРУКЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕСЕНИЯ, РОСТВЕРК.

Список публикаций магистранта:

Названов А. В., Самченко Р.В. Усовершенствование технологии устройства фундаментов с плитными ростверками. Материалы I Всеукраинской научно-практической конференции соискателей высшего образования, аспирантов и молодых ученых «Актуальные вопросы устойчивого научно-технического и социально-экономического развития регионов Украины» (19-21 октября 2021 г., г. Запорожье). Запорожье: ИУНИ ЗНУ, 2021. С. 402-404.

ANNOTATION

Nazvanov O.V. Improving the technology of the device of the bases with plate lattices.

Qualifying final work for a master's degree in specialty 192 - Construction and Civil Engineering, supervisor RV Samchenko. Yu.M. Engineering Training and Research Institute Potebny Zaporozhye National University. Department of Industrial and Civil Engineering, 2021

The analysis of technological methods and principles of "technological mechanics of soils" is shown, showing the influence of the adopted technology and sequence of works on the stress-strain state of the soil mass, containing the structure of foundations, and aimed at improving the efficiency of multi-storey buildings the bases which have allowed to outline ways of research. Effective organizational and technological schemes of crimping the base have been developed, the composition of technological processes and equipment has been substantiated, and a method for determining the volume of a solution for crimping has been developed. the quantitative indicators of performance of concrete works at the device of the plate of KPPF consisting of tape and cover parts are defined, on the basis of the revealed labor intensity.

Keywords: FOUNDATIONS, FUNDAMENTALS, RECONSTRUCTION,, TECHNOLOGICAL PARAMETERS, DEFINITIONS, GRILL.

List of undergraduate publications:

Nazvanov AV, Samchenko RV Improving the technology of laying foundations with slab grids. Proceedings of the I All-Ukrainian scientific-practical conference of applicants for higher education, graduate students and young scientists "Current issues of sustainable scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine" (October 19-21, 2021, Zaporozhye). Zaporozhye: INNI ZNU, 2021. C. 402-404.

ЗМІСТ:

ВСТУП	9
1 СУЧАСНІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПРИБУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ НА СИЛЬНОСТІСНИХ ГРУНТОВИХ ОСНОВАХ	3 12
1.1 Історія розвитку та аналіз сучасних організаційно-технологічних рішень з улаштування фундаментів багатоповерхових будівель	12
1.2 Класифікація сучасних технологій підготовки основ та улаштування фундаментів багатоповерхових будівель	15
1.2.1 Відкритий спосіб	16
1.2.2 Напівзакритий спосіб	18
1.2.3 Конструкції фундаментів	18
1.2.4 Організаційно-технологічні особливості робіт «нульового циклу». Стадія земляних робіт та підготовки основи	21
1.3. Технології поліпшення будівельних властивостей слабких пілувато-глинистих ґрунтів та їх попередня напруга	26
1.3.1 Технічна меліорація ґрунтів	26
1.3.2 Технології регулювання напружено-деформованого стану (НДС) масиву ґрунту та його попередньої напруги	32
1.3.3 Технологія комбінованих пальово-плитних фундаментів (КППФ) з переднапруженим «опресуванням» ґрунтовою основою	44
2 ВИЯВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПРЕСУВАННЯ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ	49
2.1 Особливості інженерно-геологічних умов четвертинних відкладень	49
2.2 Технологія пристрою експериментальної моделі КППФ та обґрунтування ефективності застосування опресування основи	51
2.3 Виявлення технологічних параметрів опресування ґрунтової основи під фундаментом багатоповерхової споруди на основі чисельного моделювання	57

2.4 Виявлення технологічних параметрів відновлення контактного шару «ростверк - ґрунтова основа» обпресуванням на основі чисельного моделювання	66
3 МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТ З ВЛАШТУВАННЯ КППФ З ОПРЕСОВКОЮ ОСНОВИ	73
3.1. Особливості технології земляних та підготовчих робіт	73
3.1.1 Особливості технології влаштування основ у зимовий період	79
3.1.2 Технологія пристрою КППФ із застосуванням технології відновлення контактного шару «ростверк - основа»	80
3.2. Особливості технології арматурних та опалубних робіт	86
3.3 Рекомендації щодо організації виконання бетонних робіт	89
3.4 Методика технології та організації робіт з опресування основи	92
3.5 Результати геотехнічного моніторингу, зіставлення із результатами розрахунку	96
3.6. Економічна ефективність запропонованих рішень	98
ВИСНОВКИ	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	101

ВСТУП

Актуальність теми. Забудова багатоповерхових (підвищеної поверховості та висотних) будівель на ґрунтах, що сильно стискаються, викликає ряд труднощів проектного, виробничого та експлуатаційного характеру. У цьому випадку забезпечення величини розрахункових деформацій основ та фундаментів у рамках нормативних значень та навантажень, що передаються на палі є базовими критеріями вибору типів фундаментних конструкцій. В даний час найбільш надійним видом фундаменту, що забезпечує дотримання нормативних вимог щодо деформацій на сильнонавантажених основах, є комбіновані пальово-плитні фундаменти (далі - КППФ) на основі різних видів паль. Для досягнення щільних шарів, що є надійною основою, часто доводиться використовувати бурові або складові забивні палі довжиною понад 12 м. Однак при заляганні слабких шарів ґрунту під подошвою ростверку КППФ нормативні документи не дозволяють враховувати в розрахунку передачу навантаження на ґрунтову основу через плиту, що призводить до її використання лише як ростверку і, відповідно, до вимоги все навантаження передавати на основу через палі.

При цьому забезпечення нормативних деформацій фундаментів із застосуванням існуючої номенклатури типових ж/б паль та поліпшенням будівельних властивостей слабких шарів під подошвою фундаменту може бути досягнуто шляхом використання технології опресування ґрунтової основи. Під опресуванням розуміється організаційно-технологічний процес разового контрольованого нагнітання цементної суспензії в щебенеvu подушку, що виконується у певній послідовності та під певним тиском. Області застосування технології опресування основ КППФ є багатоповерхові будівлі висотою до 15-35 поверхів, при величині діючого на основу тиску до 450кПа. Результатом використання технології опресування ґрунтової основи КППФ може бути: активне включення в роботу ґрунтової основи під плитною частиною фундаменту, зменшення навантажень, що передаються на палі, та зниження

величини кінцевих осадів споруди. Однак, на даний момент відсутня нормативно встановлена або загальноприйнята технологія зведення таких фундаментів, при цьому залишається практично невивченим питання щодо впливу параметрів опресування та його технологічного періоду на експлуатаційні якості КППФ.

Таким чином, розробка технології будівництва КППФ з опресованою основою, вивчення та виявлення закономірностей впливу організаційно-технологічних процесів опресування ґрунту в процесі зведення будівлі є актуальним завданням, що дозволяє суттєво підвищити ефективність улаштування підземної частини та експлуатаційні якості об'єктів будівництва багатоповерхових будівель на ґрунтових основах, що стискаються дуже сильно.

Метою дослідження є удосконалення технології опресування ґрунтової основи, що дозволяє зменшувати навантаження на палі у складі плитно-палового фундаменту, знизити величину опади, розширити сферу застосування та підвищити технологічність пристрою КППФ на основах, що стискаються.

Об'єкт дослідження - технологія пристрою КППФ з обпресуванням ґрунтової основи.

Предмет дослідження - технологічні процеси опресовування ґрунтової основи та пристрою КППФ, що впливають на ступінь навантаженості паль у складі пально-плитного фундаменту, величину опади, розширення області застосування та технологічності пристрою КППФ на сильно стисливих ґрунтових основах..

Методи дослідження:

- використання сучасних принципів технології та організації будівництва;
- аналіз сучасного стану технології та організації фундаментобудування на стиснених основах, включаючи принципи «технологічної механіки ґрунтів», що дозволяють регулювати зусилля в фундаментних конструкціях та напружено-деформований стан ґрунтової основи, шляхом зміни послідовності виконання робіт, виходячи з міжнародного науково-технічного досвіду, а також патентного огляду;

- зіставлення трудомісткості окремих бетонних робіт з влаштування ростверків та оболонок плитної частини КППФ;
- застосування методу спостережень (хронометраж, відео- та фотофіксація) та аналіз фактичних даних, отриманих при зведенні та експлуатації реальних об'єктів будівництва.

Наукова новизна роботи:

- виконано аналіз технологічних методів і принципів «технологічної механіки ґрунтів», що показують вплив прийнятої технології та послідовності виконання робіт на напружено-деформований стан ґрунтового масиву, що вміщує конструкції фундаментів, та спрямованих на підвищення ефективності пристрою КППФ багатопверхових будівель на стиснених ґрунтових основах, що дозволили намітити шляхи дослідження;
- розроблено ефективні організаційно-технологічні схеми опресування основи, обґрунтовано склад технологічних процесів та обладнання, та розроблено методику визначення обсягу розчину для опресування;
- визначено, на основі виявленої трудомісткості, кількісні показники виконання бетонних робіт при влаштуванні плити КППФ, що складається зі стрічкової та оболонкової частин;

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на I Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науковотехнічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» у секції «Промислове та цивільне будівництво» (2021, м. Запоріжжя).

Структура роботи. Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 105 сторінок. Включає 40 рисунків, 6 таблиць, список використаних джерел з 65 пунктів.

1 СУЧАСНІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З ПРИСТРОЮ ФУНДАМЕНТІВ НА СИЛЬНОСТИСНИХ ГРУНТОВИХ ОСНОВАХ

1.1 Історія розвитку та аналіз сучасних організаційно-технологічних рішень з улаштування фундаментів багатоповерхових будівель

В даний час у всьому світі складається тенденція до будівництва багатоповерхових будівель (підвищеної поверховості та висотних будівель). Крім зменшення напруженості, пов'язаної з обмеженістю міських територій, будівництво «висоток» — це питання престижу, демонстрації своїх фінансових можливостей та технологічних досягнень.

Будівництво багатоповерхових будівель, на думку сучасного ідеолога висотного будівництва професора Рольфа Катценбаха (Дармштадт, Німеччина), ґрунтується на трьох китах: архітектор, конструктор, геотехнік. Професор Гаррі Г. Поулос (Сідней, Австралія) зазначає, що при проектуванні конструкцій фундаментної системи «... абсолютно необхідно, щоб існувала тісна взаємодія між проектувальниками підземної та надземної частин будівлі» [26]. З цього приводу професор провідного в Україні інституту ВАТ «ЦНДІЕП житла» С. В. Миколаїв пише: «Аксіомою для проектів висотних будівель є спільна робота архітекторів, геоінженерів, конструкторів будівель та інженерних систем та фахівців із пожежної безпеки. Ця співдружність повинна виникнути на стадії концепції проекту і продовжуватись як мінімум до стадії робочого проектування, а краще до задачі проекту». Фахівці ТОВ «ПІ Геореконострукція» (Харків) відзначають: «Запорука ефективності проекту – злагоджена робота геолога, геотехніка та проектувальника».

Таким чином, реалізація проектів багатоповерхових будівель та споруд повинна виконуватись при злагодженій взаємодії геологів та геотехніків, що відповідають за взаємодію будівлі з ґрунтовою основою, та архітекторів та

проектувальників, що відповідають за роботу надземної частини будівель. Ідеальна ситуація, коли інженер-конструктор та геотехнік працюють разом. Це часто дає змогу отримувати принципово нові, економічно ефективні рішення. Крім цього, важливим фактором при проектуванні та влаштуванні фундаментів є облік технології виконання робіт, а технологія у свою чергу «тягне» за собою організацію робіт. Безпосередньо при підготовці основи, влаштуванні фундаментів та супутніх роботах «нульового циклу» важливо забезпечити їх відповідність проекту.

У Україні будинками підвищеної поверховості є громадські та житлові будинки поверховістю до 25 поверхів і висотою до 70-75 м. заввишки від 75 м та громадські будівлі висотою від 50 м, згідно з ТКП 45.03.02-108-2008 (республіка Білорусь) є житлові будівлі заввишки 75-100 м та громадські будівлі заввишки 50-200 м. Відповідно до СП 22.13330 » та СП 267.1325800.2016 «Будівлі та комплекси висотні. Правила проектування» до висотних відносяться будівлі, що мають пожежно-технічну висоту понад 75 м. При цьому згідно з вітчизняними нормами, унікальні споруди можуть мати висоту понад 100 м та (або) глибину підземної частини понад 10 м нижче за планувальну позначку.

Велике поширення в Україні набули сильно стисливі ґрунти. Значна частина стиснених ґрунтових основ сформована четвертинними відкладеннями. Такий термін, як основа, що сильно стискається, досить часто фігурує в літературі геотехнічного напрямку, але при цьому не має конкретного визначення [55]. У цьому роботі під сильно стискаємим ґрунтовим основою автор розуміє ґрунтовий масив, в зоні якого стискається якого середня величина модуля деформації вбирається у 10 МПа.

Перша трійка висотних будівель The Home Insurance Building, New York World Building і Manhattan Life Insurance Building, побудованих у Нью-Йорку та Чикаго в період 1885-1894 рр., відкриває світову історію висотного будівництва. Історично Нью-Йорк грав лідируючу роль у висотному будівництві у світі. У Європі перші висотні споруди з'явилися лише через півстоліття у 1950-1960-х

роках. Пізніше до «пересліду за висотою будівель» активно включився Китай, країни Південно-Східної Азії та Перської затоки.

Історія фундаментобудування під висотні будинки починається 13 січня 1947 року в СРСР після підписання Сталіним І.В. ухвали про будівництво в Москві восьми «Сталінських висоток». До цього часу в Америці та Європі був накопичений значний досвід улаштування фундаментів висотних будівель, проте ця інформація була недоступна для вітчизняних вчених та будівельників.

Однією з особливостей проектування фундаментів висотних будівель у Москві можна назвати відсутність міцних скельних ґрунтів та місцями досить високий рівень ґрунтових вод. Ґрунтова товща представлена шарами піщаних і глинистих ґрунтів різної консистенції, що перешаровуються. Це досить хороша основа для звичайних будівель, проте, враховуючи, високий тиск під подошвою фундаменту висотної будівлі стає недостатньо.

Серед висотного будівництва Європи слід зазначити досвід німецьких геотехніків. Перші висотні будівлі в Німеччині будувалися на плитних фундаментах дрібного закладання товщиною 2...4 м, що спираються на товщу франкфуртських глин, що характеризуються високою неоднорідністю [61], під якими виділяється значний потужність шар вапняних відкладень. Основним завданням проектування в таких умовах є забезпечення експлуатаційної надійності об'єкта будівництва на весь період його використання та запобігання розвитку наднормативних абсолютних та відносних деформацій фундаменту. Як варіант запобігання цим деформаціям отримав розвиток метод попередньої установки «подушок тиску», застосований при будівництві Дрезденського банку у Франкфурті-на-Майні.

У 1980-х роках німецькими геотехніками була розроблена та розвинена концепція комбінованих плитно-пальових фундаментів (КПСФ). Концепція КПСФ отримала розвиток у роботах таких учених як R. W. Cooke, G. Conte, P. Clancy, J. Hanisch, R. Henning, R. Katzenbach, H. G. Poulos, H. Quick, M.F. Randolph, G. Russo, A. Schmitt, J. Turek, C. Viggiani та ін.

Початок застосування КПСФ у Німеччині був ознаменований їх застосуванням при будівництві 30-поверхового Мессе-Торхауса у Франкфурті-на-Майні [60]. Фундамент представлений двома плитами, кожна з яких об'єднує 42 бурові палі (D=0,9 м, L=20 м), розташовані з кроком 3,3,5 діаметра палі. В результаті науково-технічного супроводу було виявлено, що 80% навантаження від будівлі сприймають палі та 20% сприймає плита.

Як фундамент 60-поверхової будівлі Мессетурм (Німеччина), побудованої в 1991 році, використаний КПСФ. Фундамент виконаний на основі буронабивних палей діаметром 1,3 м, об'єднаних масивною плитою товщиною 3.6 м. Дані геомоніторингу дозволили стверджувати, що 55% навантаження від будівлі сприймають палі (переважно за рахунок тертя по бічній поверхні), а 45% сприймає плита. Майже рівний розподіл сприйманих навантажень між плитою і ростверком робить фундамент вежі Мессетурм практично ідеальним варіантом комбінованого фундаменту.

Сьогодні комбіновані фундаменти застосовуються у всьому світі і знаходять все більше застосування в Україні, а сучасні геотехнології дозволяють виконати їх пристрій у широкому діапазоні інженерно-геологічних умов.

1.2 Класифікація сучасних технологій підготовки основ та улаштування фундаментів багатопверхових будівель

З погляду містобудування великих міст організація та функціональність простору у міському середовищі носить ключову роль. Великі інвестори зацікавлені у реалізації будівельних проектів у межах міського кільця, де, зазвичай, менше період повернення витрачених коштів. У міських умовах, як правило, споруди та комплекси спочатку оточені забудовою, підземними та надземними інженерними мережами та комунікаціями, транспортними магістралями, метро, функціональність та працездатність яких має бути забезпечена протягом усього періоду будівництва та експлуатації. Ці та інші

умови вимагають застосування сучасних методів та технологій підготовки основ та улаштування фундаментів висотних будівель.

В основі сучасної технології улаштування фундаментів багатоповерхових будівель лежать такі принципи: планування; індустріальність; комплексна механізація та автоматизація робіт; застосування потокових способів організації робіт; спеціалізація організацій, що виконують БМР; виробництво БМР цілий рік; використання досягнень науково-технічного прогресу (НТП).

Більшість цивільних об'єктів мають розвинену підземну частину, влаштовується у земляних спорудах - котлованах, тобто «нульовий цикл» виконується відкритим чи напівзакритим методами [35].

1.2.1 Відкритий спосіб

При відкритому способі будівництво ведеться у розкритому з поверхні землі котловані. Існуюча забудова, геологічні умови, розміри споруди визначають габарити та глибину котловану. Прийнято розрізняти такі види котлованів: з природними укосами; із вертикальними стінками; із стінками виконаними комбінованими способами.

Котловани, що мають природні укоси, застосовуються в основному за необхідності влаштування неглибоких котлованів та наявності вільної території, в тому числі в умовах міської забудови. Кут закладення укосів визначається видом ґрунтів, рівнем УГВ, навантаженнями на брівку котловану. При високому рівні ґрунтових вод стає необхідним виконання заходів з водозниження.

В умовах тісної забудови, залежно від глибини котловану та габаритів споруди, інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов майданчика, термінів будівництва, можливостей підрядної організації, економічного порівняння, а також екологічних вимог щодо охорони навколишнього середовища можуть застосовуватись різні конструктивно-технологічні способи кріплення (огорожі) стін котлованів [15], такі як балкові огорожі, огорожі з металевих паль із забіркою, шпунтові огорожі, «стіна в ґрунті».

Виходячи з практики проектування та будівництва, слід зазначити, що всі види огорож мають певні переваги та недоліки, і мають свою сферу застосування. Ефективність використання певного виду огорожі визначатиметься цілою низкою факторів. В.П. Петрухін, І.В. Колибін, Д.Є. Розводовський у роботі [32] проводять аналіз ефективності застосування різних варіантів огорож котлованів на основі ТЕП, виявлених при розрахунках реальних об'єктів.

Найневигіднішим з погляду роботи огорожувальної конструкції є її робота за консольною схемою. В цьому випадку низ огорожі влаштовують нижче дна котловану, і при екскавації ґрунту верх огорожі залишається незакріпленим [44]. «У таких конструкціях у гіперболічній залежності від глибини котловану зростають величини внутрішніх зусиль та горизонтальних переміщень», - пишуть співробітники НДІОСП ім. Н.М. Герсеванова [28]. Консольні огорожі можна використовувати при глибині котлованів до 5 м, а при більшій глибині вдаються до кріплення огорож різними способами. Широкого поширення набули способи та технології кріплення огорож, які можуть виконуватися з використанням: розпірок (розпірних систем); розпірних ферм; ґрунтових анкерів; нагелів; ребер твердості; контрфорсів (Т-подібні підпірні стіни); ґрунтових берм та розпірок.

Як показує досвід проектування та будівництва, на практиці часто використовують комбіновані кріплення огорож котлованів. Наприклад, для конструкцій складної змінної геометричної форми котлованів виконують анкерні (на найбільш широких ділянках) та розпірні кріплення (на найбільш вузьких та кутових ділянках). Залежно від конструктивної концепції підземної частини будівлі, технології та організації робіт утримуючі системи огорож котлованів комбінують також і за висотою.

1.2.2 Напівзакритий спосіб

При будівництві в обмежених міських умовах досить часто використовують напівзакритий спосіб улаштування фундаментів. В даному способі як розпірна система використовуються міжповерхові перекриття, що дає можливість не використовувати тимчасові розпірки або ґрунтові анкери для кріплення огороження котловану. Даний спосіб дозволяє мінімізувати вплив будівництва на природне НДС ґрунтової основи, і поділяється на такі різновиди: «знизу-вгору» (down-up); "зверху-вниз" (top-down); "Московський метод" (розроблений під керівництвом Зеґе С.О.); «напів-напівзакритий спосіб» (semi top-down); "Вверх-вниз" (up-down, декельна технологія) [23].

Напівзакритий спосіб у загальному випадку відрізняється підвищеною трудомісткістю, спосіб ускладнюється складною організаційно-технологічною ув'язкою виконуваних робіт. Приміром, розробник проекту підземної частини готелю «Ritz Carlton» (м. Київ) Юркевич П.Б. пише: «Тут технологія будівництва стає первинною і диктує основні рішення конструкцій, вимагає врахування зміни напружено-деформованого стану навколишнього ґрунтового масиву і конструкцій, що зводяться на всіх основних стадіях виконання робіт, а також стадії експлуатації» [26].

1.2.3 Конструкції фундаментів

Вибір типу та конструкції фундаменту під багатоповерхові та висотні будівлі в загальному випадку спиратиметься на вихідні об'ємно-планувальні рішення, величину середнього тиску на основу, дані «геології» майданчика, наявність надземної та підземної забудови, а також технологічних можливостей підрядних організацій. Крім того, важливим етапом є економічне порівняння різнотипних фундаментів на основі варіантного проектування.

Як фундаменти на природній основі у всьому світі застосовують суцільну монолітну залізобетонну плиту. Також на природній основі виконують стрічкові

та стовпчасті фундаменти, однак, у висотному та багатоповерховому будівництві вони малозастосовні через їх недостатню «несучу здатність». Фундамент у вигляді ж/б плити з постійною або змінною згинальною жорсткістю можна застосовувати, коли величина тиску, що діє на міцну основу, не перевищує 5,0-6,0 кгс/см² [19].

При сукупності різних параметрів товщина фундаментної плити може досягати 6 м і більше. Так, наприклад, висота плити банку «Deutsche Bank» у Франкфурті-на-Майні (Німеччина) складає 2...4 м, а висота плити на основі телевежі «CN Tower» заввишки 553,3 м, побудованої в 1976 році в Торонто. Канада) становить 6,7 м. Зменшення товщини плити досягають шляхом розташування ребер жорсткості у місцях максимальних внутрішніх зусиль - ребристі плити, або шляхом розташування розширень (банкеток) у місцях розташування колон [8]. Плитний фундамент можна виконувати у вигляді монолітної коробчатої структури (коробчастий фундамент), внутрішній простір якої відводиться для технічних приміщень, або виконуються стоянки автотранспорту.

Виходячи зі світової геотехнічної практики пальові фундаменти є найбільш надійним і, відповідно, найпоширенішим типом фундаментів багатоповерхових та висотних будівель. Навантаження від надземних конструкцій розподіляється на ростверк, який поєднує палі. Від ростверку на основу навантаження передається палями. Висота ростверку, як правило, може досягати декількох метрів. Висока трудо- та матеріаломісткість робить пальові фундаменти найдорожчими рішеннями.

В основі даного типу фундаменту лежать палі, які виконуються або без або з виїмкою ґрунту. До першого типу слід віднести забивні (задавлювані) та набивні палі. У цивільному будівництві застосовують залізобетонні призматичні палі заводської готовності, які занурюються шляхом забивання або вдавлювання. Набивні палі мають підвищену несучу здатність (1,5-2 в порівнянні з буронабивними палями) за рахунок ущільнення ґрунту навколо свердловини при їх влаштуванні [51]. Набивні палі виконуються у свердловинах, утворених у

результаті витіснення ґрунту різними конструктивно-технологічними способами [22].

При недостатній несучій здатності забивних паль вдаються до використання технологій, пов'язаних із бурінням. Подібні технології дозволяють звести буронабивні палі (БНС), палі-барети, кесони.

Сучасні технології буронабивних паль дозволяють влаштовувати їх практично в будь-яких ґрунтових умовах, при цьому діаметр паль може досягати 2 м і більше. Кесони (опускні колодни) виконують, коли застосування бурових технологій утруднено або неможливо, коли високі навантаження передаються на щільні ґрунти, що глибоко залягають, і необхідний високий темп виконання робіт [16]. Кесони широко застосовувалися при будівництві перших невоскребів у Чикаго та Нью-Йорку, а насправді використовуються при зведенні висотних будівель у країнах Азії, де вони виконуються двох типорозмірів – діаметром 3 та 5 м, довжиною до 50 м та більше [10].

Палі-барети є плоскі буронабивні палі, що мають високу несучу здатність. Барети виконуються плоским грейфером під захистом бентонітових розчинів, армуються каркасами і потім їх бетонування. Пристрій барет досить ефективний у комбінації з пристроєм «стіни в ґрунті», оскільки застосовується єдиний парк будівельної техніки, і технологія уніфікована і для фундаментів, і для огорожувальної конструкції.

Взаємодія комбінованих фундаментів з ґрунтовою основою здійснюється за допомогою всіх елементів, таких як плитний ростверк і палі, які можуть мати змінну довжину і розташовуватися з різним кроком. Враховуючи яка складова конструкція передає на основу велике навантаження розрізняють пально-плитний та плитно-паловий фундаменти [64].

Вітчизняні нормативні документи, такі як Звід правил за пальовими фундаментами, встановлюють таке визначення: «Комбінований пально-плитний фундамент (piled raft foundation) - фундамент, що складається із залізобетонної плити (пального ростверку) і паль, що спільно передають навантаження на основу».

Комбіновані фундаменти дозволяють компенсувати несиметричний додаток навантаження шляхом оптимального розташування паль у плані, та регулювання несучої здатності за рахунок підбору кількості паль, їх діаметра та довжини.

У ґрунтах, що сильно стискаються, раціонально застосовувати незв'язний КППФ, в якому плита-ростверк і палі не мають конструктивного зв'язку між собою, і при відповідному обґрунтуванні можуть бути додатково розділені шаром, що мало стискається. У такому фундаменті палі виконують роль вертикального армування ґрунтового масиву. Такий фундамент, наприклад, застосований при будівництві будівлі «Post Tower» заввишки 162 м у місті Бонн (Німеччина).

1.2.4 Організаційно-технологічні особливості робіт «нульового циклу» Стадія земляних робіт та підготовки основи

Сучасні багатоповерхові будівлі повсюдно створюються з розвиненою ширшою заглибленою підземною частиною, де глибина закладання фундаментів – 10.20 м і більше.

При влаштуванні підземної частини відкритим способом розробка ґрунту виконується із застосуванням одноковшових екскаваторів. Розробка ведеться по 3-4 м і виконання таких процесів потребує детального опрацювання схем руху техніки [9].

Для розробки ґрунту під захистом перекриттів застосовують малогабаритну техніку (навантажувачі, бульдозери), а вилучення ґрунту через технологічні отвори може здійснюватися за допомогою кранів, грейферних екскаваторів.

Стадія земляних робіт супроводжується спеціальними роботами з водозниження, захисту від ґрунтових вод, влаштування гідроізоляції. Дані роботи, як правило, виконуються спеціалізованими організаціями, оскільки

потрібне застосування спецтехніки та оснащення. Технологія та організація виконання робіт вимагають ретельного опрацювання у розділах ПОС та ППР.

Особливу увагу слід приділяти попередньої підготовки ґрунтової основи перед влаштуванням плитних елементів фундаментів. Підготовка полягає у влаштуванні піщаної або щебеневої підготовки, з подальшим виконанням бетонної підготовки завтовшки не менше 100 мм. У деяких випадках підготовку армують, наприклад, для технологічних навантажень від будівельної техніки. При водонасиченому глинистому основі бетон підготовки рекомендується укладати на втрамбовану щебеню подушку товщиною не менше 250 мм.

Важливим організаційно-технологічним параметром влаштування фундаментів та підготовки основи є сезонність виробництва. Найчастіше міжсезонні зміни температури повітря та атмосферні опади впливатимуть на способи виконання робіт, застосовувані механізми, організацію робіт.

У разі влаштування підземної частини будівлі відкритим способом, слід виконувати заходи, що максимально знижують перерву між розробкою котловану та пристроєм фундаменту, який не повинен перевищувати дві доби. Вимоги СП 45.13330 свідчать: «При вимушених перервах повинні бути вжиті заходи щодо збереження природних структур та властивостей ґрунтів, а також проти обводнення котловану поверхневими водами та проморожування ґрунтів, або виконано консервацію котловану».

Відповідно до СП 45.13330 при виробництві земляних робіт передбачені такі заходи щодо «збереження природної структури» ґрунтів основи:

- п. 6.1.5: «... розробку елювіальних ґрунтів, що змінюють свої властивості під впливом атмосферних впливів, слід здійснювати, залишаючи захисний шар завбільшки не менше 0,2 м. Захисний шар видалається безпосередньо перед початком зведення споруди»;

- п. 11.25: доопрацювання захисного шару до проектної глибини слід виконувати із збереженням природного складання ґрунтів. У цьому пункті: «Основи, порушені під час виконання робіт у результаті промерзання,

затоплення, перебору ґрунту тощо, мають бути відновлені у спосіб, узгоджений з проектною організацією»;

- п. 11.8: «методи виконання робіт не повинні допускати погіршення будівельних властивостей ґрунтів основи (ушкодження механізмами, промерзання, розмив...)»;

- п. 11.23: «при розробці котловану у водонасичених ґрунтах слід передбачати заходи, що виключають оплив відкосів, суффозію та випор ґрунту основи. У разі якщо основа складена водонасиченими дрібними і пилюватими пісками або глинистими ґрунтами текучепластичної та текучої консистенції, повинні бути вжиті заходи щодо їх захисту від можливих порушень при русі землерийних та транспортних машин, а також розрідження внаслідок динамічних впливів».

Особливо важливо забезпечити виконання цих вимог при зведенні КПСФ, які, як зазначалося вище, передають навантаження на основу через всі свої конструкції (палі, плиту). У КПСФ одним з основних є взаємодія плити-ростверку (низького ростверку) з ґрунтом основи [24, 49]. Розструктурування ґрунтів призводить до зниження фіз.-хутро. характеристик у шарі під подошвою фундаменту. У цьому випадку ростверк вступає в роботу з основою з непроєктованим «запізнюванням» [24, 64], що може призводити до наднормативних деформацій та зниження працездатності фундаментів.

Стадія влаштування плитних елементів фундаментів

Влаштування фундаментної плити в потоці робіт з виконання робіт «нульового циклу» може бути дуже трудомістким і тривалим технологічним етапом, що вимагає від генпідрядника наявності необхідних машин та механізмів, оснащення, спеціальної організаційно-технологічної підготовки [26]. Фундаментні плити, а також плитні ростверки у складі пальових та комбінованих фундаментів, що сприймають навантаження від багатопверхових будівель, можуть досягати у висоту (товщину) до 6 м і більше та мати загальний об'єм у кілька десятків тисяч кубічних метрів. Такі конструкції повсюдно виконують із монолітного залізобетону. Значна товщина плит, високі вимоги до

якості робіт і якості готової конструкції, заглиблення фундаменту щодо денної поверхні, та інші обставини обумовлюють особливості виробництва арматурних, опалубних та бетонних робіт.

Арматурні роботи. Масивні фундаментні плити та ростверки, як правило, вгорі та внизу мають багат шарові сітки, між яким і розташовані підтримуючі каркаси. У приопорних зонах вертикальних несучих елементів виконується додаткове місцеве армування. Такий арматурний каркас на стадії монтажу вимагає виконання конструктивних заходів, спрямованих на забезпечення його стійкості і безпеки [9].

Для армування плоских фундаментів рекомендується застосовувати уніфіковані зварні сітки та каркаси. На об'єктах, де утруднено постачання уніфікованих арматурних виробів, а також при використанні стрижнів великих діаметрів рекомендується застосовувати в'язані сітки та каркаси з окремих стрижнів [19]. Стики стрижнів та сіток переважно влаштовують внахлестку без зварювання, що полегшує візуальний операційний контроль. Перспективним є армування з окремих стрижнів, що стикаються обтискними або різьбовими сполучними елементами (муфтами), їх застосування може обернутися збільшенням тривалості арматурних робіт внаслідок ускладнення технології стикування стрижнів та операційного контролю.

Сітки проміжного та верхнього горизонтального армування спираються на «підтримуючі конструкції», виконані зі стрижневої арматури або профілів (куточок, швелер тощо). Відстань між цими каркасами визначається за умови забезпечення необхідної жорсткості шарів горизонтального армування на вплив власної ваги, ваги робітників (арматурників та бетонників) та маси бетону, що укладається. Крім того, при виконанні організаційно-технічної документації на армування плит слід передбачати спеціальні коридори з трапами з арматурної сітки для переміщення робітників та інженерно-технічних працівників [18].

Армування прийнято розділяти на «основне» (фонове), що розташовується по всій площі плити, і локальне «додаткове», яке розташовується в найбільш навантажених місцях [11]. У масивних плитах крім розрахункового

передбачають ще й «технологічне» армування необхідне для сприйняття мембранних зусиль від температурно-усадкової напруги, що виникають при твердінні бетону. Крім цього, на етапі арматурних робіт встановлюються випуски у вертикальні елементи каркасу, які можуть представляти окремі масивні вироби (конструкції), що спричиняє необхідність їх своєчасного монтажу.

Контроль якості арматурних робіт виконується на місці виготовлення (в'язки) каркасів і сіток і полягає у перевірці довжини нахлістування та кількості стикуючих в одному перерізі стрижнів, відхилень у відстанях між окремими стрижнями та рядами арматури, товщини захисного шару бетону, наявності необхідних вузлів з'єднання арматури надійність.

Опалубні роботи. Для зведення масивних фундаментів застосовується знімна розбірно-переставна щитова опалубка або незнімна плитна опалубка (ж/б елементи, перфоровані роздільники). Опалубка має бути надійно розкріплена, а її стики повинні витримувати технологічні навантаження від бетонної суміші. У разі неможливості безперервного бетонування всього фундаменту його розбивають на блоки (карти) бетонування. Сумежні поверхні опалублюються міцними дрібнокомірчастими сітками, або перфорованими ребристими, що сприймають тиск шару рухомої бетонної суміші.

Бетонні роботи. Спосіб виконання бетонних робіт призначають, враховуючи розміри захваток у плані, товщину конструкції, а також доступних засобів механізації, ступеня забезпечення робіт товарним бетоном. Для масивних плит застосовують метод похилого бетонування, коли суміш доставляється до місця укладання через розгалужену мережу бетоноводів. При виробництві бетонних робіт у кожному окремому блоці потрібно забезпечити зону приймання, зону для забезпечення розрівнювання суміші, а також зону в якій виконується ущільнення бетону [9].

При зосереджених обсягах робіт у масиві та високому темпі бетонування можуть бути використані стаціонарні бетононасоси. Бетонування в межах одного блоку слід організувати без створення робочих швів. Для захисту

укладеної суміші від атмосферних опадів та створення спеціальних температурно-вологісних умов твердіння бетону в зимовий час влаштовують тимчасовий тепляк (вологотеплозахисний контур) [12].

Влаштування монолітних фундаментних плит раціонально організовувати потоковим методом з розбивкою на три провідні потоки - арматурні, опалубні та бетонні роботи. Бетонні роботи є провідним потоком.

1.3. Технології поліпшення будівельних властивостей слабких пілувато-глинистих ґрунтів та їх попередня напруга

1.3.1 Технічна меліорація ґрунтів

При проектуванні фундаментів на ґрунтових основах, складених слабкими пілувато-глинистими ґрунтами, виникає необхідність у проведенні заходів щодо покращення будівельних властивостей ґрунтів (технічна меліорація). Такі заходи засновані на методах посилення основ, які можна розділити на три групи [2] ущільнення ґрунтів – спрямоване на зменшення пористості та підвищення щільності ґрунтів; закріплення ґрунтів - штучне перетворення будівельних властивостей ґрунтів різними хімічними (електросилікатизація, газова силікатизація, амонізація, смолізація) та фізико-хімічними (цементация) способами; конструктивні методи - часткова або повна заміна слабого шару ґрунту, армування ґрунтів, зміна розрахункової схеми роботи основи.

У процесі закріплення ґрунтів шляхом ін'єктування в основу з подальшим твердінням певних реагентів між частинками ґрунту утворюються міцні структурні зв'язки, що забезпечує збільшення міцності ґрунтів, зниження їх стисливості та водопроникності. Як основний критерій при виборі способу закріплення ґрунтів можна виділити проникність, яка характеризується коефіцієнтом фільтрації (кф). Ін'єкції легко піддаються піщані, тріщинуваті, кавернозні незв'язні ґрунти з досить високим коефіцієнтом фільтрації. Однак пілувато-глинисті ґрунти (глини, суглинки, супіски) мають дуже низькі

коефіцієнти фільтрації і можуть бути водоупорами, тому для їх закріплення можуть бути використані лише деякі методи (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Технологічні способи зміцнення основ, складених пілувато-глинистими ґрунтами

Способи закріплення	Вид ґрунту	кф, м/сут
Електрохімічне закріплення	глинистий та піщаний	0,5-0,005
Термічне закріплення	лісовий, глинисті та суглинисті	будь-який
Залужування	глинистий	< 1
Цементация		
- мікроцементация	глинистий	10-1
- напірна ін'єкція	глинистий та суглинистий	будь-який

Практика показує, що для штучного покращення властивостей пілувато-глинистих ґрунтів основи можуть застосовуватися такі фізико-хімічні способи: 1) цементация (мікроцементация, високонапірна ін'єкція); 2) залужування; 3) електрохімічне закріплення (електрообробка); 4) термічне закріплення.

Область застосування цементация ґрунтів поширюється на посилення основ, складених пісками різної крупності, а також гравійними та галечниковими відкладеннями шляхом нагнітання в них цементного розчину з подальшим його твердінням [17]. До переваг цементация відносять екологічну чистоту в'язучого (цементу), його широку доступність та відносну дешевизну. Основним недоліком цементация у традиційному виконанні є її застосування лише для основ з високим коефіцієнтом фільтрації кф [7, 12].

Мікроцементацию успішно застосовують для зміцнення слабофільтруючих основ (таблиця 1.1). Суть технології полягає у застосуванні для закріплення суспензій, приготованих на основі мікроцементів з величиною діаметра частинок від $1 \times 10^{-7} \text{ м}$ до $2,5 \times 10^{-5} \text{ м}$ [3, 13]. Приготування розчинів на основі ОТДВ повинно супроводжуватися застосуванням пластифікуючих добавок (С-3, МФАР, НІЛ-20, ЛСТ та ін), що підвищують зв'язність частинок в'язучого з

водою, в обов'язковому порядку слід передбачати внесення ПАР, що перешкоджають злипанню злипанню частинок і підвищують [56].

Напірна (високонапонна) ін'єкція дозволяє виконати в масиві ґрунту гідророзриви, які заповнюючись твердіючим розчином армують і закріплюють основу. У зоні поширення розривів також відбувається просочування певного обсягу ґрунтів цементним складом [17]. Одним з основних технологічних параметрів високонапірної ін'єкції є тиск нагнітання, який може досягати 100 кгс/см². Метод напірної ін'єкції отримав розвиток у працях В.В. Лушнікова, М.М. Ібрагімова, А. Камбефора, А.В. Лубягіна, А.І. Поліщука, Б.М. Мельникова, М.Л. Нуждіна, В.І. Осипова, М.Я. Крицького, А.В. Савінова, І.І. Сахарова, В.В. Сьомкіна, М.А. Самохвалова та інших. Посилення ґрунтів шляхом напірної ін'єкції може виконуватися за манжетної технології, і з її різновиду - технології «геокомпозит».

Манжетна (горизонтальна) технологія ін'єкції полягає в одно- або багаторазовому нагнітанні розчину через перфоровані ін'єк-тори («труба-ін'єктор», «ін'єктор-тампон», «манжетна колона»), встановлені на основі.

Ін'єкція виконується з використанням пакера, який дозволяє проводити локальну та багаторазову ін'єкцію по висоті масиву з можливістю регулювання тиску закачування розчину в будь-якому горизонті [14, 38]. Основними технологічними блоками під час ін'єкції є бурове устаткування, міксерна станція, насос, шланги високого тиску і пакер.

Технологія «геокомпозит» («геомасив») заснована на ін'єктуванні розчинів у певній планово-висотній послідовності. Ін'єкція розчину здійснюється одночасно через суміжні ін'єктори. [6, 11]. Посилений таким чином ґрунтовий масив є принципово новою техногенною освітою - «геокомпозитом» або «геомасивом». Зміцнення ґрунтів за технологією «Геокомпозит» виконується паралельно до будівництва будівлі.

Перевагами методу напірної ін'єкції є можливість виконання процесів у складних ґрунтових і обмежених міських умовах, відсутність шкоди для екології. Недоліками методу напірної ін'єкції є складність прогнозування форми зони

посилення основи, а також міцність закріпленого масиву ґрунту, що розрізняється в плані і по висоті [7].

Дослідженням залужування ґрунтів займалися Ю.А. Ареф'єв, Ф.Є. Волков, Л.М. Гера, Г.Г. Гаріфзянов, Р.С. Жукова, Г.С. Колесник, Е.І. Мулюков, А.Б. Самойленка, В.Є. Соколович, В.М. Шестаков [8]. У рекомендаціях щодо зміцнення глинистих ґрунтів основ залужуванням (БашНИИстрой, Уфа, 2005) пропонується в слабкі пілувато-глинисті ґрунти (число пластичності $3^{>25}$, пористість $>35\%$, коефіцієнт фільтрації >1 м/сут) нагнітати концентровані розчини каустика №ОІ - за ДСТУ 2263, $2,5 \text{ Н} \wedge 10 \text{ Н}$ концентрації, температура розчину $> 10^\circ \text{C}$).

Під впливом каустика відбувається локальне розчинення складових мінералів із заснуванням лужних алюмосилікатних гелів, які ефективно закріплюють слабкі ґрунти [16]. Проте автори розробки Ф.Є. Волков та В.Є. Соколович зазначають, що при високому рівні ґрунтових вод відбувається їхнє підлужування, а сам хімічний процес залужування відбувається в ґрунтах з активним хімічним пученням з утворенням найнебезпечнішого екотоксиканту - діоксину, а також викликає сульфатну корозію бетону. На 1 м^3 закріпленого ґрунту витрачається $100\text{-}160$ кг каустика [13]. Емпірично доведено, що залужені масиви відрізняються стабільністю своїх фізико-хімічних показників у часі, навіть нижче за УГВ.

Технологія та організація робіт включає: занурення ін'єкторів; приготування розчину гідроксиду натрію та його нагнітання в ґрунт; контроль якості виконання. ППР розробляється на основі наступних даних: необхідної міцності ґрунту, що зміцнюється; концентрації розчинів; об'єму розчину; розміру масива, що зміцнюється; розташування ін'єкторів, відстані між ними та розмірів заходок.

Всі роботи виготовляються спеціально навченою бригадою за суворого дотримання техніки безпеки. Відразу після приготування розчину (актують його температуру та щільність) приступають до його нагнітання. Ін'єктори мають у своєму розпорядженні, як правило, в шаховому порядку: відстань між рядами

ін'єкторів - 1,5г; відстань між ін'єкторами у ряді - 1,73 г ($r=0,5^{0,7}$ м - радіус закріплення). У глинистих однорідних ґрунтах по водопроникності нагнітання розчину здійснюється заходками зверху вниз.

Контроль якості закріпленого ґрунту забезпечується вхідним контролем вихідних матеріалів, операційним контролем робочих розчинів та відповідності проекту виконуваних робіт. На приховані роботи складається відповідний акт. Якість зміцнення може перевірятися бурінням свердловин з відбором кернів, розтином шурфів з відбором зразків, або статичним зондуванням [14].

Метод електрохімічного закріплення (електрообробка) ґрунтів ґрунтується на використанні явища електроосмосу відкритого Ф.Ф. Рейсом на початку ХІХ століття. Великий внесок у основу цього внесли А.А. Акімов, Д.Д. Бабушкін, Б.І. Горбунов, Н.В. Дмитрієв, Г.М. Ломізе, К.І. Понкратов, А.М. Пчелінців та інші вчені [9].

Метод заснований на подачі в ґрунтовий масив електропотуку. Обробка ведеться у певній технологічній послідовності, що враховує різнополярну подачу електроенергії через позитивні та негативні електроди, закріплені до ін'єкторів. Паралельно через анод подаються водні розчини солей, які додатково пов'язують частинки ґрунту. При цьому суттєво зростає міцність ґрунтів, різко знижується їх вологість та здатність до набухання, відбувається часткове ущільнення.

Спосіб застосовується для закріплення малопроникних ґрунтів (таблиця 1.1) [61]. До недоліків даних методів відносяться [27, 43]: великі енергетичні витрати (напруга струму має становити 80-120 В; на 1 м³ масиву, що зміцнюється витрата енергії до 120 кВт на годину); застосування додаткового обладнання (електроджерела, насосне обладнання, труби-електроди) та дотримання певних правил охорони праці та техніки безпеки.

Термічне закріплення ґрунтів (глибинний випал, плазмова обробка) застосовується для зміцнення маловологі ($Sr < 0,8$) пилувато-глинистих ґрунтів, що мають газопроникність, з вмістом глинистих частинок не менше 7% [16]. Теоретичні та практичні основи термічного закріплення ґрунтів були розроблені

в період 40-х – 80-х років минулого сторіччя такими вченими як Л.А. Геліс, І.М. Литвинов, В.П. Лісовський, Н.А. Осташів, А.В. Паталеев, Р.Г. Погосян, В.С. Под'яконов, Д.С. Слобідкін, І.Д. Фальков, В.П. Чернишов, В.П. Чеботарьов, І.М. Тюрін, В.І. Шароватов, А.П. Юрданов та інші [16, 20]. Сутність методу термічного закріплення ґрунтів полягає у спрямованій обробці ґрунту основи потоком тепла, який забезпечує утворення зміцненого ґрунтового масиву із заданими властивостями та збереження цих властивостей у часі.

А.П. Юрданов розділяє способи термозміцнення на чотири види [20]: 1) електротермічне зміцнення випалом та спіканням ґрунтів - виконується з генерацією теплової енергії в занурювальних нагрівачах, як яких можуть використовувати спіральні та стрижневі нагрівачі з термостійких сплавів, термографітові стрижні; 2) спалювання паливних сумішей у свердловинах - для цього способу стовбури свердловин герметизують затворами, на яких монтують засоби спалювання паливних сумішей, подачі повітря та автоматики контролю процесу; 3) спікання ґрунтових сумішей у свердловинах - полягає в одночасному випалюванні свердловини і подачі в неї ґрунтових сумішей, що розплавляються. Склад палива може підбиратися залежно від необхідних кінцевих міцнісних та деформаційних характеристик; 4) генерація нагрітих газів у свердловинах – тепла енергія генерується в автономних агрегатах, розташованих на денній поверхні та обслуговуючих одночасно кілька нагрівальних свердловин.

До основних відносять такі технологічні параметри як: довжина факела, радіус та тривалість термічного закріплення, витрата паливно-енергетичних ресурсів. Головним недоліком даного методу є висока вартість енергоресурсів, необхідних для термообробки, а також підвищені вимоги щодо безпеки виконання робіт. Область застосування термообробки не поширюється на водонасичені ґрунти.

1.3.2 Технології регулювання напружено-деформованого стану (НДС) масиву ґрунту та його попередньої напруги

У сучасній геотехніці складається тенденція до управління (регулювання) напружено-деформованим станом (далі НДС) ґрунтової основи. Регулювання НДС ґрунту полягає у створенні необхідного «наведеного» напружено-деформованого стану ґрунтового масиву та управлінні ним у процесі будівництва, спрямованому на зниження деформацій фундаментів та інших геотехнічних конструкцій, що виконується за рахунок використання різних конструктивних рішень та застосування різних технологій улаштування геотехнічних систем.

Штучна зміна НДС основи може бути виконана шляхом створення заданого переміщення (деформації), або додатком тиску (навантаження) на ґрунт, що досягаються наступними технологічними способами [19]: 1) нагнітання в масив ґрунту складів, що твердіють (компенсаційне нагнітання, буроін'єкційні палі; 2) впровадження в ґрунт твердого тіла (занурення паль тощо); 3) застосування пневматичних конструкцій, що розширюються у ґрунті; 4) обтискання ґрунту канатами або ґрунтовими анкерами (кріплення огорожі котлованів); 5) вакуумування ґрунтів; 6) зміна (регулювання) УГВ.

Напружено-деформований стан ґрунтового масиву характеризується сукупністю напружень та деформацій (переміщень), що виникають при дії навантажень. НДС у точці масиву визначається компонентами нормальних (a_x, a_y, a_z) та дотичних ($\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz}$) та кутових деформацій ($\epsilon_{xx} = \epsilon_{xx}, \epsilon_{yy} = \epsilon_{yy}, \epsilon_{zz} = \epsilon_{zz}, \epsilon_{xy} = \epsilon_{yx}, \epsilon_{yz} = \epsilon_{zy}, \epsilon_{zx} = \epsilon_{xz}$), які складають тензори напруг (T_{ij}) та деформацій (ϵ_{ij}). Зв'язок між деформаціями та напругами визначається теоретичними виразами [19, 20].

Управляти (регулювати) НДС ґрунтової основи можна шляхом зміни (збільшення/зменшення) компонентів напруг або деформацій. При збільшенні горизонтальних напруг a_x відбудеться збільшення деформацій ϵ_x та зниження деформацій ϵ_y та ϵ_z . При цьому якщо повідомити масиву ґрунту горизонтальну

деформацію ϵ_x це призведе до підвищення напруги a_x і зниження a_y і a_z . Таким чином, штучне підвищення горизонтальних напруг у ґрунті дозволяє досягти зниження його вертикальних деформацій, а відповідно і зменшення осадку фундаменту. Це явище отримало назву попередньої напруги ґрунту - штучного створення напруг у масиві ґрунту, спрямованого на підвищення несучої здатності та зниження деформованості ґрунтової основи.

Організаційно-технологічні питання регулювання НДС та переднапруги ґрунтової основи розглядали А.С.М. Абдул Малек, М.Ю. Абелев, А.А. Бартоломій, О.С. Вертинський, А.В. Голлі, С.В. Довнарівч, В.А. Єрмолаєв, Ю.К. Зарецький, А.А. Землянський, В.В. Знам'янський, В.А. Іллічов, Р.А. Мангушів, Н.С. Нікіфорова, Ю.В. Наумкіна, В.П. Петрухін, Я.А. Пронозін, О.І. Рубцов, М.А. Степанов, З.Г. Тер-Мартіросян, Д.Ю. Чунюк, О.О. Шулятьєв, В.Г. Шатунов, В.Ф. Ярні, Н. Brandl, R.W. Cooke, Y. El-Mossalamy, J. Hanisch, R. Katzenbach, B. Lutz, H.G. Poulos, M.F. Randolph та ін [5, 6, 15, 16, 22].

Сучасні принципи проектування у випадку можна розділити на пасивний і активний. Традиційний пасивний метод проектування ґрунтується на розробці (адаптації) конструкції фундаментів під наявним НДС ґрунтового масиву. У разі активного проектування різними конструктивними та технологічними методами змінюють існуюче НДС ґрунтової основи так, щоб ґрунтовий масив із зміненим НДС ефективно сприймав тиск від об'єкта, що зводиться [7, 17].

Вкрай важливим при активному проектуванні є вибір технології регулювання НДС та організаційно-технологічних параметрів, наприклад, таких як тиск нагнітання, обсяг і склад розчину, що нагнітається, період і порядок ін'єктування в плані і по висоті, облік порядку і технології зведення фундаментів і конструкцій, облік швидкості навантаження основи у процесі будівництва тощо.

Як результат проектування та будівництва у складних геологічних, гідрогеологічних та геотехнічних умовах у НДІОСП ім. Н.М. Герсеванова під керівництвом В.А. Іллічова започатковано принципово новому науковому напрямку - технологічної механіки ґрунтів, що вивчає залежність НДС ґрунтових

основ від технології влаштування геотехнічних систем. Методи та засоби технологічної механіки ґрунтів дозволяють цілеспрямовано та в оптимальному режимі керувати процесом зведення об'єктів.

У 70-х роках 20-го століття під час будівництва Костромської ДРЕС виконувався суцільний монолітний плитний фундамент під турбоагрегат (ТА) потужністю 1200 МВт, розташований у 9-му енергоблоці. Плита довжиною близько 70 м, змінної ширини 25-30 м і товщиною 4 м бетонувався безперервно з дотриманням певного температурного режиму. При цьому, згідно з програмою наукового супроводу, були виконані вимірювання контактної напруги під фундаментом [58-60]. Враховуючи повну симетрію конструкції плити та навантаження епюру контактних тисків була не симетричною, але в той же час урівноваженою з навантаженнями за рівнодією та моментами. Розрахунки показали, що формування епюр контактних тисків залежить від порядку бетонування (рисунок 1.1а).

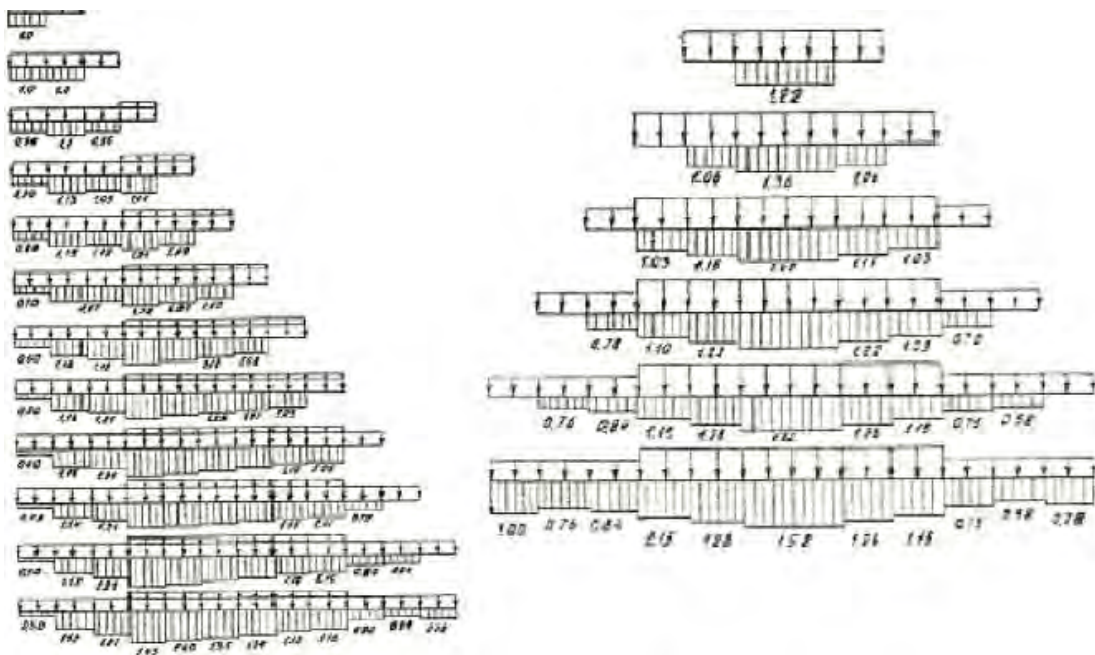


Рисунок 1.1 – Фундамент Зміївської ГРЕС у м. Харків: а – формування епюри контактних напруг при бетонуванні «зліва-направо» (ліворуч) та «з середини до країв» (праворуч); б - епюри згинальних моментів з урахуванням (ліворуч) та без урахування (праворуч) технології

Таким чином, була виявлена можливість оптимального керування контактною напругою шляхом застосування різних технологічних послідовностей бетонування масивних фундаментів. Так, наприклад, для масивних фундаментів, власна вага яких становить 30^50% загального навантаження, технологія бетонування визначає характер контактної напруги - максимальна в середині і зменшується до країв. Крім цього, облік технології зведення штампу фундаменту змінює знак згинального моменту – розтягнутою є верхня грань, а не нижня (рисунок 1.1 б) [61].

У 1970-х роках внаслідок унікальних штампових випробувань, виконаних С.В. Довнарівичем у лотку 8x8x8 м експериментального корпусу НДІОСП ім. Н.М. Герсеванова, було виявлено, що з однакової щільності ґрунту величини деформацій фундаменту можуть істотно відрізнятися залежно від методу підготовки піщаного основания [36, 37].

В ході експерименту основа готувалася двома способами: шляхом відсипання ($\Delta=0,5$ м) з пошаровим ущільненням (випадок А) та з висоти 4 м (випадок Б). На рисунку 1.2 представлені графіки залежності осадку фундаменту від середнього тиску по підшві, аналіз яких показує, що при одній і тій же щільності ґрунту, але при різних технологічних способах підготовки основи осадку, при однаковому навантаженні, може різнитися до кількох разів.

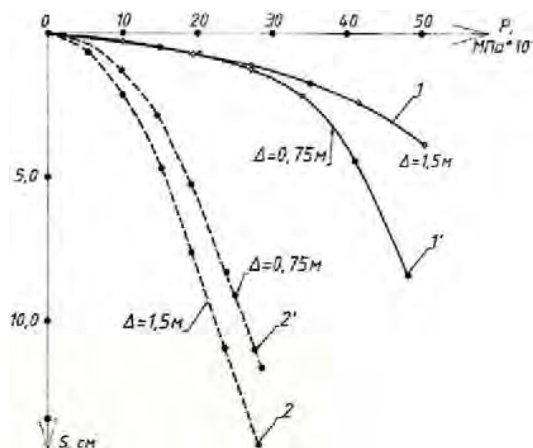


Рисунок 1.2 - Залежність осідання від навантаження

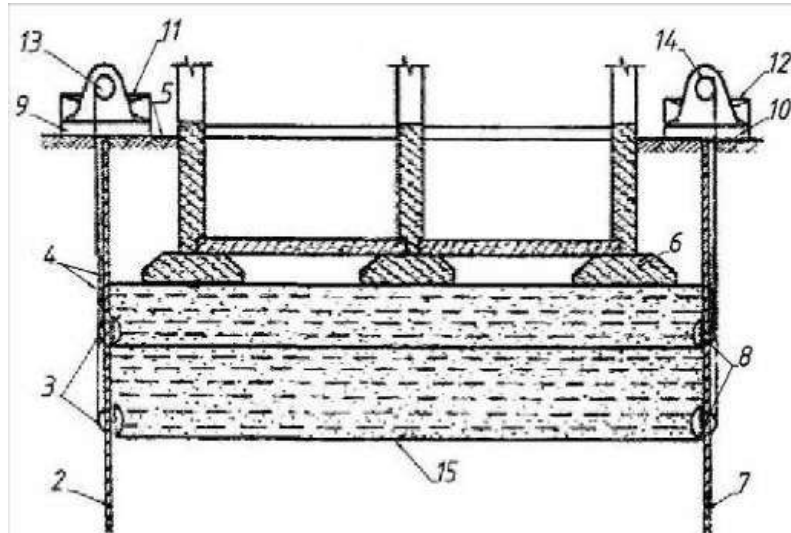


Рисунок 1.3 - Схема обтиснення основи для штампу діаметром 1,5м та 0,75м

Дослідження показали наявність великих значень горизонтальних напруг у разі А порівняно з випадком Б, які мають основний вплив на осад фундаменту. Таким чином, експериментально було виявлено вплив технології ущільнення ґрунтів на збільшення горизонтальних напруг та формування НДС, що у свою чергу призводить до зниження опад та підвищення несучої здатності основи.

У 1980-х роках у Ленінградському будівельному інституті А.В. Голлі, В.Г. Шатунов, А.Ж. Жусупбеков провели експериментальні лоткові дослідження армованої основи із попереднім обтисненням його шпунтом [28]. В результаті серії експериментів виявлено підвищення несучої здатності попередньо обжатого армованого основи в 2,3 рази порівняно з неармованим, і в 1,7 рази в порівнянні з армованими основами.

На основі даних досліджень було запропоновано технологічний спосіб регулювання НДС основи, заснований на штучному підвищенні горизонтальних напруг (рисунок 1.3), який дозволяє підвищити рівень горизонтальних напруг у ґрунтовому масиві, що призводить до керованого збільшення «жорсткості» основи та зниження відносних деформацій.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень А.А. Землянським запропоновано принципи регулювання НДС основ резервуарних конструкцій [50, 51]:

- «принцип активного вибору деформацій ґрунту до монтажу робочого днища резервуара» [50] - полягає у попередніх гідравлічних випробуваннях, що призводять до вибору пластичних деформацій. До початку монтажу резервуара на основі виконується кругла стінка зі шпунта на глибину до $0,30$ (O - діаметр резервуара), що служить для запобігання горизонтальним деформаціям ґрунту.

- «принцип збільшення несучої здатності ґрунтової основи за рахунок активного горизонтального армування ґрунту» [50], що виконується у вигляді порожніх шпунтових елементів (рисунок 1.4).

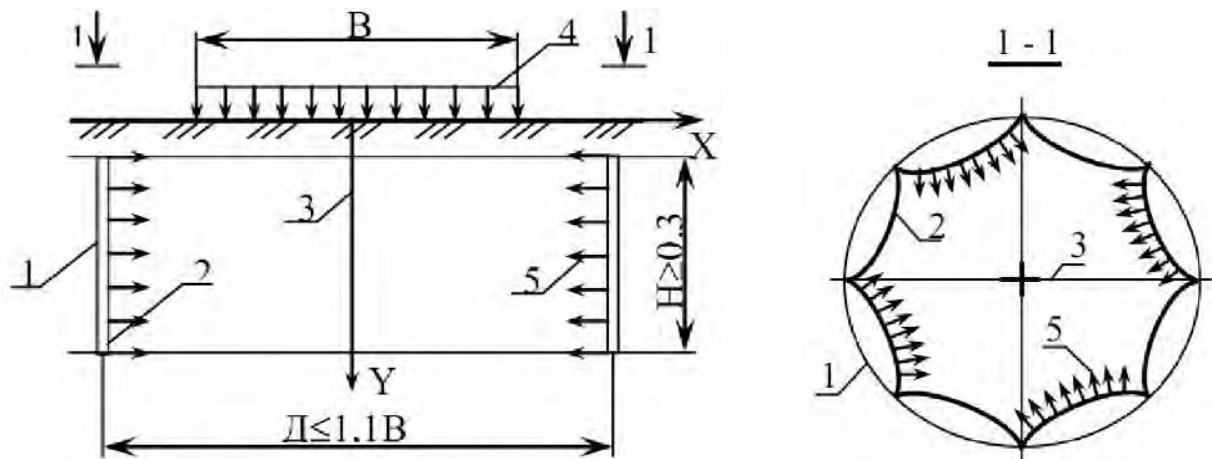


Рисунок 1.4 - Конструктивно-технологічна схема шпунтової стінки: 1 та 2 - зовнішня та внутрішня частини шпунтових елементів; 3 - масив ґрунту з підвищеними горизонтальними напругами; 4 - зовнішнє чинне навантаження;

5 - тиск переднапруги ґрунту

Нагнітання напругаючих розчинів у порожнині шпунтових елементів (рисунок 1.4, поз. 2) дозволяє досягти підвищення горизонтальних напруг у «внутрішньому» ґрунтовому масиві (рисунок 1.4, поз. 3).

У результаті практичного застосування Землянським А.А. обґрунтовано ефективність підвищення горизонтальних напруг у ґрунтовому масиві (рисунок 1.4), що здійснюється шляхом переднапруги кільцевих шпунтових елементів.

- «принцип автоматичного керування напружено-деформованим станом резервуару» [50], що пояснюється рисунком 1.5.

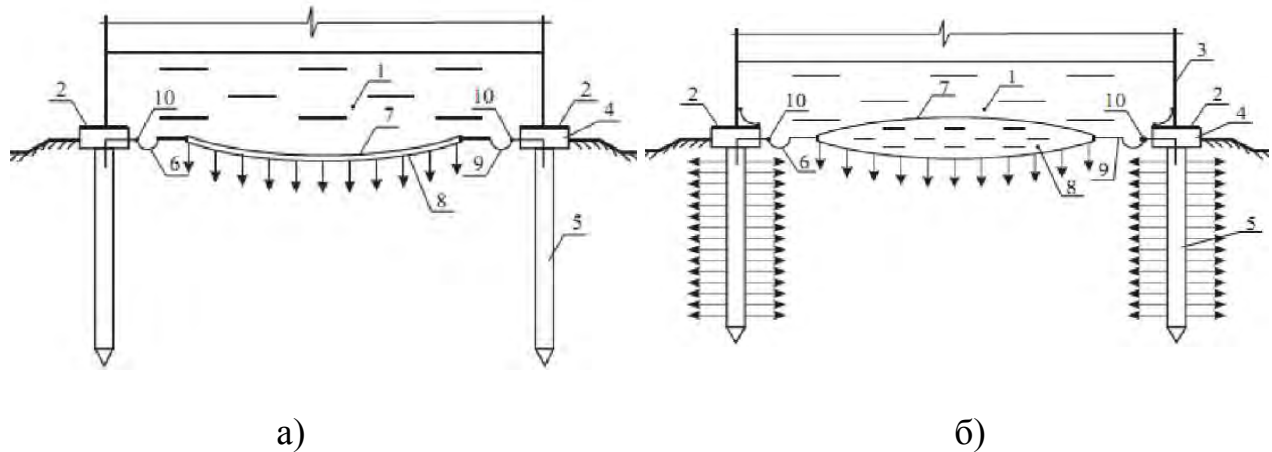


Рисунок 1.5 – Конструктивно-технологічна схема кільцевого пальового фундаменту з переднапругою [51, 108]: а – схема приведення в робочий стан; б – конструктивна схема; 1 – нафтопродукт; 2 - крайни; 3 – вертикальна стінка; 4 - кільцевий ростверк; 5 – палі; 6 – кільцевий гофр; 7 – днище; 8 – рідина; 9 - трубопровід; 10 – запірний клапан

Конструктивні елементи 5 і 7 (рисунок 1.5) виконані порожнистими, з можливістю наповнення розчином або рідиною. Робочі порожнини з'єднані системою гнучких трубопроводів із запірною арматурою, що працює за принципом ніпелю і дозволяє розчину пересуватися тільки в напрямку порожнини елемента 7 порожнини елементів 5 (рисунок 1.5).

Спочатку резервуар на половину висоти заповнюється нафтопродуктом (рисунок 1.5 а), потім після стабілізації деформацій ґрунту під дном, робочі порожнини заповнюються рідиною ($P=0,1^{0,12}$ МПа) (рисунок 1.5б), а потім резервуар заповнюється на потрібну величину що призводить до необхідної напруги фундаменту щодо навколишнього масиву ґрунту.

В результаті відбувається підвищення фізико-механічних характеристик ґрунту навколо переднапружених паль, а відтак підвищується несуча здатність пропонуваного кільцевого пального фундаменту. При експлуатації споруди навколишній ґрунт самозміцнюється, і вся система «конструкції-основа» буде переходити в більш стійкий стан [52, 53].

Р.А. Мангушев, І.І. Сахаров, Є.В. Городнова пропонують попередньо напружений фундамент дрібного закладення (рисунок 1.6) для цивільного будівництва на слабких водонасичених ґрунтах в умовах щільної забудови.

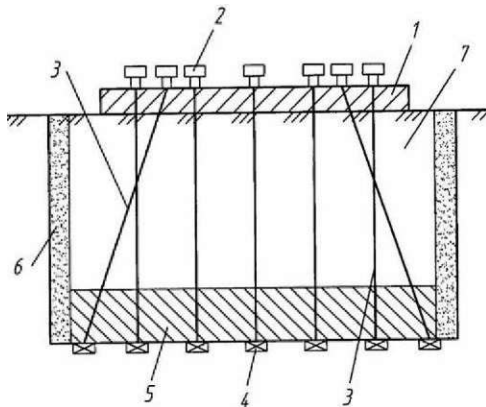


Рисунок 1.6 – Конструктивно-технологічна схема переднапруженого фундаменту: 1 – плита; 2 – домкрат; 3 – анкерна тяга; 4 – анкер; 5 – опорна плита; 6 – стіна в ґрунті або шпунтова стінка; 7 – ґрунтова основа

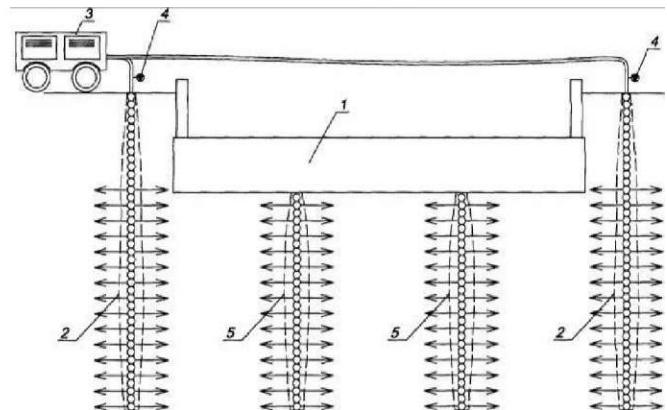


Рисунок 1.7 – Технологічна схема створення горизонтальних напруг у ґрунті за допомогою пневмоконструкцій: 1 – фундамент; 2 – пневмооболонка; 3 – компресор; 4 – манометри; 5 – додаткові пневмооболонки

Пристрій фундаменту передбачає влаштування плити та анкерних тяг, потім виконується опорна плита та стіна в ґрунті. Потім домкратами натягують анкерні тяги і фіксують зусилля, внаслідок чого ґрунтова основа напружується.

Попереднє «стиснення» ґрунтів в активній зоні дозволяє підвищити загальну жорсткість масиву, досягти мінімальних деформацій фундаменту на виробничій та експлуатаційній стадіях. Сейсмостійкість фундаменту значно підвищується внаслідок того, що армований ґрунтовий масив напружується.

Підвищення горизонтальних напруг у ґрунті можна досягти використанням пневмоконструкцій, що виконуються з герметичних еластичних

мембран. Спосіб регулювання НДС ґрунту, запропонований В.П. Петрухіним, О.А. Шулятьєвим, В.С. Поспіховим виконується в наступній послідовності (рисунок 1.7): 1) за контуром майбутнього фундаменту в ґрунті основи влаштовують щілину та занурюють у неї багатокамерну пневмооболонку; 2) за допомогою компресора в оболонці створюють задане зусилля обтиснення і відповідно необхідне НДС ґрунту основи.

У разі виявлення при будівництві нерівномірності або перевищення прогнозованих значень осад виконують додаткове обтиснення основи підвищенням тиску повітря в пневмоконтрукції. Після закінчення процесів консолідації виконується фіксація НДС ґрунту, для чого пневмооболонки заповнюються твердіючим розчином.

До конструктивних способів регулювання НДС ґрунтової основи можна віднести пристрій у ґрунті елементів-конструкцій, а також зміна жорсткості несучого каркаса споруди [16].

Варіюванням взаємного розташування стін, колон, ядер жорсткості у плямі будівлі можна отримати різне НДС основи [11].

Так, наприклад, при розрахунку монолітної фундаментної плити 10-поверхового будинку зі зв'язковим каркасом і сіткою колон 6х6 м [20] було виявлено зниження відносної різниці осадів у різних зонах фундаменту на 20-60% залежно від розташування елементів жорсткості. Крім цього, слід враховувати нерівномірність навантаження основи в ході зведення каркасу будівлі або окремих його секцій у планово-висотному відношенні та в часі [19]. Особливо важливо це враховувати за різної висотності секцій будівлі та розвиненої підземної частини. У роботах [17] виявлено залежності формування НДС на основі послідовності зведення.

У будівельній практиці доводиться стикатися з тим, що розвинені в плані будівлі з різних причин будують не поверхово, а по секціях. Так, академік В.А. Іллічов у роботі [60] зазначає: «За наявності кількох веж у комплексі будувати починають із найменшої всупереч думці геотехніків, згідно з яким доцільно збудувати більш високу і, отже, більш важку будівлю, а потім менш високі, щоб

зменшити взаємний вплив через ґрунт. Легка будівля будують першою, виходячи з міркувань окупності, тому що коротше інвестиційний цикл і повернені гроші підуть на будівництво наступних вищих веж» [60].

Сучасні багатоповерхові будівлі, як правило, мають розвинену підземну частину, що тягне за собою необхідність виконання котлованів. Огороджувальні конструкції слід відносити до конструктивних елементів, що впливають на НДС ґрунту [19].

Автори [12] зазначають: «За наявності поруч із фундаментом будівлі «стіни в ґрунті», з одного боку відбувається перерозподіл напруг, вони концентруються вниз, збільшуючи глибину товщини, що стискається, і, як наслідок, осадку, з іншого боку, ґрунт зависає на огороджувальній конструкції. Залежно від того, який фактор переважає, можливий різний розвиток ситуації: зависання або, навпаки, велике осадження частини фундаменту, розташованої поруч «зі стіною в ґрунті» [15]. У свою чергу, сила тертя ґрунту по поверхні огороджувальної конструкції котловану значно залежить від технології виконання робіт, матеріалу огорожі.

Прикладом впливу конструкції огорожі на НДС ґрунтового масиву та осідання фундаменту може бути розрахунок фундаменту однієї з висотних будівель, розглянутого на Міжнародному форумі висотного та унікального будівництва «100+» у м. Єкатеринбурзі у 2015-2016 році. Каркасна будівля висотою 144,9 м (39 поверхів) має 4-поверхову підземну частину. Плитний фундамент має глибину закладення 15,15 м, середній тиск на підшві фундаменту - 80 т/м². Огородження котловану виконано за технологією «стіна в ґрунті» із кріпленням тимчасовими анкерами.

За результатами чисельного моделювання було отримано ізополі вертикальних переміщень фундаменту з урахуванням та без урахування впливу огорожі котловану. Розрахунок з урахуванням огорожі котловану дозволив визначити деяке зависання фундаменту біля «стіни в ґрунті» та формування зони максимальних осадів у краю фундаменту. Отримані дані про опади фундаменту підтверджуються результатами геомоніторингу.

Елементи кріплення огорож котлованів (грунтові анкери, розпірки) можна виконувати напружаємими, і, отже, величиною їхньої напруги можна регулювати переміщення і внутрішні зусилля в конструкції огорожі, а також управляти НДС ґрунтового масиву за межами котловану. При влаштуванні анкерів часто застосовують різні схеми їх натягу в плані та за висотою, що дозволяють регулювати зміну НДС навколишнього ґрунтового масиву [13]. Для натягу ґрунтових анкерів застосовують спеціальні домкрати, обладнані гідронасосною станцією.

У східній Азії набули широкого поширення збірні металеві розпірні кріплення. Преднапряжение у яких досягається застосуванням компактних горизонтальних домкратів, вмонтованих у розпірні конструкції.

Компенсаційне нагнітання. Одним з ефективних методів зміни НДС та переднапруги ґрунтових масивів є адресне нагнітання цементного розчину, що виконується за технологією напірної ін'єкції. Широке поширення набуло нагнітання, яке компенсує зміну НДС масиву та підтримує сформоване НДС основи під фундаментами існуючих будівель. Нагнітання виконують для захисту існуючих будівель та споруд від технологічних осад при будівництві сусідніх будівель за рахунок влаштування між ними геотехнічного бар'єру [44, 54].

При ін'єктуванні розчину відбувається:

- утворення розривів у ґрунті з їх заповненням розчином – носить характер локального розширення та призводить до зміни НДС та переднапруги ґрунту;
- просочування пор ґрунту розчином - носить характер зміцнення ґрунту та зниження його деформованості за рахунок додаткових зв'язків між частинками.

Переважає першого або другого ефектів залежатиме від виду та гранулометричного складу ґрунту, а також технологічних параметрів нагнітання та рецептури ін'єкційного розчину.

Опресовування та напруга ґрунтової основи. Значну ефективність у напрямку переднапруги ґрунтів з одночасним поліпшенням їх будівельних властивостей показав спосіб «опресування» з перебудовою стрічкових

фундаментів у плиту, що часто застосовується при посиленні будівель і споруд, що реконструюються (рисунок 1.8, 1.9) [18].

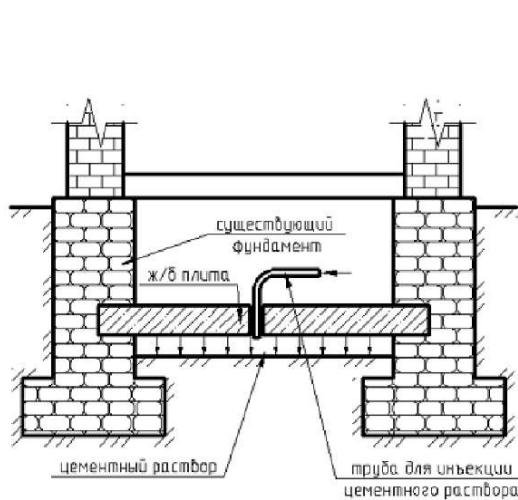


Рисунок 1.8 - Технологічна схема збільшення площі фундаментів, що виконується з обпресуванням ґрунту

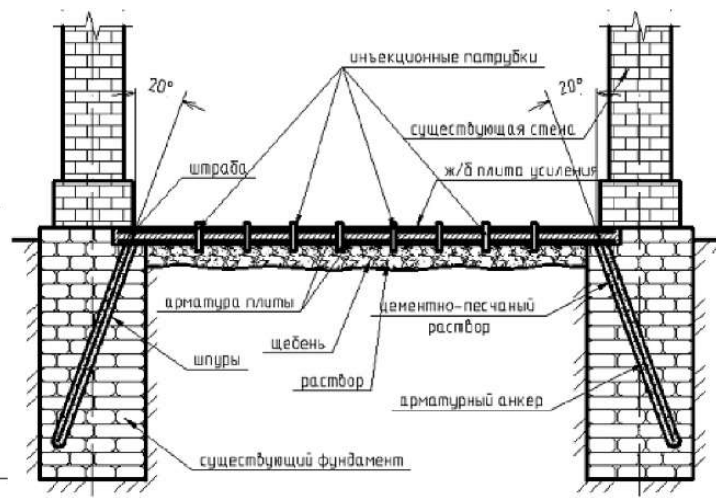


Рисунок 1.9 - Технологічна схема посилення фундаментів із переднапруженням ґрунту напірною ін'єкцією

Доцентом ТьмДАСУ Наумкіної Ю.В. під керівництвом Пронозіна Я.А. [97] досліджено і розроблено спосіб посилення стрічкових фундаментів, що полягає у включенні ґрунту прогонової частини шляхом пристрою ж/б оболонки, і виконується з обпресуванням та переднапруженням основи (рисунок 1.10).

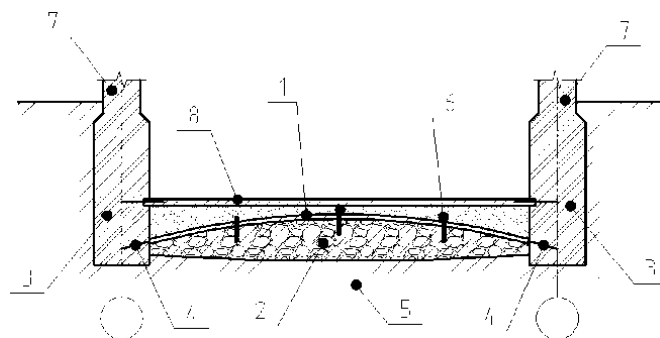


Рисунок 1.10 - Технологічна схема перевлаштування стрічкових фундаментів у плиту змінної жорсткості з переднапруженою ґрунту: 1 - ж/б оболонка; 2 - щебенева подушка з нагніченим розчином; 3 – стрічковий фундамент; 4 – анкер; 5 - переднапружена основа; 6 – ін'єктори; 7 – існуючі стіни; 8 - силова підлога

Переднапруження та ущільнення ґрунтів забезпечується за рахунок подачі в щебеневу подушку під необхідним тиском цементного розчину. Ефективність реалізації даного способу досягається за рахунок виконання опресовування основи, яка дозволяє ущільнити ґрунт основи в активній зоні, і забезпечує включення всіх елементів фундаменту в спільну роботу на технологічній стадії [37].

1.3.3 Технологія комбінованих пальово-плитних фундаментів (КППФ) з переднапруженим «опресуванням» ґрунтовою основою

Як зазначається у роботах автора: «Одним із ефективних способів виконання комбінованих фундаментів, що дозволяють створювати наведене НДС у ґрунтовому масиві під час будівництва, є використання комбінованого пальово-шитного фундаменту з обпресуванням основи»

Конструктивно КППФ може бути виконаний або з циліндричною оболонкою (рисунок 1.11а), або з плоскою плитою (рисунок 1.11б) у прогонової частини між ростверками.

Використання в прогонових частинах КППФ циліндричних оболонкок може бути обумовлено їх перевагами з конструктивної точки зору, до яких відносяться: наявність зусиль, що переважно розтягують, рівномірно розподілених уздовж арматури [17]; з організаційно-технологічною – відносно невисока складність технологічних процесів; з фінансовою – значно менші обсяги матеріалів у порівнянні з плоскою, більш товстою плитою [20].

До переваг пристрою в прогонової частини КППФ традиційної плоскої плити в порівнянні з циліндричною оболонкою відносяться відносно спрощення технології робіт, а також отримання готової конструкції підлоги підвалу. При цьому слід зазначити:

- підвищення трудомісткості.

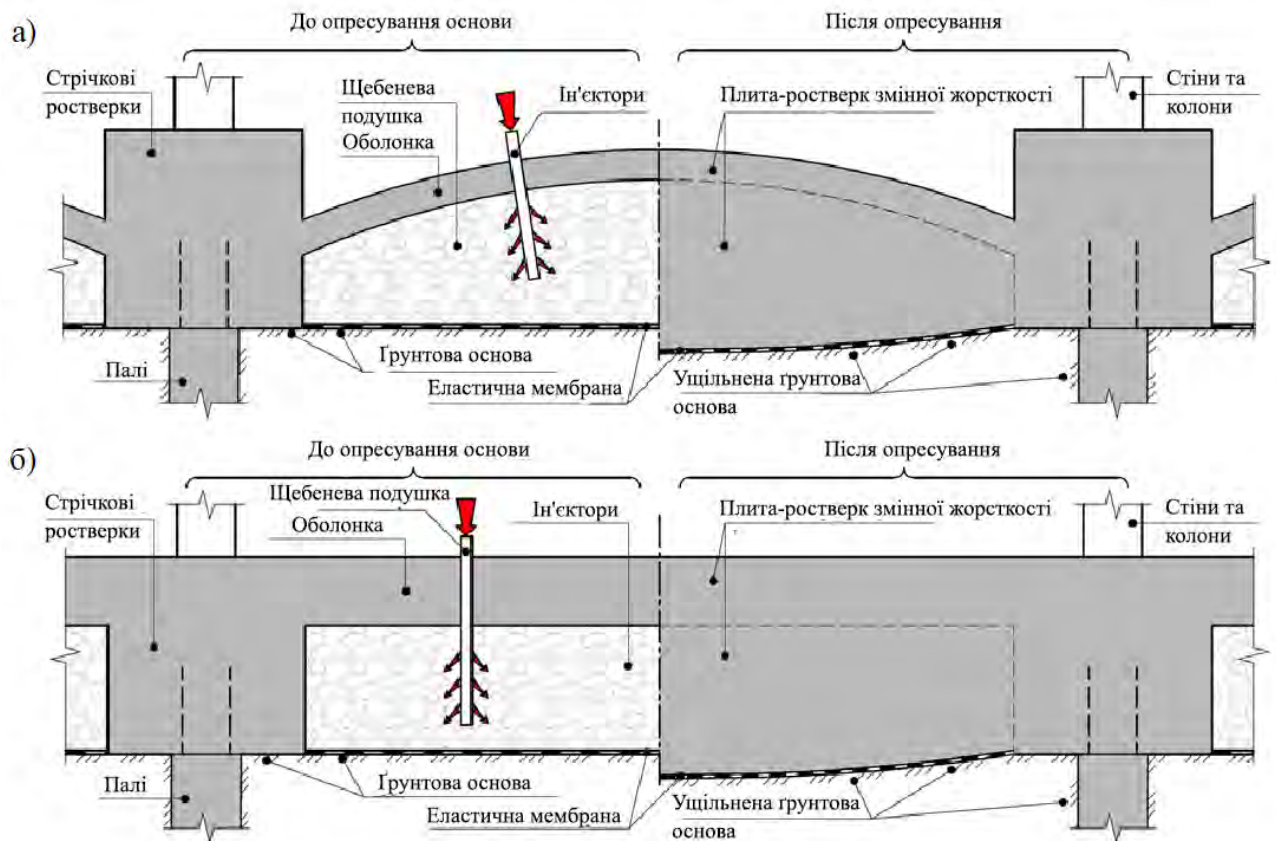


Рисунок 1.11 - Вузол КППФ з оболонкою (а) та плоскою плитою (б) у прогоновій частині

- матеріаломісткості (бетону, двохшарове армування) т-А ішшщшп іОдц пристрою в результаті появи в плиті згинальних моментів, що зростають при збільшенні тиску опресування.

КППФ є системою, що технологічно трансформується, в якій палі об'єднуються ортогонально розташованими стрічковими ростверками, між якими влаштовані плити змінної жорсткості [24]. При нагнітанні цементної суспензії (опресування) у щебенеvu подушку відбувається включення до спільної.

роботу прогонової конструкції КППФ та ґрунтової основи. Контролювати поширення суспензії, що нагнітається, дозволяє полімерна мембрана, розташована під щебеневою подушкою і защемлена по підшві ростверків [11, 25]. Вертикальним переміщенням конструкції ростверку при обпресуванні

перешкоджають його анкеруючі зв'язки зі сваями та дія завантаження вищеповверховими поверхами (рисунок 1.10).

Організаційно-технологічний порядок будівництва КППФ можна у вигляді двох стадій (рисунок 1.11) [57].

Перший етап: виробляються земляні та пальові роботи, виконується КППФ та виробляються супутні роботи «нульового циклу» [25].

Другий етап: виконання регулювання НДС основи обпресуванням. Під опресуванням у цій роботі розуміється технологічний процес подачі під певним тиском (нагнітання) суспензії певного складу, як правило, приготованої на основі портландцементу, у щебеневу подушку. Завданням виконання опресування є досягнення необхідного «наведеного» НДС ґрунтів та підвищення горизонтальних напруг у масиві.

Коли ґрунт у прогонової частини КППФ впливає тиск нагніченого розчину, то будівельні властивості ґрунтів підвищуються [15], відбувається зміна физ.-мех. властивостей ґрунту та НДС, яке може істотно відрізнитися від вихідного [11]. Технологія опресування підвищує бічне обтискання палі тиском масиву ґрунту, що дозволяє підвищити їхню несучу здатність по ґрунту. Наприклад, у роботі Степанова М.А. [52] встановлено, що для КППФ, що включає однорядно розташовані типові палі, опресуванням ґрунту можна досягати збільшення їхньої несучої здатності до 1,2 рази (до 20%). За рахунок передачі частини навантаження на основу в прогонової частини фундаменту відбувається зниження навантажень, що діють на палі. Даний ефект дозволяє стверджувати, що в певних ґрунтових умовах стає можливим замінити складові ($L > 12,0$ м) та бурові палі на традиційні типові залізничні односекційні призматичні палі [14].

Особливості взаємодії КППФ з опресованою основою

КППФ слід відносити до комбінованих фундаментів, оскільки принцип роботи полягає в передачі навантаження на основу всіма його конструкціями (палями, плитою змінної жорсткості). Фундамент має свої конструктивно-

технологічні особливості, а також особливості роботи, що полягають у наступному:

- палі розташовуються за «силовими лініями навантаження»;
- плита змінної жорсткості має не високу матеріаломісткість;
- ростверк КППФ разом із стінами, колонами, перекриттям підвалу формує коробчасту систему підвищеної згинальної жорсткості, що призводить до зниження нерівномірних осад [15];
- всі елементи фундаменту включаються до роботи на початкових етапах навантаження основи (будівництві будівлі);
- технологічно фундамент виконується у два етапи: спочатку влаштовується фундаментна конструкція, а потім у визначений розрахунком період проводиться опресовування ґрунтової основи.

Опресовування основи дозволяється досягти наступних позитивних ефектів:

- ущільнення ґрунтів, підвищення деформаційних характеристик масиву ґрунту в активній зоні дії тиску обпресування;
- варіювання параметрами організаційно-технологічних процесів опресування дозволяє регулювати ступінь включення в роботу ґрунтової основи під плитною частиною та знижувати навантаження, що передаються на палі, що призводить до зниження кінцевих деформацій КППФ;
- технологія опресування підвищує бічне обтискання палі тиском масиву ґрунту, що дозволяє підвищити їхню несучу здатність по ґрунту;
- технологія робіт з опресування основи в прогонових частинах різним тиском дозволяє знизити ефект крайової палі
- бічне обтискання паль дозволяє усунути технологічне «пророблення» (щілини, зазори) між верхніми частинами паль і ґрунтом, що виникає при забиванні палі в основу, складене пилювато-глинистими ґрунтами від тугопластичної до твердої консистенції [29, 30];
- усунення осадових деформацій відтавання сезонно-промерзаючих ґрунтів при зведенні фундаментів у зимовий період;

- опресування дозволяє ін'єкційним методом відновити контактний шар «ростверк - основу», усунути наслідки розструктурування ґрунту, пошкодженого під час виконання робіт «нульового циклу» [35].

Підвищити ефективність опресування можливо, наприклад, шляхом нагнітання розчинів на основі цементів, що напружують. У разі втрата тиску розчину в щебеневій подушці буде самокомпенсироватися з допомогою деформацій розширення при твердінні, що у результаті призводить до зменшення трудовитрат бригади, підвищення темпів робіт.

2 ВИЯВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПРЕСУВАННЯ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ

2.1 Особливості інженерно-геологічних умов четвертинних відкладень

За кордоном багатоповерхові будинки найчастіше зводяться в сприятливих інженерно-геологічних умовах - на скельних основах або ґрунтах, що мало стискаються. Проте відсутність нових вільних ділянок для будівництва потребує освоєння нових територій, які найчастіше складені слабкими ґрунтами. Так, на основі безлічі українських міст залягають осадові породи четвертинного періоду. Такі породи можна охарактеризувати як «слабкі пілуватоглинисті ґрунти», вони мають досить низькі параметри міцності і деформованості [17, 18].

Харківська область, наприклад, розташована на одному з найбільших структурних елементів Євразії, яка в інженерно-геологічному відношенні може характеризуватись як регіон зі складними інженерно-геологічними умовами, що істотно відрізняються в різних його зонах [40].

Наприклад, більша частина півночі представлена озерно-болотистими відкладами, переважно зустрічаються торф'яні та просадні ґрунти. У північній частині виконуються переважно пальові фундаменти з типових залізничних і металевих паль, які повсюдно занурюються забиванням [33].

На півдні регіону поширені сильно стисливі пілуватоглинисті ґрунти. Потужність товщі таких ґрунтів може досягати 815 м і більше. Трапляються випадки, коли величина γ - розрахунковий опір ґрунтів активної зони основи менше 100 кПа. Найчастіше такі ґрунти перешаровуються і чергуються з досить міцними шарами, а також можуть підстилати основу, що мало стискається [40].

Однією з характерних є варіант інженерно-геологічного розрізу, представленого рисунком 2.1. На поверхні потужністю 0,5^{1,5} м розташований шар рослинності та техногенних відкладень. Під ним розташовані пілуватоглинисті четвертинні відкладення, що характеризуються величиною модуля

деформації до 15-20 МПа, $B_z = 3-7$ м (рисунок 2.1). Нижче залягають слабші ґрунти різного генези. На глибині 15-20 м, найчастіше, зустрічаються відкладення щільних пісків різної крупності.

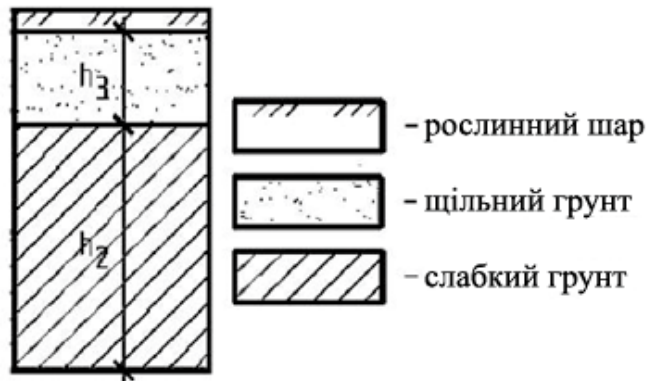


Рисунок 2.1 – Схема характерного інженерно-геологічного розрізу для Харкова

При проектуванні фундаментів у подібних інженерно-геологічних умовах доцільно локалізувати межу товщини, що стискається, у шарах щільних ґрунтів, що дозволить знизити деформації та підвищити надійність об'єкта.

Гідрогеологічні умови Харківської області.

Приповерхневі води, які можуть вплинути на будівництво та експлуатацію малозаглиблених будівель та споруд, відносяться до алювіальних та озерно-алювіальних відкладень.

Відповідно до [8], підземні приповерхневі води поділяються на:

- «верховодка» мають широке поширення, і найчастіше розташована в місцях розташування водостійких шарів, підшва яких залягає вище УГВ. Як правило, навесні верхівка формується і існує епізодично (до 1-2 місяців) на сезонно промерзлом шарі ґрунту, що є тимчасовим водоупором [40].
- ґрунтові води мають широке поширення. УГВ у випадку можуть розташовуватися на глибині від 0 до 12м і мають вільну поверхню [40].

В умовах півдня Харківської області амплітуда коливань рівня ґрунтових вод (УГВ) у середньому становить близько 2,30 м. При зведенні будівель та

споруд УГВ надає значний вплив на матеріал конструкцій фундаменту та глибину його закладання щодо поверхні землі, а також на вибір типу проєктованого фундаменту [40]. Як правило, хімічний склад ґрунтових вод є основним показником агресивності ґрунтів, який має враховуватися під час проєктування підземних конструкцій.

Таким чином, очевидно, що проєктування та влаштування дрібнозаглиблених фундаментів у зазначених ґрунтових умовах економічно доцільно виконувати в приповерхневих міцних шарах, або передавати навантаження на підстилаючі шари, що мало стискаються.

2.2 Технологія пристрою експериментальної моделі КППФ та обґрунтування ефективності застосування опресування основи

Комплексні експериментальні дослідження великомасштабної моделі фундаменту були виконані з метою вивчення організаційно-технологічних процесів його устрою та виконання опресування, а також аналізу взаємодії КППФ з переднапруженою ґрунтовою основою.

В основі моделі фундаменту залягали ґрунти верхньочетвертичного та сучасного віку, представлені суглинками різного генези, стану та складу.

При проведенні експерименту фіксувалася технологічна послідовність процесів, виконувався хронометраж та фотозйомка робочого процесу, насправді виявлялася раціональність прийнятих конструктивних та технологічних рішень, вивчалися особливості рецептури та приготування розчину для опресування та його нагнітання.

Зазначені дослідження було виконано співробітниками кафедри «Будівельного виробництва, основ та фундаментів» ФДБОУ ВПО ТюмДАСУ під керівництвом завідувача кафедри Пронозіна Я.О. При проведенні експерименту автор безпосередньо брав участь у підготовці контрольної-вимірної обладнання, підготовці майданчика, у всіх організаційно-технологічних

операціях планування основи та влаштування моделі фундаменту, а також у виконанні опресування основи.

Технологія виготовлення великомасштабної моделі фундаменту

Крупномасштабна модель КППФ розмірами в плані 3,0x1,8м являла собою стрічкові ростверки шириною 250мм і висотою 400мм, що об'єднують буронабивні палі довжиною 2,5м і діаметром 200мм, між якими в пролітній частині виконана ж/б оболонка під оболонку.

Палі виконували за технологією "TICE" (Технологія Індивідуального Будівництва та Екологія) за допомогою ручного фундаментного бура "TICE-200".

Склад технологічних процесів, виконаних при влаштуванні великомасштабної експериментальної моделі КППФ, представлений у таблиці 2.1.

Календарний графік фактичного виконання технологічних процесів при влаштуванні великомасштабної моделі КППФ представлений рисунку 2.2. Кількість виконавців робіт перебувала у діапазоні від двох до чотирьох осіб.

Кількість виконавців робіт перебувала у діапазоні від двох до чотирьох осіб. Загальна тривалість робіт становила 19 днів за тривалості зміни 5-7 годин. Роботи з опресування основи виконані за дві неповні робочі зміни, включаючи підготовчі роботи та технологічну перерву.

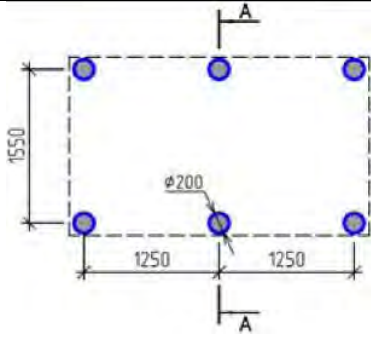
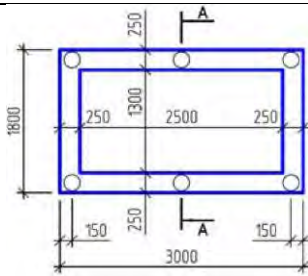
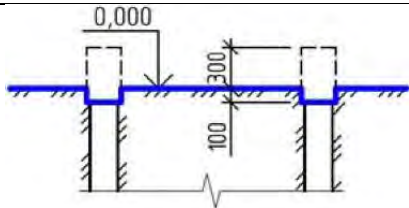
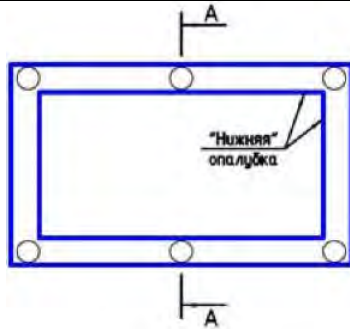
Порядок проведення натурного експерименту

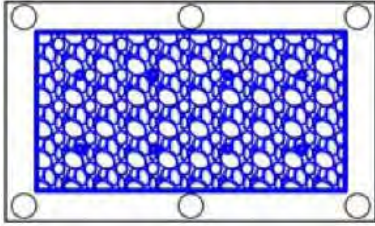
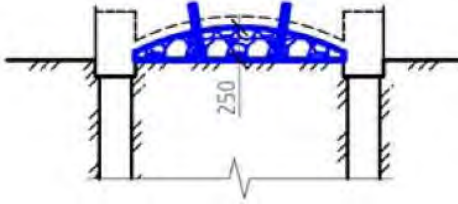
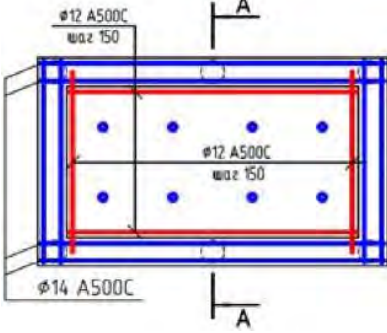

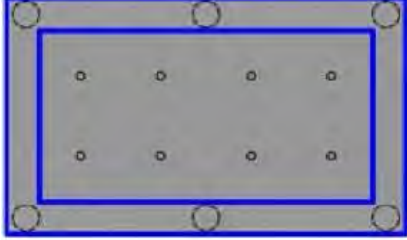
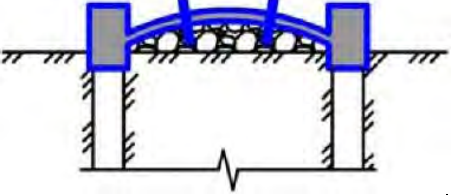
Відповідно до плану натурного експерименту було виділено дві стадії - технологічна та експлуатаційна [12, 22].

Технологічна стадія - включала пристрій моделі КППФ та опресування основи в прогонової частини. Метою виконання опресування було попереднє напруження та ущільнення ґрунтів. Опресування полягала в нагнітанні цементного розчину щебеневої подушки через перфоровані труби-ін'єктори, з наступним твердінням (рисунок 2.2).

В основі рецептури розчину лежить портландцементу (М400). Приготування суспензії (В/Ц=0,8) виконувалося змішувачі лопатевого типу

Таблиця 2.1 - Склад технологічних процесів при влаштуванні великомасштабної експериментальної моделі КСПФ

Опис та склад технологічних процесів, що виконуються	Експериментальна модель КСПФ	
	План (вид зверху)	Перетин А-А
1. Підготовчі роботи: - виготовлення арматурних елементів; - планування та розмітка ділянки.		
2. Влаштування бурових паль «ТІСЕ»: - буріння свердловин діаметром 0200 мм; - виконання відкидним плугом розширення у вибої свердловини діаметром 500 мм; - встановлення арматурних каркасів; - бетонування паль із ущільненням суміші.		
3. Земляні роботи: - планування ґрунту в прогонової частини; - планування траншей глибиною 100 мм для влаштування поздовжніх та поперечних стрічкових ростверків.		
4. Опалубні роботи: - встановлення та закріплення опалубки з ламінованої фанери за зовнішнім периметром моделі;		
- Установка «нижньої» опалубки з		

<p>ламінованої фанери по периметру ґрунтового профілю в прогонової частини.</p>		
<p>5. Влаштування щебеневої подушки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - укладання ПВХ мембрани товщиною 200 мкм у два шари у прогонової частини; - Влаштування щебеневої подушки; - встановлення виготовлених труб-ін'єкторів та контрольних трубок у подушку із щебеню. 		
<p>6. Арматурні роботи:</p> <ul style="list-style-type: none"> - встановлення армокаркасів стрічкових ростверків (діаметр 14 мм, А500С); - Встановлення сітки армування оболонки в прогонової частини (діаметр 12 мм, А500С); - встановлення сітки конструктивного армування (сітка для кладки, 50x50 мм). 		
<p>7. Бетонні роботи:</p> <ul style="list-style-type: none"> - спільне бетонування стрічкових ростверків та оболонки КСПФ; - заглажування поверхні бетону; - догляд за бетоном, що твердіє; - Демонтаж опалубки. 		
<p>8. Опресування основи:</p> <ul style="list-style-type: none"> - підготовка та складування компонентів; - підготовка та перевірка обладнання; - Приготування розчинної суміші; 		

[15]. Готова суспензія від змішувача та насосного вузла через шланги високого тиску, гідравлічний пакер та труби-ін'єктори подавалася в щебеневу подушку



Рисунок 2.2 – Виконання нагнітання суміші в щебеневу подушку

Контроль тиску здійснювався за манометром, встановленим на високонапірному шлангу. Контроль підйому оболонки був організований за допомогою прогібомерів 6ПАО [15]. Тиск опресування підтримувалося на рівні 50кПа. Потім давався «відпочинок» - технологічна перерва під час якої у ґрунті відбувається релаксація напруг, що супроводжується деяким опусканням оболонки та зниженням тиску розчину. На другий етап, на другому етапі опресування, виконувалася «докачка» розчину для досягнення та підтримання необхідного тиску 50кПа, після чого відбувалося твердіння розчину в щебені.

Експлуатаційна стадія – статичне поетапне навантаження моделі КППФ. Статичне навантаження від конструкцій, що лежать вище, передається на фундамент через стрічкові ростверки. Ця стадія моделює навантаження фундаменту при будівництві та на стадії експлуатації будівлі. Навантаження виконувалося бетонними блоками ФБС 24.6.6 заводського виготовлення, на першому ступені встановлювалися 4 блоки, на кожному наступному ступені по 7 блоків. Кінцевий середній тиск під КППФ дорівнював 276,81 кПа [15, 22].

Кінцеві вертикальні деформації ґрунту на останньому ступені навантаження склали близько 70 мм, при цьому їх величини приблизно рівні у всьому обсязі ґрунту основи в позначках від низу ростверків до п'яти паль, що обумовлюється зниженням деформованості основи в зоні, що стискається за рахунок його переднапруги. Підвищення несучої здатності та зниження деформацій КППФ обумовлено тим, що основа в прогонової частини працює як єдиний масив підвищеної жорсткості [17]. Повне згасання осад КППФ зафіксовано на глибині 1,7В (де - ширина фундаменту). Зважаючи на цей ефект, слід думати про можливість управління деформаціями КППФ, коли тиск на основу від зовнішнього навантаження, не перевищує величину тиску опресування.

В основі прогонової частини фундаменту вертикальні напруги дуже незначні в порівнянні з зовнішнім навантаженням, що прикладається, що обумовлено переднапругою основи. Степанов М.А. у дисертаційній роботі зазначає: «При додатку зовнішнього навантаження ґрунтомасив у прогонової частині працює як квазімонолітний обсяг. У перетвореному шарі виникають залишкові деформації ущільнення та залишкові надлишкові напруги. Ґрунти набувають нових, підвищених властивостей міцності та деформованості».

Оцінка впливу технології опресування на фіз.-хутро. характеристики переднапруженого ґрунту

По завершенню експерименту виконано часткову екскавацію ґрунту під моделлю фундаменту. У міру видалення ґрунту відбиралися проби ґрунту, які були спрямовані на подальші лабораторні дослідження [47].

В одній з опублікованих робіт автора зазначається: «Аналіз зміни механічних характеристик показав, що деформованість всіх шарів ґрунту, що залягають під подошвою посиленого фундаменту, істотно зменшилася. Про ущільнення свідчить підвищення значення модуля деформації компр (для шару, що знаходиться безпосередньо під подошвою фундаменту, - в 2 рази); питоме зчеплення з також збільшилося в результаті виробленого ущільнення ґрунтової основи ».

Встановлено, що опресовування основи під плитно-пальовим фундаментом призводить до підвищення горизонтальних напруг у масиві, які в свою чергу додатково обжимають палі бічним тиском, тим самим підвищуючи їх несучу здатність.

2.3 Виявлення технологічних параметрів опресування ґрунтової основи під фундаментом багатопрогонової споруди на основі чисельного моделювання

Технологія регулювання НДС основи шляхом його «опресування» заснована на контрольованому нагнітанні цементного розчину в прогонові частини КППФ. Призначення технологічних параметрів опресування має виконуватись на основі чисельного аналізу. Основною метою чисельного аналізу було обґрунтування впливу організаційно-технологічних параметрів «опресування», що регулює НДС основи у процесі будівництва, на абсолютні та відносні деформації КППФ.

Оцінку впливу технологічних параметрів опресування на зміну НДС ґрунтового масиву рекомендується виконувати шляхом чисельного моделювання в спеціальних геотехнічних програмних продуктах, що реалізують МКЕ, таких як Midas GTS NX (Корея), SoilWorks (Корея), TNO DIANA (Нідерланди), Plaxis (Ні /М (США), Sofistik (Німеччина), NASTRAN (США), Abaqus, ANSYS (США), ZSoil (Швейцарія), FLAC3D (США), FEM-models (Україна) та ін.

Опис поведінки ґрунтів виконувався нелінійною моделлю зміцнювального ґрунту Hardening Soil (HS), оскільки в ній використовується гіперболічна залежність деформацій від девіаторних напруг, що точніше відповідає реальній поведінці ґрунту. «Модель ґрунту, що зміцнюється» (Hardening Soil model) може застосовуватися для моделювання поведінки, як слабких, так і міцних ґрунтів. Ряд геотехніків відзначають, що замість терміну «зміцнюється» (від англ. hard - міцний, твердий) правильніше вживати «жорсткіший» (від слова жорсткість),

оскільки у ґрунтів основи при навантаженні підвищується не міцність, а жорсткість, тобто знижується їх деформованість [14, 16, 19]. Головною перевагою моделі HS при розрахунках пов'язаних з регулюванням НДС ґрунту виступає облік зміни модуля деформації (E) при навантаженні/розвантаженні основи, що дуже важливо, оскільки при обпресуванні відбувається обтискання ґрунту і відповідно збільшення модуля деформації під прогонною частиною фундаменту.

Моделювання технологічних процесів обпресування основи.

Чисельне моделювання технологічних процесів обпресування основи виконується для аналізу взаємодії КППФ багатопрогнової споруди з ґрунтовою основою, що обпресовується, а також для виявлення найбільш ефективних організаційно-технологічних параметрів обпресування і виявлення закономірностей їх впливу на ефективність використання фундаменту та експлуатаційні якості об'єкта будівництва.

Розрахункова схема системи «фундамент – зона регулювання НДС – ґрунтова основа» повинна вибиратися на основі архітектурно-конструктивної концепції проектованої будівлі або споруди, а також інженерно-геологічних умов майданчика будівництва. Так, на етапі проектування фундаментів будівель нормального та підвищеного рівня відповідальності згідно з федеральним законом N384-03 слід враховувати просторову роботу конструкцій. Крім цього, в розрахунках необхідно враховувати стадійність виконання будівельних робіт та робіт із регулювання НДС основи. Для найбільш адекватного обліку конструктивних особливостей споруди та природного напластування ґрунтів на основі вирішення поставлених завдань слід виконувати переважно у тривимірній постановці.

При розрахунку деформацій основи слід враховувати всі стадії формування НДС. Вихідне НДС масиву ґрунту в загальному випадку визначатиметься власною вагою ґрунтів, наявністю ґрунтових вод, впливом навколишньої забудови, наявністю великих підземних інженерних мереж та комунікацій тощо. При будівництві зміна НДС основи відбуватиметься при екскавації котловану

(розвантаження основи), водозниженні тощо. Основна частка вертикальних деформацій основи реалізується за його навантаженні у процесі зведення об'єкта.

З технологічної та геотехнічної точок зору на ефективність регулювання НДС основи надаватимуть такі технологічні параметри як:

- порядок опресування за прольотами - послідовність виконання опресування за прольотами КППФ;
- тиск опресування (ропр) – тиск нагнітеного розчину в замкнутому просторі щибеневої подушки;
- період виконання опресування (Т) - час (стадія) виконання опресування у процесі навантаження основи (будівництві будівлі).


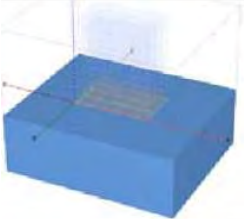
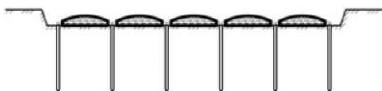

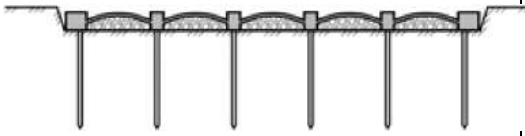
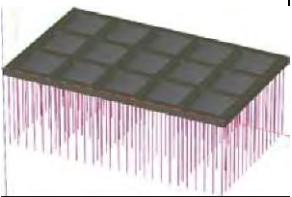

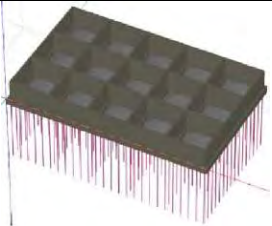
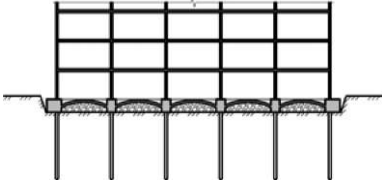
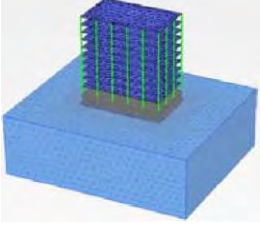
Чисельне рішення на основі МКЕ дозволяє оцінити вплив зазначених параметрів на зміну НДС на всіх етапах будівництва [14]. Дані чисельного розрахунку дозволяють оцінити зміну НДС як ґрунтової основи, так і конструкцій споруди на всіх етапах навантаження (будівництва).

Для аналізу впливу зазначених технологічних параметрів на формування НДС та кінцеві деформації будівлі за допомогою програмних комплексів Plaxis 2D AE.02 та Plaxis 3D AE.02 з використанням моделі Hardening Soil (HS) було розглянуто завдання моделювання п'ятипролітного КППФ з опресуванням ґрунтової основи, заданої характеристиками, представленими у таблиці 2.2. ПК Plaxis - система кінцево-елементного аналізу, що використовується для вирішення задач інженерної геотехніки та проектування, являє собою пакет обчислювальних програм для розрахунку НДС основ та геотехнічних систем.

Облік технології пристрою КППФ та опис розрахункової схеми

Розрахункова схема, виконана у двовимірній та тривимірній постановках, представлена багатоповерховим залізобетонним каркасним будинком на КППФ. Основу задано ґрунтовим кластером з розмірами 70x60x30м, які прийняті згідно з рекомендаціями Л.А. Строковий [16] та R. Katzenbach [21]. Палі квадратного перерізу 300x300 мм завдовжки $B=10$ м з кроком 1,0м задані елементами типу embedded beam row. Монолітні ростверки квадратного перерізу (1000x1000 мм) з бетону класу В30 поєднують палі (вузли сполучення – жорсткі). Між

Таблиця 2.2 - Основні технологічні етапи будівництва будівлі на КСПФ
(Створення чисельної моделі)

Виконувані технологічні процеси	Особливості моделювання	Фрагмент технологічної схеми	Фрагмент моделі
1. Розробка котловану з урахуванням захисного шару ґрунту	Ґрунтовий кластер із розмірами 70х60х30м		
2. Занурення палів	Палі задані елементами типу «embedded beam row»		
3. Влаштування щебневих подушок	Під щебневими подушками задані інтерфейсні елементи (Interface)		
4. Влаштування стрічкових ростверків та оболонок			
5. Влаштування стін та перекриття підвалу	Оболонки, стіни підвалу, перекриття, задані елементами типу «plates»		
6. Подальше зведення каркасу будівлі (навантаження підстави)	Розподілені навантаження прикладені до перекриття. Сумарний тиск на основу $p=300$ кПа.		

стрічковими ростверками по щебневим подушкам виконані ж/б циліндричні оболонки товщиною 150 мм і відношенням стріли підйому $fL = 8,5$ (див. розділ 3). Основні технологічні етапи будівництва будівлі на КППФ (створення чисельної моделі) представлені в таблиці 2.2.

Каркас будівлі заданий елементами типу «plates» ($t=200$ мм) з жорсткими вузлами з'єднання, крок вертикальних елементів 6 м (колони 300×300 мм). Надфундаментний (підвальний) поверх разом з КППФ представляє жорстку коробчасту конструкцію, в якій з/б стіни ($t=200$ мм) поєднують ростверки і диск з/б перекриття.

Поступово розподілені навантаження прикладені до перекриттям, сумарний тиск на основу становить $p=300$ кПа. Розрахунки виконувались з урахуванням жорсткості фундаментів та надфундаментних конструкцій (колон, перекриттів) [12].

Розрахункова схема включала основні етапи пристрою КППФ та зведення каркасу будівлі. У розрахунковій схемі між ростверками і ґрунтом, між щебневими подушками та ґрунтом введені інтерфейсні елементи («Interface»), які моделюють взаємодію між ґрунтом і конструкцією, що зводиться за допомогою коефіцієнта зниження міцності R_{inter} . Будівельні операції як кроків розрахунку step-by-step представлені у таблиці 2.3.

Технологічний процес переднапруги масиву ґрунту шляхом його опресовування у загальному випадку може бути змодельовано двома способами. Перший спосіб полягає в моделюванні процесу опресування шляхом присвоєння об'ємної деформації ґрунтовим кластерам, і може бути використаний для моделювання механічних процесів, що виявляються в об'ємних деформаціях. Позитивне значення об'ємної деформації зазвичай означає об'ємне розширення. Величина об'ємної деформації може бути знайдена як практичними, і аналітичними методами.

Другий спосіб полягає в завданні лінійного (кН/м) або рівномірно розподіленого (кН/м²) навантаження по периметру щебневої подушки.

Навантаження, в даному випадку, імітує всебічний гідростатичний тиск розчину, що нагнітається, що діє на оболонку, ростверки і основу.

Таблиця 2.3 – Технологічна послідовність у вигляді фаз моделювання (step-by-step)

Крок (фаза) розрахунку	Опис фази розрахунку
1	Початковий ПДВ
2	Влаштування паль (на даному етапі виконується обнулення деформацій від власної ваги ґрунту через функцію <code>reset displacements to zero</code>)
3	Зведення КСПФ - влаштування щебеневих подушок, стрічкових ростверків, оболонок, влаштування стін та перекриття підвалу
4	Поетапне будівництво - послідовне навантаження ґрунтової основи корисним навантаженням у процесі будівництва
n	Виконання опресування (функція опорного тиску <code>pref</code>)
n+1	Поетапне будівництво
end	Завершення розрахунку. Аналіз результатів розрахунку.

У цій роботі технологічний процес опресування моделюється другим способом через присвоєння гідравлічних умов кластерам (подушкам із щебеню) через функцію опорного тиску (`pref`), що дозволяє задавати рівномірне навантаження по периметру кластерів. Ця функція активується в меню гідравлічних умов (`water conditions`) за допомогою опції «`user defined`». У посібнику до ПК Plaxis [14] через цю функцію пропонується моделювати процеси цементування, пов'язані з передачею тиску навколишній ґрунт і конструкції.

Аналіз впливу технологічного параметра черговості опресування по прольотах на кінцеву осадку КППФ

Для визначення впливу такого технологічного параметра як черговість прогонів, що опресовуються, на формування НДС ґрунтової основи виконано ряд чисельних експериментів з різною величиною навантаженості основи на період

проведення робіт з опресовування. Було досліджено 4 варіанти черговості опресування по прольотах у поздовжньому перерізі КППФ.

Виявлено, що такий технологічний параметр як черговість опресовуваних прольотів впливає формування НДС переважно на етапі виконання обпресування. При подальшому навантаженні (будівництві будівлі) основи відбувається «згладжування» полів напруг, викликаних обпресуванням, вони розсіюються в загальній товщі, що стискається. Таким чином, виявлено, що вплив даного параметра кінцеві деформації фундаменту мінімально. З організаційної точки зору роботи з опресування рекомендується виконувати, отримуючись найбільш технологічної послідовності з прольотів.

Аналіз впливу технологічних параметрів періоду та тиску опресування на кінцеву осадку КППФ

Для визначення впливу таких технологічних параметрів як період опресування та тиск опресування на кінцеву осідання будівлі була проведена серія чисельних експериментів з варіюванням величини навантаженості основи на період проведення робіт з обпресування [12].

Величина тиску опресовування р_{опр} прийнята в діапазоні 100[^]300 кПа з кроком 50 кПа. Опресовування виконувалося одночасно по всіх прольотах. На рисунку 2.3 представлені графіки залежності кінцевої осідання будівлі (р=300 кПа) від періоду та величини тиску обпресування. Теоретична значущість проведених досліджень полягає в тому, що, використовуючи модель ІБ, яка враховує залишковий напружений стан, можна розрахунковим шляхом обґрунтувати зниження деформованості ґрунтової основи під час його опресування.

Так, у розглянутому випадку осадка КППФ без опресовування ґрунтової основи становить $s = 180$ мм (рисунок 2.6), а при виконанні опресування тиском, наприклад, 150 кПа (0,5р) на ранніх стадіях будівництва (до 0,15р) - $s = 144 - 152$ мм, тобто кінцевий осад будівлі знижується на 15-20%. При опресуванні, наприклад, в момент будівництва половини будівлі (0,5р) ефект знижується до 10%.

Зниження величини кінцевої опади на 20-30% відноситься до опресування тиском 250 кПа (0,83р) при навантаженні основи тиском, що не перевищує 100^{150} кПа ($0,33p^{0,5}$). Максимальний ефект, у розглянутому прикладі - 40% зниження величини кінцевої опади, відноситься до опресування тиском 300 кПа (1р) при навантаженні основи тиском, що не перевищує 100 кПа (0,33р).

Для розглянутої розрахункової схеми стало можливим забезпечити вимоги щодо неперевикнення нормативних деформацій КППФ, коли ропр знаходиться в діапазоні 150^{300} кПа ($p/2+p$) і на ґрунт діє навантаження не більше $0,45p+0,65p$.

Графіки завжди найбільш точно апроксимуються поліноміальною функцією другого ступеня, величина достовірності апроксимації $R^2 > 0,991$.

Отримані апроксимуючі залежності мають такий вигляд:

$$y = 0,0009x^2 - 0,08x + 164,06; (R^2 = 0,99),$$

$$y = 0,0004x^2 + 0,064x + 144,56; R = 0,99),$$

$$y = 0,0003x^2 + 0,1015x + 129,77; R = 0,99),$$

$$y = -0,0001x^2 + 0,3209x + 96,067; R = 0,99),$$

$$y = -0,0007x^2 + 0,6383x + 47,6; (R^2 = 0,99),$$

при ропр = 100 кПа; при ропр = 150 кПа; при ропр = 200 кПа; при ропр = 250 кПа; при ропр = 300 кПа.

Залежності, з яких випливає, що шляхом збільшення тиску опресування, що організується на ранніх стадіях будівництва, слід домагатися збільшення ефекту зниження кінцевої осадки. При цьому слід зазначити, що для кожного рівня тиску опресування існує «порогове» навантаження ґрунтової основи будинком, після якого проведення опресування призведе до збільшення кінцевої опади.

Технологічний процес регулювання НДС основи шляхом його опресування виконується в процесі зведення будівлі (у процесі навантаження основи), і починається не раннє закінчення процесів з влаштування підвальної частини будівлі, що значно підвищує жорсткість КППФ.

Початок технологічних процесів опресування задається згідно з розрахунковим обґрунтуванням і визначається таким технологічним параметром як період опресування T_{opr} . У випадку коли опресування не виконується відразу після зведення КППФ та конструкцій підвалу, при $T < T_{opr}$, то виникає технологічна перерва Pr , позначена рисунку 2.3.

Для розглянутого прикладу область найбільш ефективного виконання опресування визначається передачею на основу не більше 50 ^ 60% («ТПр) кінцевого навантаження, а найкращим є виконання опресування на ранніх стадіях будівництва, що в свою чергу скорочує тривалість технологічної перерви. У випадку організацію опресування після середини будівництва ($> T_{150}$) слід вважати ефективною.

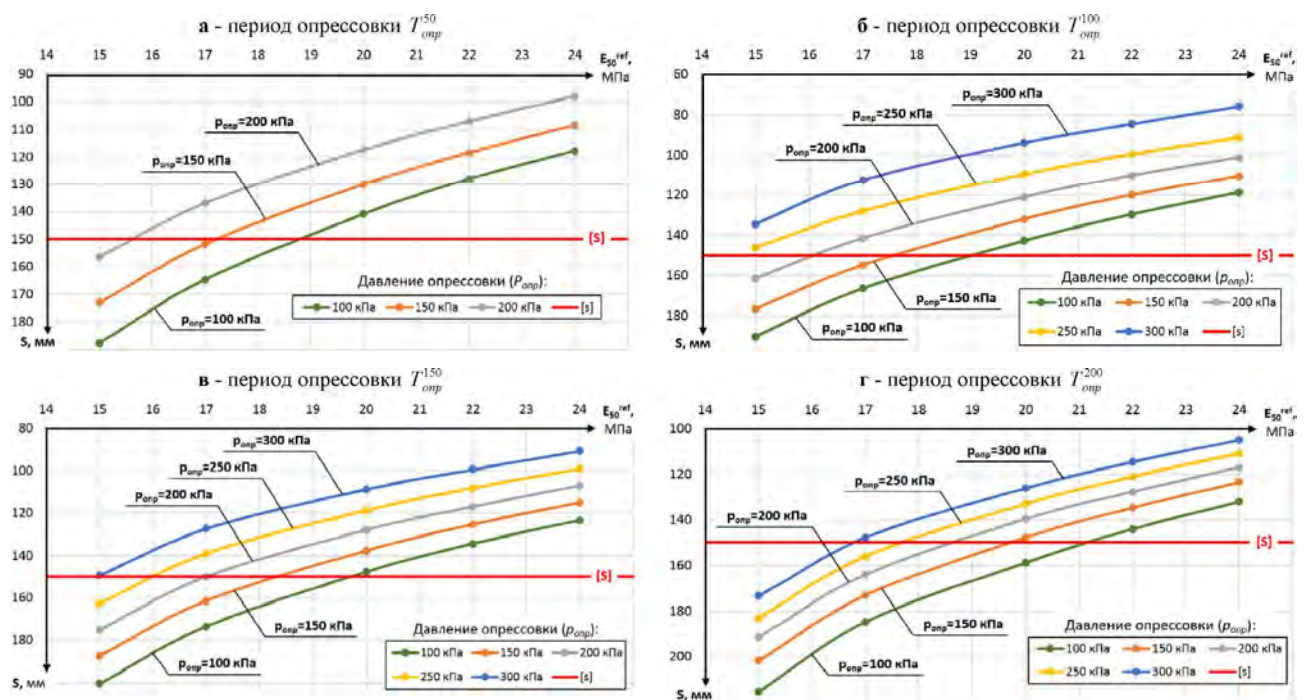


Рисунок 2.3 - Графік впливу тиску опресування (при різних періодах опресування T_{opr}) на кінцеву осідання фундаменту при різному модулі деформації ґрунту

2.4. Виявлення технологічних параметрів відновлення контактного шару «ростверк - ґрунтова основа» обпресуванням на основі чисельного моделювання

Абелев К.М. зазначає, що «...водонасичені глинисті ґрунти є сильнопучинистими при промерзанні, а в процесі промерзання та подальшого відтавання значно знижується міцність ґрунтів та збільшується їх стисливість» [7]. До типових пучинистих при промерзанні ґрунтів відносяться озерно-льодовикові відкладення (супеси, суглинки, глини), дрібні та пилюваті піски та інші види ґрунтів [50].

Дослідженням фізичних процесів (рис.2.4), що відбуваються при промерзанні та подальшому відтаванні пучинистих ґрунтів, та їх вплив на деформацію геотехнічних конструкцій та експлуатаційну надійність будівель та споруд у різний час займалися Абелев М.Ю., Абелев К.М., Фельдман Г.М., Рогозін .Н., Вінтеркорн Х.Ф., В'ялов С.С., Цитович Н.А., Кисельов М.Ф., Коновалов П.А., Гольдштейн М.М., Зарецький Н.А., Кудрявцев С.А. , Сахаров І.І., Парамонов В.М., Пчелінцев А.М., Медведєв С.М., Невзоров А. Л., Карлов В. Д. та ін [4, 7, 74, 75, 90 , 98, 138, 139]. Зокрема, дослідженнями Цитовича Н.А., Жукова В.Ф., В'ялова С.С., Кисельова М.Ф., Зарецького Ю.К., Пономарьова В.Д., Федосєєва Ю.Г., Сорокіна Ю.А. . встановлено, що з відтаванні мерзлого ґрунту відбувається його осаду, має значні величини [4].



Рисунок 2.4 - Вплив обпресування на характер контактних тисків під подошвою КСПФ на початковому етапі будівництва (ліворуч) та на етапі виконання обпресування (праворуч)

Професор Далматов Б.І. осадку фундаментів поділяв на п'ять доданків [43]:

$$S_{\text{Synn}} + S_{\text{спазупл}} + S_{\text{еун}} + S_{\text{спасстр}} + S_{\text{секспл}} \quad (2.2)$$

де: S_{ynn} – осадка ущільнення ґрунтів непорушеної структури під навантаженням; S_{pasygn} - осадку розущільнення ґрунту, розташованого в основі виїмки, через «розвантаження» масиву при екскавації; S_{eun} - деформація випору ґрунту при розвитку пластичних деформацій; $S_{расстр}$ – осадка розструктурування, носить технологічний «виробничий» характер, дані деформації локалізуються у зонах ушкодження структури ґрунтів при дії техногенних та кліматичних факторів; S_s^Kcnp - деформація, що характеризується зміною НДС на основі експлуатаційної стадії.

Перші три доданки опади (S_{ynn} ; S_{pasygn} , S_{eun}) більшою мірою залежать від тиску на основу, неоднорідності основи, глибини закладення та виду фундаментів тощо, і можуть бути враховані чисельними та аналітичними розрахунками. Опади, що розвиваються в процесі експлуатації будівлі SKCWI можуть залежати від зміни положення УГВ, від можливого послаблення основи підземними виробками та розробки котлованів поблизу будівель, від динамічних впливів, від розвитку різних геодинамічних процесів (карст, зсуви, землетруси).

Розглянемо докладніше четверте доданок - технологічні опади - опади розструктурування ґрунту ($S_{расстр}$), що під час виконання робіт. Під розструктуруванням розуміється порушення природної структури ґрунтів внаслідок зовнішніх впливів, що характеризується зниженням фізико-механічних характеристик, зміною консистенції ґрунту, збільшенням стисливості, зменшенням опірності зсуву. До зовнішніх впливів у цьому випадку можна віднести [31]:

- метеорологічні впливи (промерзання та відтавання, розм'якшення та набухання при впливі атмосферних опадів, висихання та усадка);
- вплив підземних вод (гідростатичний та гідродинамічний тиск, механічна та хімічна суфозія);
- динамічні дії від будівельної техніки, удари по дну котлованів;
- суттєві порушення технології виконання робіт.

Величину $S_{расстр}$ розрахунковим шляхом встановити практично неможливо, і при цьому, виходячи з практики будівництва, вона може бути

порівняннн з величиною граничної осідання фундаменту і перевищувати її [44, 46]. Тому під час виконання робіт слід максимально зберігати природну структуру ґрунтів організаційно-технологічними та конструктивно-технологічними методами.

У разі, коли виявлено розструктурування ґрунтів або передбачається виконання робіт «нульового циклу» в зимовий (міжсезонний), слід передбачати (виконувати) заходи щодо забезпечення працездатного стану фундаментів. Для комбінованих фундаментів забезпечення спільної роботи ростверку з ґрунтовою основою раціонально добиватися шляхом опресування контактного шару цементними розчинами.

Визначення величини пучення та відтавання ґрунтів

Розглянемо варіант пристрою комбінованого фундаменту під окрему будівлю в зимовий період. Припустимо, що при відкопуванні котловану, паливових та підготовчих роботах було допущено грубі порушення - проморожування основи. Вважатимемо, що при влаштуванні фундаменту основа проморожена, і процеси пучення реалізовані. Дослідження показують, що такий масив має на порядок більш високі деформаційні і міцнісні характеристики, ніж немерзлі або талі ґрунти. Виходячи з цього, слід говорити про мінімальні опади (або їх відсутність зовсім) фундаменту при негативних температурах до відтавання основи.

Аналітично обчислимо товщину проморожування основи, яка визначається згідно з формулою 5.3 СП 22.13330. Виявлено, що нормативна глибина промерзання в Харкові для основ, складених глинами та суглинками = 1,3м, а складених супесями, дрібними та пилюватими пісками = 1,5м. Проте виходячи з багаторічного досвіду проектування та будівництва рекомендується приймати цю величину не менше ніж 2,0 м > 2,0 м). Оскільки

розглянута задача охоплює період улаштування фундаменту і не включає облік впливу теплового режиму будівлі, то для наступних розрахунків прирівняємо величини нормативної () та розрахункової () глибини промерзання та приймемо 2,0м.

Аналіз впливу технологічних параметрів процесу відновлення контактного шару «ростверк - основа» обпресуванням

Аналіз впливу технологічних параметрів процесу відновлення контактного шару «ростверк - основа» обпресуванням виконується виявлення закономірностей їх впливу ефективність включення плити-ростверка в спільну роботу з основою, і навіть їхнього впливу деформації фундаменту та експлуатаційні якості об'єкта будівництва.

Розрахункова схема, виконана у плоскій постановці. Грунтова основа описується моделлю Hardening Soil (HS) з такими характеристиками: $E_{50f} = 18000$ кН/м²; $E_f = 18000$ кН/м²; $\epsilon_{gr} = 51\ 000$ кН/м². Плитний же/б ростверк шириною 31 м і товщиною 1,0 м поєднує паль завдовжки 10м з кроком 6м (вузли сполучення – жорсткі). Розрахункова схема включала основні етапи влаштування фундаменту та зведення каркасу будівлі. Поступово розподілені навантаження прикладені до перекриттям, сумарний тиск на основу становить $p=200$ кПа.

Представимо модель виконання робіт «нульового циклу» та зведення перших поверхів будівлі, що здійснюються в зимовий період на промороженій малостисливій основі. У ростверк встановлюються ін'єктори, необхідні для подальшого опресування контактного шару, що виконується після відтавання основи (у весняний період), що супроводжується просадними процесами та зниженням характеристик міцності і деформаційних характеристик (рисунок 2.12). Стійкість фундаменту при відтаванні ґрунтів забезпечується палями.

Для виявлення закономірностей впливу зниження деформаційних характеристик у контактному шарі на кінцеву осідання будівлі була проведена серія чисельних експериментів з варіюванням величини модуля деформації E_{50} та потужності розструктуреного контактного шару НІ. Зниження деформованості ґрунтів у контактному шарі розглянуто в діапазоні від 15% до 95% від вихідних характеристик ($E^*=18000$ кН/м²). Потужність контактного шару НІ призначена в діапазоні до 2000 мм з кроком 500 мм, який задавалися ґрунтовими кластерами, розташованими під плитою-ростверком.

Так, у даному випадку, середнє осадку фундаменту на однорідній основі без зниження характеристик становить $s = 140$ мм (рисунок 2.13). Виявлено, що при зниженні деформаційних характеристик на 1540% в контактному шарі різної потужності відбувається зростання осадку фундаменту до 25% (180 мм). При подальшому зниженні модуля деформації на 4595% осадку різко зростає до 40% ($s = 217$ мм) при $H_1 = 500$ мм, і до 150% при $H_1 = 2000$ мм (рисунок 2.5). При цьому слід припустити, що осадку фундаменту зростатиме зі збільшенням навантаження сприймається плитою-ростверком, тобто зі зменшенням коефіцієнта роботи пальово-плитного фундаменту акпсФ (див. розділ 1).

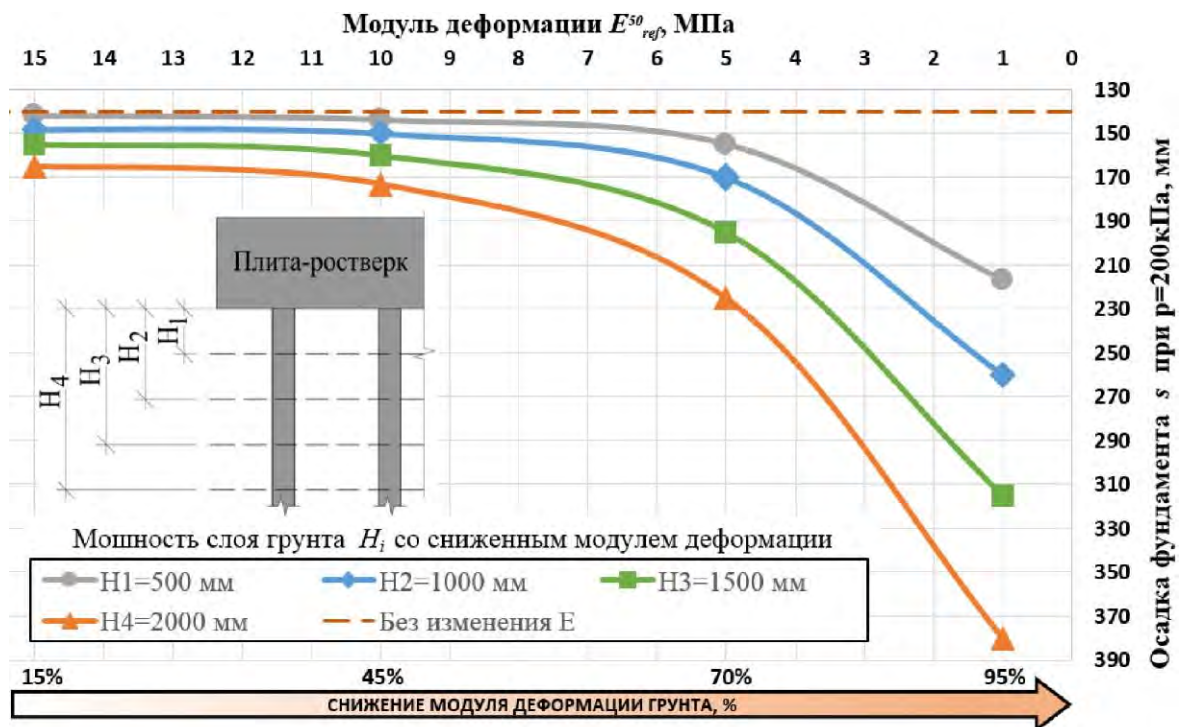


Рисунок 2.5 - Графік залежності осадку фундаменту (s) від зниження модуля деформації ґрунту (E_{50}) у контактному шарі зони основи, що стискається, потужністю H_i

Розглянемо вищеописану задачу, застосовуючи спосіб відновлення контактної зони шляхом його опресування [11]. Виявимо залежності осідання фундаменту від параметрів регулювання НДС опресуванням. При чисельному моделюванні варіюватимемо величини деформаційних характеристик ґрунту в контактному шарі. Величина тиску опресування p_{opr} прийнята в діапазоні

25^100 кПа з кроком 25 кПа, виконання опресування призначено після влаштування фундаменту при передачі на основу не більше 40-60 кПа (0,2-0,3). Графіки отриманих залежностей наведено рисунку 2.6.

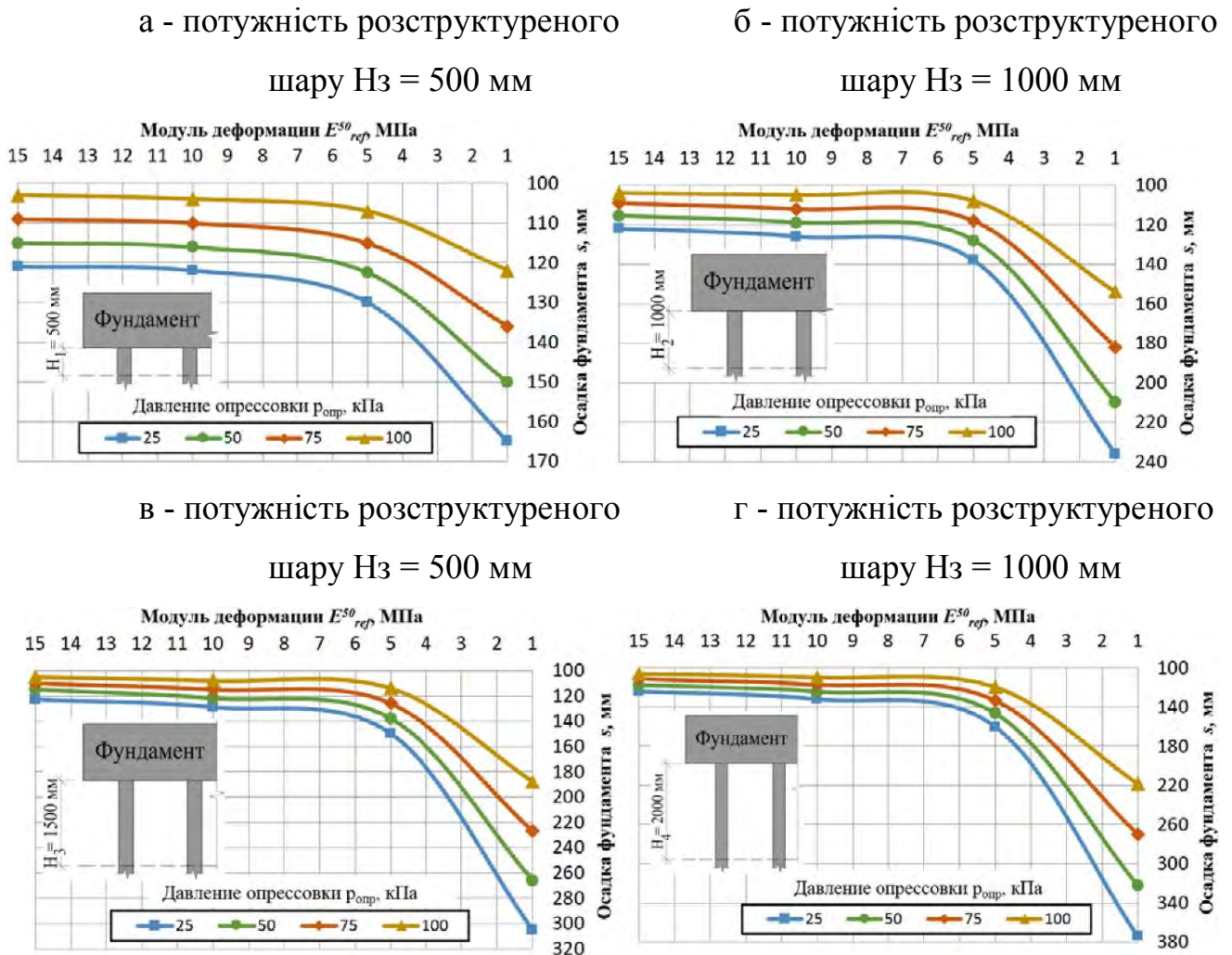


Рисунок 2.6 - Графіки впливу тиску опресування (p_{opr}) на кінцеву осідання фундаменту (s) при зниженні модуля деформації ґрунту E у розструктурованому контактному шарі стискається зони основи потужністю H

Таким чином, у всіх випадках, організація опресовування (відновлення) контактної шару дозволяє включити плиту-ростверк у спільну роботу з основою, забезпечивши деформації фундаменту в рамках нормативних значень.

Розглянемо, наприклад, графік, представлений рисунку 2.14б при товщині расструктуреного шару $H_2=1000$ мм. Так при зниженні E_{50} на 15-70% нормативної осідання фундаменту слід досягати застосуванням мінімального

тиску опресовування $\rho_{\text{опр}} = 25 \text{ кПа} (0,125\rho)$, а, наприклад, при зниженні $E \text{ } ^ > 70\%$ використовуючи $\rho_{\text{опр}} = 100 \text{ кПа} (0,5 \rho)$. Зі збільшенням товщини розструктурованого шару ґрунту ($\#I=500^{\wedge}2000 \text{ мм}$) при зниженні E_{50} більше 70% зниження опаді слід досягати збільшенням тиску $\rho_{\text{опр}} > 100 \text{ кПа}$.

На основі виявлених закономірностей, представлених на рисунку 2.14, виявлено, що при зниженні деформаційних характеристик на $50^{\wedge}70\%$ в контактному шарі потужністю до $1,0^{\wedge}1,5 \text{ м}$ нормативного осадку фундаменту слід досягати тиском опресовування $\rho_{\text{опр}}=0,125\rho+0,5\rho$, що організується на ранніх стадіях будівництва ($<0,2\rho+0,3\rho$), де ρ - сумарний тиск на основу.

Слід зазначити, що після розморожування основи, розструктурені ґрунти під впливом навантаження та власної ваги поступово ущільнюються, що призводить до підвищення їх деформаційних характеристик. У прикладі даний ефект йде в запас.

3 МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТ З ВЛАШТУВАННЯ КППФ З ОПРЕСОВКОЮ ОСНОВИ

Технологічні особливості робіт з влаштування КППФ та опресовування основи розкрито на прикладі фундаментів двох 22-х поверхових житлових будинків житлового комплексу «Twenty Two» (м. Харків), що зводяться на сильно стисливій основі.

3.1. Особливості технології земляних та підготовчих робіт

На виробничій стадії «нульового циклу» поряд із забезпеченням високої якості робіт та високої культури виробництва, слід досягати забезпечення виконання проектних рішень у частині забезпечення взаємодії (контакту) геотехнічних конструкцій із ґрунтовою основою [64].

Традиційно влаштування відкритих земляних споруд виконують із застосуванням повсюдно поширених і досить продуктивних екскаваторів, які можуть бути оснащені робочим органом (ковшем) різної місткості. Об'єм ковша безпосередньо впливає на продуктивність техніки, що застосовується в частині швидкості розробки ґрунтів. Малопродуктивні машини виконуються переважно на пневмоколісному ході, а високопродуктивні екскаватори, що застосовуються в різних галузях промисловості, мають гусеничну базу.

Структура ґрунту на поверхні розкритого котловану руйнується не тільки від руху по ньому техніки, а й від ударів робочого органу (рис. 3.1) [24, 64].

У публікації [64] з посиланням на роботи Абелева К.М. [7] наголошується, що найбільш «щадними» по відношенню до збереження природної структури ґрунтів при їх розробці є сучасні екскаватори з гідравлічним приводом. Такі екскаватори дозволяють вести «дбайливу» пошарову розробку виїмок, і за досить високої кваліфікації машиніста можна досягати товщини «зрізаного» шару до 100 мм [7, 64].



Рисунок 3.1 – Схема розташування зони розструктурених ґрунтів при виконанні робіт «нульового циклу»

При низькій культурі виробництва земляних робіт із застосуванням бульдозерів та екскаваторів, особливо в умовах водонасичених ґрунтів, у науковій літературі та дисертаційних роботах [7] описуються випадки порушення структури основи, що досягає величини 0,75 мм, зафіксовані у Києві, Харкові та інших регіонах України [64].

Крім того, від пересування різної будівельної техніки по дну котловану неминуче відбувається деструкція поверхневого шару ґрунту та його «переминання», утворюються локальні або повсюдні колії [24, 64, 66].

У проектах організації будівництва, проектах виконання робіт, схемах руху будівельної техніки, технологічних картах на виробництво земляних робіт і робіт «нульового циклу» при зведенні комбінованих фундаментів слід відображати заходи щодо «збереження природної структури ґрунту на рівні підшви фундаменту» [16].

«Зниження фізико-механічних характеристик ґрунту в контактному шарі «фундамент-ґрунтова основа» може призводити до наднормативних та нерівномірних опадів будівлі, заниженого включення в роботу плитної частини фундаменту», - наголошується в публікації автора [54, с. 57].

Спираючись на розробки співробітників НДІОСП ім. Н.М. Герсеванова у сфері організації та технології зведення комбінованих фундаментів [14, 19] автором було виконано розробку організаційно-технологічних рекомендацій щодо виконання робіт «нульового циклу» при будівництві КППФ, заснованих на застосуванні «силової армованої бетонної підготовки».

Розроблені рішення щодо влаштування КППФ передбачають послідовність їх виконання, наведену на рисунку 3.2

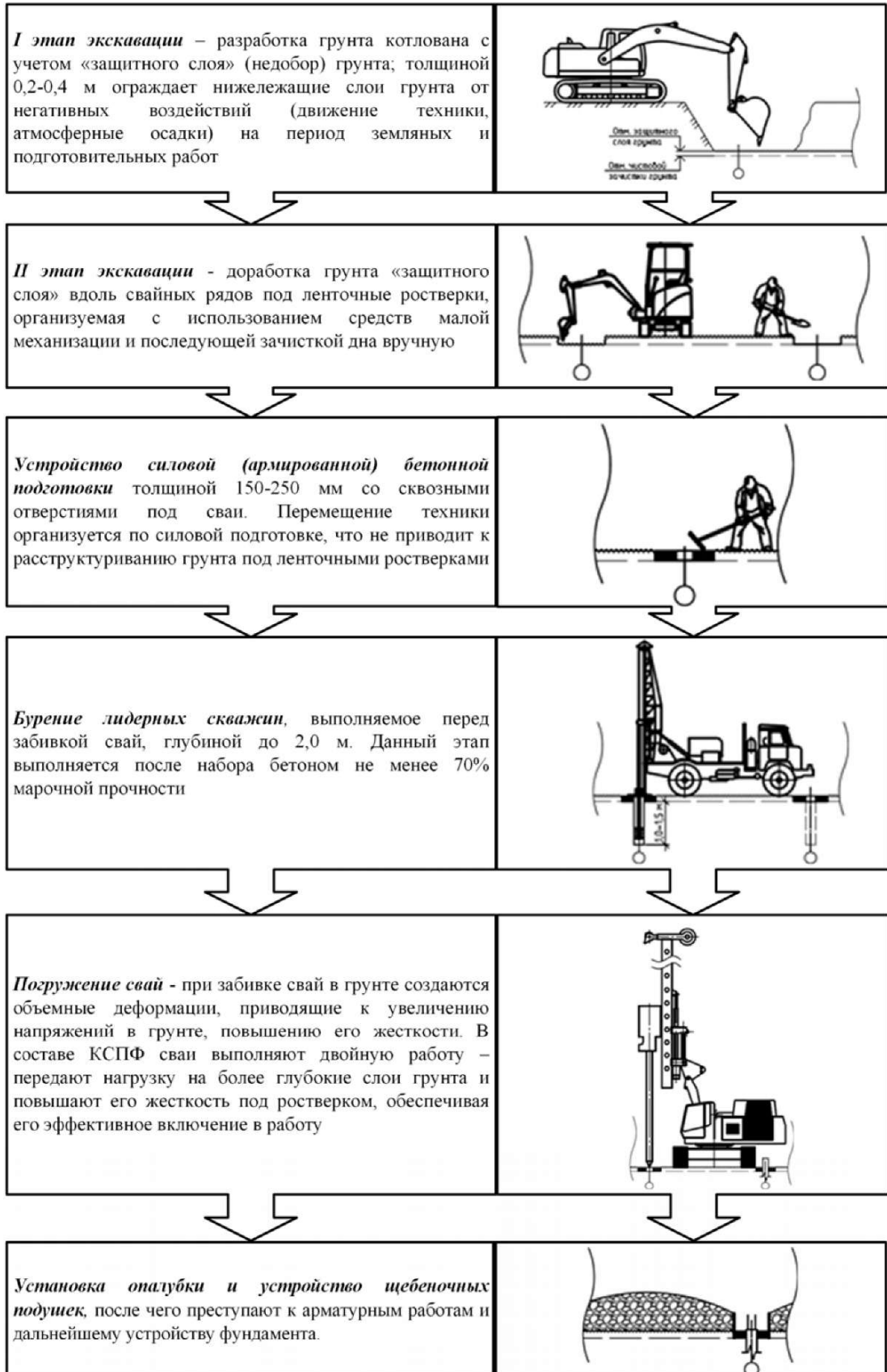


Рисунок 3.2 - Склад технологических процессов при выполнении земляных та подготовчих работ при влаштуванні КППФ

Організаційно-технологічні рішення, що передбачають застосування армованих підготовок під плитно-паловий фундамент, були застосовані при проектуванні комбінованих плитно-палових фундаментів готелів «Domina Hotel Resorts» та «Харків-Арена» в м. Харків (рисунок 3.3), а також при влаштуванні комбінованих фундаментів ММДЦ «Харків-СІТІ» та безлічі інших об'єктів.

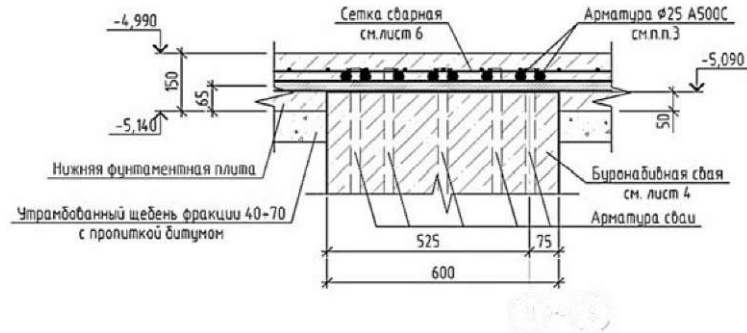


Рисунок 3.3 - Вузол сполучення силової підготовки та буронабивної палі

Жорсткий вузол з'єднання паль з стрічковим ростверком слід забезпечувати анкеруванням арматурних випусків із паль у тілі бетону ростверку. Для типових ж/б паль виконується зрубвання «голів паль» з оголенням та збереженням стрижнів поздовжньої арматури (випусків) (рис. 3.4, 3.5).



Рисунок 3.4 - Відкопування траншеї під стрічковий ростверк



Рисунок 3.5 - Загальний вид бетонної підготовки

Підготовчі роботи переважно організуються із застосуванням потокового, або паралельно-потокового методів виконання робіт. І тому фронт робіт ділиться на захватки. Межі захватки раціонально приймати вздовж осей

фундаменту, включаючи прогонову частину. Так, наприклад, схема поділу на захватки прийнята ППР на пристрій КППФ представлена на рисунку 3.6.

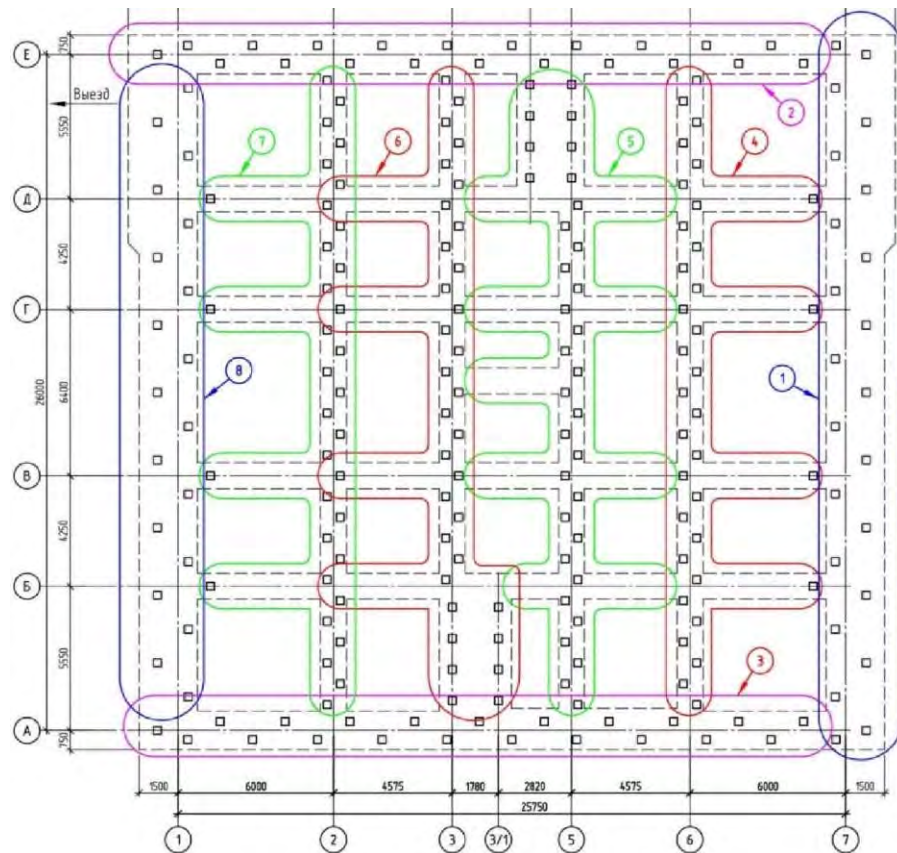


Рисунок 3.6 - Організаційна послідовність земляних та підготовчих робіт.

(1.. 8 - послідовність освоєння захваток)

Наступним етапом підготовчих робіт є влаштування щебеневої подушки. Під щебеневою подушкою автор розуміє опуклий основу з щебеню, виконаний у процесі виконання робіт і призначений для влаштування по ньому оболонкової частини фундаменту [17].

Після влаштування силової бетонної підготовки на двох суміжних захватках приступають до влаштування насипних подушок. Насамперед по внутрішньому периметру ростверків влаштовується нижня опалубка (рисунок 3.7, 3.7а), яка не демонтується. Потім у місцях розташування щебеневої подушки влаштовується мембрана, стикування листів якої може виконуватися внахлест або методом зварювання (рисунок 3.7, 3.8).

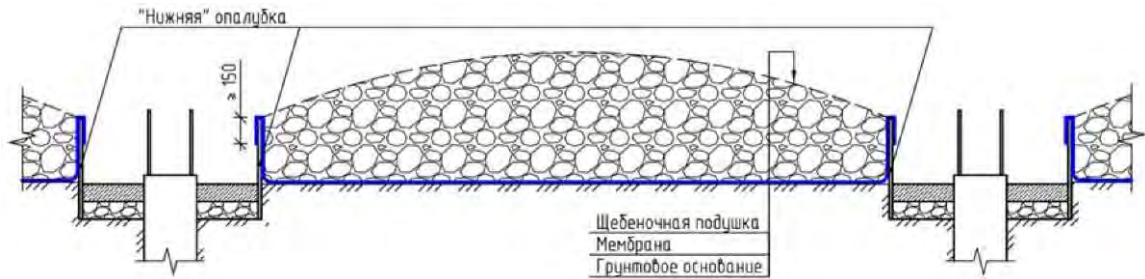


Рисунок 3.7 - Влаштування щебеневої подушки в прогонової частини КППФ

Основна і головна роль мембрани полягає у забезпечення контрольованого поширення розчину, що нагнітається в щебенеvu подушку при обпресуванні. Мембрана для пристрою КППФ повинна відповідати таким вимогам: висока міцність при розтягуванні, висока еластичність, висока механічна міцність, герметичність.



Рисунок 3.8 - Влаштування щебеневої подушки: а - укладання мембрани; б - засипання щебеню

При організації робіт пропонується зварювати полімерні листи мембрани внахлест гарячим повітрям під тиском. У деяких випадках можливе отримання подвійного шва із створенням проміжного каналу для перевірки якості зварювання. Зварювання може проводитись безпосередньо на будівельному майданчику, при цьому організується польовий контроль якості.

По укладеній та закріпленій мембрані виконується щебенева подушка, пристрій якої організується у два етапи. Виробляється засипання повного об'єму

щебеню в комірку без формування кривизни поверхні - чорнове засипання. Потім виконується формування верхньої опуклої поверхні подушки, кривизна якої перевіряється за лекалом. Зверху щебенева подушка укривається поліетиленовою плівкою, що необхідно для подальшого укладання бетонної суміші. Таким чином, криволінійна поверхня подушки є основою для влаштування залізобетонних циліндричних оболонок.

3.1.1 Особливості технології влаштування основ у зимовий період

Влаштування земляних споруд, таких як котловани та траншей, необхідних для зведення в них фундаментів дрібного закладення, слід виконувати переважно у «теплий» період року. Найчастіше ці вказівки не виконуються, і «нульовий цикл» будівлі частково або повністю зводиться при негативних температурах повітря. Пунктами 11.8, 11.23, 11.23 чинного зводу правил СП 45.13330 «Земляні споруди, основи та фундаменти» висуваються вимоги щодо необхідності захисту ґрунтів основи від проморожування, та необхідності збереження вихідної структури основи.

Найбільш поширені способи захисту ґрунтів від проморожування, що застосовуються при влаштуванні фундаментів дрібного закладення, розглянуті автором в опублікованій статті [66]. Зазначені способи (рисунок 4.10) укрупнено можна розділити на здійснювані методом попереднього утеплення ґрунтів та методом внесення хімічних реагентів на поверхню ґрунту, або у його товщу.

Утеплення ґрунтів має здійснюватися або до екскавації ґрунтів - поверхнєве утеплення, або утепленню підлягає поверхня дна та укосів розкритої земляної споруди (котловану, траншеї тощо).

При виконанні робіт, особливо при влаштуванні комбінованих фундаментів, на промерзлих основах слід враховувати, що після відтавання в ґрунтах реалізуються деформації відтавання (осідання), і під ростверком виникають порожнини та порожнечі [66, 68]. Таким чином ростверк частково або

повністю вимикається із спільної з основою роботи, передача навантаження на основу здійснюється лише через палі.

3.1.2 Технологія пристрою КППФ із застосуванням технології відновлення контактного шару «ростверк - основа»

Об'єктом застосування удосконаленої технології забезпечення спільної роботи ростверку з основою ін'єкційним способом стало будівництво монолітно-каркасних будівель у складі ЖК «Сусіди» в м. Харків.

Застосування зазначеної технології найповніше викладено у публікаціях автора [24, 64, 66]. Загальна характеристика наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Загальна характеристика об'єкту

Показник	Характеристика
Характеристика району будівництва	Зимовий період тривалий, сніговий покрив стійкий (мінімальна температура може досягати 45°C). Постійні негативні температури повітря встановлюються наприкінці жовтня. Максимальна глибина промерзання ґрунтів може досягати 180-200 см, повне розморожування відбувається на початку травня.
Тип фундаменту	Фундамент – КППФ. Глибина закладання фундаменту 2,5м.
Період виконання «нульового циклу»	Початок робіт «нульового циклу» – кінець грудня 2019 р. Закінчення робіт «нульового циклу» – середина березня 2020р.
Температурні умови	Різкі поперемінні заморозки (до -8°C) і відлиги (до $+7^{\circ}\text{C}$). Градієнт зміни добових температур весь час виконання робіт досягав $\Delta T=46^{\circ}\text{C}$. Рясні атмосферні опади.
Передумови застосування технології відновлення контактного шару	Після розтину котловану ґрунтова основа була проморожена у водонасиченому стані, процеси пучення ґрунтів реалізовані. Порушення «захисного» шару ґрунту котловану від руху будівельної техніки сягало величини 0,4м. Нижче дна котловану залягали сильнопучинисті ґрунти ($>0,9$).

Динаміка максимальної та мінімальної температури повітря в денний та нічний періоди за весь час виконання робіт «нульового циклу» представлена на рисунку 3.9. Величини температур прийнято на основі архіву погоди гідрометцентру Харківської області.

На стадії виконання «нульового циклу» (рисунок 3.10) було виявлено, що високою є ймовірність виникнення наднормативних деформацій КППФ, які будуть розвиватися в міру відтавання основи. У таких ситуаціях необхідно оперативно вживати заходів щодо забезпечення проектних рішень у частині взаємодії елементів фундаменту та основи.



Рисунок 3.9 – Наслідки механічного пошкодження основи

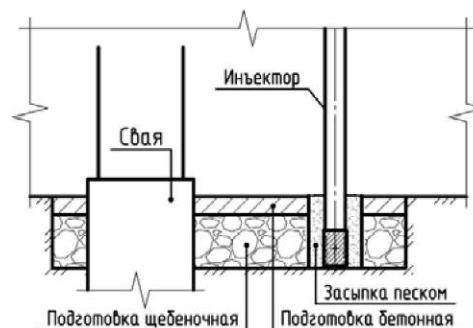


Рисунок 3.10 – Схема позиціонування ін'єктора

Конструктивно-технологічні рішення та застосовано технологію відновлення контактного шару «ростверк - ґрунтову основу» [24, 66]. Технологія була здійснена ін'єкційним методом через ін'єктори, та дозволила забезпечити працездатний стан КППФ на етапах будівництва та експлуатації будівлі.

Фронт робіт із встановлення ін'єкторів розгортається в період армування ростверків (рисунок 3.11, 3.12), верхня частина ін'єкторів виводиться вище за ростверку. Виконання ін'єктування цементної суспензії виконується у певний

період зведення будівлі, коли основа під фундаментом відтанула, та деформації відтавання реалізовані.

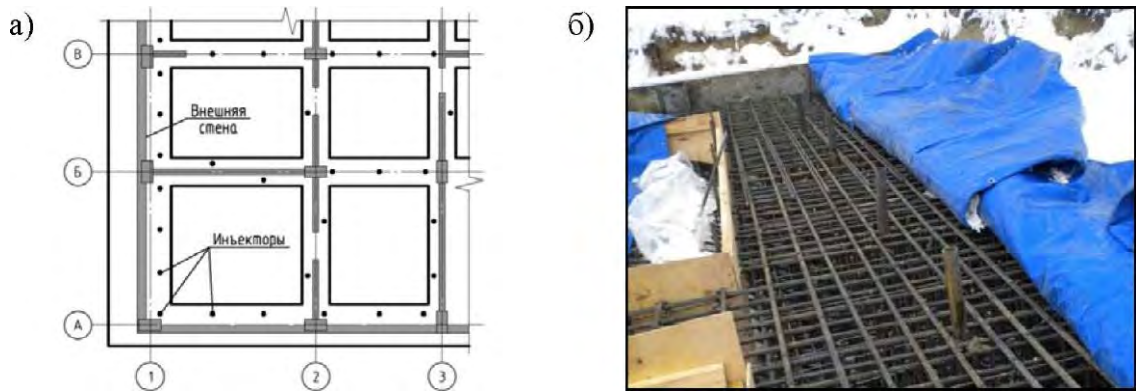


Рисунок 3.11 - Ін'ектори в ростверках: а - схема розташування у плані; б - встановлені КСПФ ін'ектори на ГП-1.2

Ін'ектування цементного розчину здійснювалося після відтавання та осідання основи (рисунок 3.11). У момент виконання опресовування контактного шару на фундамент від будівлі передавалося не більше 5-7% кінцевого навантаження, що становило близько 15-20 кПа. На обох будівлях на момент виконання робіт було зведено не більше 2.3 поверхів монолітного каркасу без влаштування стін та перегородок, та виконано зворотне засипання пазух котловану. Тиск опресування прийнято в діапазоні $ропр = 20 \wedge 30$ кПа. Стійкість КППФ на початкових етапах навантаження забезпечувалася палями.

Склад технологічних процесів включає приготування та нагнітання розчину, демонтаж видимої частини ін'екторів, контроль якості робіт. Організація робіт передбачала такі етапи [24, 64, 66]:

- Складання напірної магістралі: від ін'ектора до насоса;
- приготування та подача цементної суспензії;
- твердіння цементного каменю.

Організація ін'екційних робіт була заснована на спільній роботі змішувального вузла РН-150 та розчинонасосу. Застосування зазначеного обладнання дозволило досягати вироблення розчину до 2,4 м³/годину при

підтримці тиску до 25 атм (рисунок 3.12). Напірна магістраль контролю тиску оснащувалася манометрами.

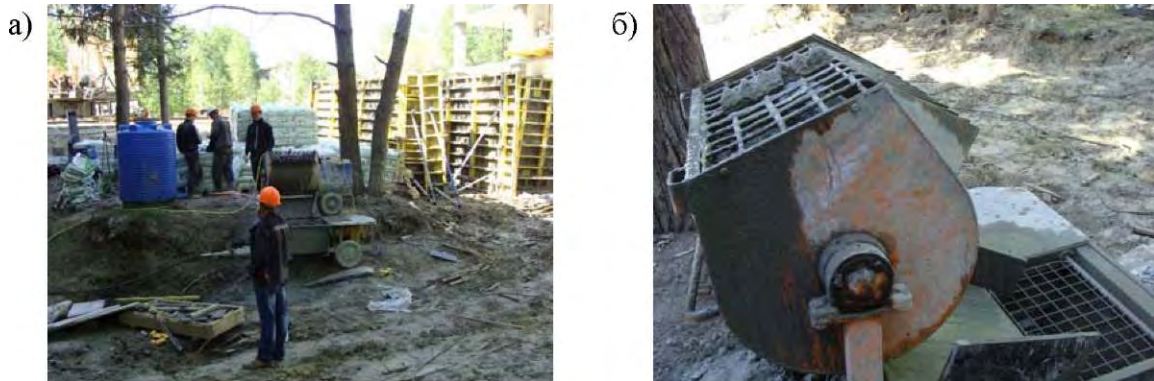


Рисунок 3.12 - Ін'єкційне обладнання для виконання опресування контактної шару: а - шнековий розчинонасос БО; б - розчинозмішувач РН-150 та лоток для зливу

Тиск ін'єктування підтримувалося лише на рівні 20^{30} кПа. У публікації автора вказується, що: «В якості розчину використовувалася суміш із води та цементу з $V/C=0,6$ та добавкою водного розчину силікату натрію (($Ka_{20}(ZiO_2)_p$) у розмірі 2% від маси розчину».

Роботи були організовані згідно з розробленою методикою. Порядок ін'єкційних робіт представлений рисунку 3.17. Насамперед був «замкнений контур», тобто заповнені порожнини та порожнечі по периметру фундаменту (рисунок 3.13, послідовність 1 – 2 – 3 – 4). Потім роботи виконували вздовж внутрішніх стрічкових ростверків. Захватки виконання робіт розподілялися вздовж ростверків, включаючи перехресно розташовані ростверки сусідніх прольотів. Наприклад, хватка включає послідовність робіт 5-6 включала ростверки у напрямку послідовності робіт 1 - 2 та 7 -8. В іншому випадку було можливо виконати роботи спочатку по всіх внутрішніх паралельних ростверках, а потім по всіх перпендикулярних їм [66].

Стрічкові фундаменти, виконані з керамічної цеглини на вапняному розчині, були посилені буроін'єкційними палями типу «Атлант», після чого в прогонових частинах виконувалося освоєння підземного простору з

влаштуванням ж/б кесонів. Необхідність відновлення контактного шару була обумовлена порушеннями правил екскавації та водозниження, що призвело до повсюдних обвалів та розструктурування ґрунтів під подошвою стрічкових пальових ростверків.

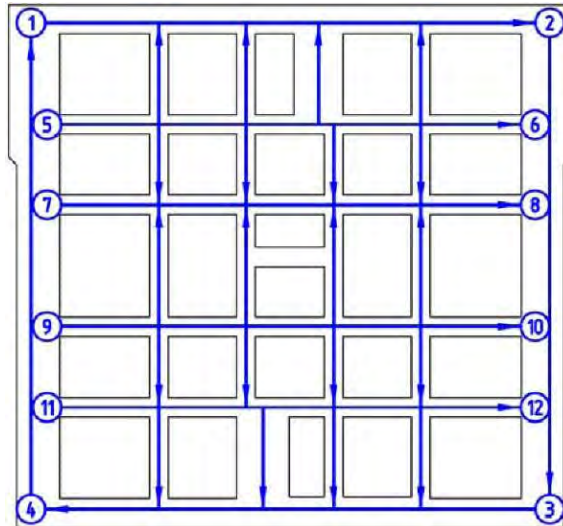


Рисунок 3.13 – Організація робіт при ін'єктуванні контактного шару «ростверк – основа» (1..12 – послідовність робіт)

Загальна довжина контактного шару по подошві фундаментів, що підлягає відновленню згідно з даними авторського нагляду, склала 187 м.п. Нагнітання розчину, яке виконується зовні будівлі, проводилося через металеві трубки-ін'єктори діаметром 20мм, розташовані з кроком 2м (рисунок 3.14б). Як ін'єкційний прийнятий цементно-силікатний розчин з В/Ц=0,8, загальний обсяг ін'єкції становив 57 м3 розчину. Склад технологічних операцій та процесів аналогічний роботам, що виконуються на об'єкті ЖК «Сусіди», наведеним вище.

Виконані заходи дозволили включити стрічкову частину фундаментів у роботу та забезпечити їхню працездатність на технологічній та експлуатаційній стадіях.

Іншими об'єктами застосування технології були експлуатовані будівлі (термін експлуатації 57 років), виконані на стрічкових пальових фундаментах (Харків, Домобудівників, 34 – будівля в панельному виконанні, 10 ет) та комбінованих плитно-пальових фундаментах (Харків, пр. Зарічний, 14 –

комплекс) з 6-ти будівель, 10.15 пов). В обох випадках застосування даної технології було складовою заходів, що виконуються при посиленні основи і фундаментів.



Рисунок 3.14 - Обвали та розструктурування ґрунтів під підшовою стрічкових ростверків (а) та технологічні рішення щодо забезпечення їх стійкості (б).

У період експлуатації об'єктів було виявлено розвиток нерівномірних осадів фундаментів, що мало незатухаючий характер, які були викликані сукупністю факторів, що включають складні інженерно-геологічні умови, помилки при проектуванні та порушення технології виконання робіт нульового циклу. Одним із дефектів була відсутність включення ростверку в спільну роботу з основою - по всій площі під ростверками на обох об'єктах встановлено наявність порожнеч за величиною до 250 мм (рисунок 3.15).

Роботи були першим етапом посилення фундаментів. Ін'єкційні трубки 020мм розташовувалися за сіткою з кроком 2,3,5м. Насамперед виконувалося заповнення порожнин по периметру ростверку (I етап). Потім виконувалося заповнення порожнин (порожнин) під центральною частиною ростверку (II етап)

з рухом від країв до центру. Тиск опресування прийняв у діапазоні $\rho_{\text{опр}} = 30.50 \text{кПа}$.

На зазначених об'єктах технологія дозволила включити ростверки в спільну роботу з основою, і разом із подальшим посиленням основи та фундаментів зупинити розвиток нерівномірних осадів.

3.2 Особливості технології арматурних та опалубних робіт

Армування стрічкових ростверків встановлюється на основі розрахунку згідно з чинними нормативними документами та виконується, як правило, арматурою періодичного (А400, А500, В500, Вр500) та гладкого (А240) профілів. При розробці розділу КЖ робочої документації для армування ростверків слід або переважно застосовувати зварні сітки та каркаси [17], або застосовувати нижні та верхні сітки «основного» армування з локальним розміщенням «додаткового» армування, що більшою мірою відповідає сучасним тенденціям у галузі монолітного залізобетону.

Технологія робіт з армування стрічкових ростверків окремими стрижнями та просторовими каркасами передбачає їх виконання у наступній послідовності (рис. 3.15) [25, 60]:

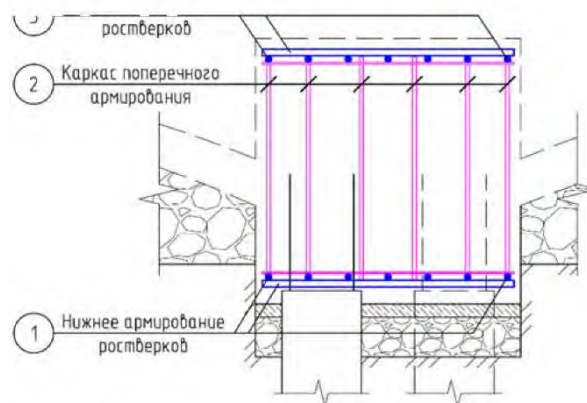


Рисунок 3.15 - Порядок армування «основний» та «додатковий» стрічкових ростверків

- з урахуванням захисного шару бетону укладається сітка нижньої «основної» та «додаткової» робочої арматури; стрижні у місцях перетину з'єднуються в'язальним дротом (рисунок 3.20); на сітку нижньої робочої ^
Верхній арміробаші

арматури встановлюються просторові каркаси поперечного армування, що забезпечують необхідне відстань між верхньою та нижньою арматурою;
- монтаж сіток верхньої

Рисунок 4.20 - Порядок армування

«основний» та «додатковий» стрічкових ростверків.

робочої арматури (виконується за аналогією з першим етапом). Армування ж/б оболонок влаштовується на один шар, розташований у верхній частині елемента. Стрижні періодичного профілю застосовуються переважно з арматури класу А500С. Відповідність форми готових виробів перевіряється за лекалом, виготовленим у натуральну величину відповідно до проектних розмірів. Геометричні розміри виготовлених криволінійних стрижнів повинні знаходитися в рамках відхилень, що допускаються, рівних 10%.

Технологія та організація робіт з армування оболонкових частин фундаменту передбачає їх виконання у наступній послідовності:

- з урахуванням захисного шару по низу оболонки укладаються поздовжні прямолінійні стрижні арматури;

- Укладаються поперечні криволінійні стрижні. Після з'єднання в місцях перетину поздовжніх та поперечних стрижнів в'язальним дротом формується сітка армування оболонкових частин фундаменту.

Паралельно з роботами з армування оболонок організується встановлення ін'єкторів та контрольних трубок у щебеневу подушку (рисунок 3.21).

Опалубні роботи. Периметр ростверку доцільно та технологічно опалублювати інвентарною щитовою опалубкою, що дозволяє досягти високої якості поверхні та підвищити темпи робіт. Щити монтуються до початку виконання армування та додатково розкріплюється з площини.

По краях стрічкових ростверків (по периметру оболонок) встановлюється «верхня» опалубка, що виготовляється в умовах будівництва (рисунок 3.16, 3.17). "Верхня" опалубка, як правило, виконується з товстої фанери, і розкріплюється з площини. У торцевих частинах оболонок «верхня» опалубка має криволінійне обрис, що повторює кривизну циліндричних залізобетонних оболонок.

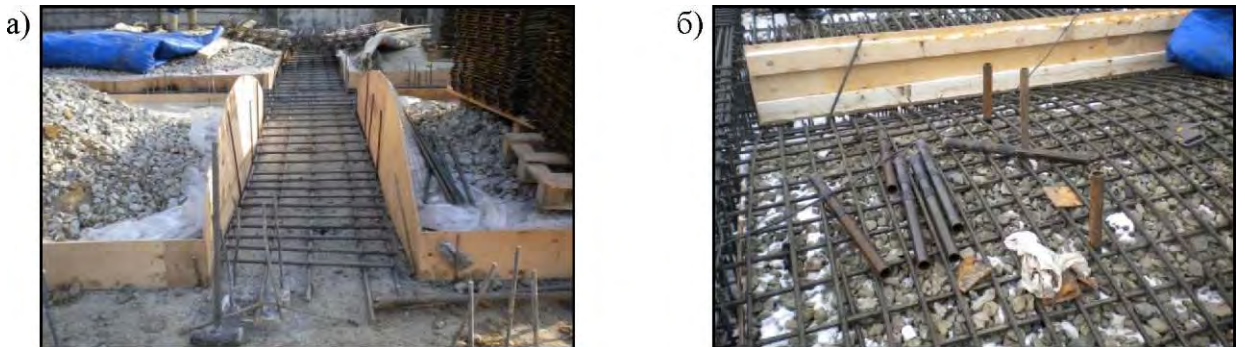


Рисунок 3.16 - Арматурні роботи при влаштуванні ростверку КППФ: а - влаштування нижньої сітки армування; б - встановлені ін'єктори та контрольна трубка в оболонці

«Верхня» опалубка монтується із забезпеченням зазору між нею та поздовжніми та поперечними стрижнями армування оболонок. Дана опалубка необхідна для формування вертикальних поверхонь стрічкових ростверків та забезпечення їхньої монолітності з циліндричними залізобетонними оболонками. "Верхня" опалубка, як правило, повинна бути демонтована, що необхідно враховувати при розробці організаційно-технологічної документації.

По периметру оболонки монтується дрібноячеиста сітка, яка закріплюється до фанерної опалубки та арматурної сітки оболонки (рисунок 3.18). Це необхідно для запобігання випару бетону зі стрічкового ростверку в оболонку при бетонуванні.

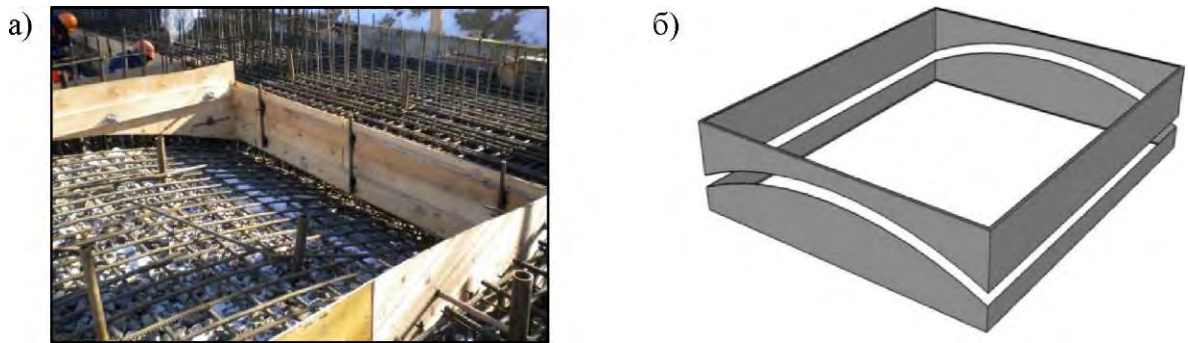


Рисунок 3.17 – «Верхня» опалубка з фанери: а – вздовж оболонки; б - загальний вигляд

До початку бетонування працівниками технічного та авторського нагляду обов'язково проводиться огляд опалубних робіт. Перевіряється правильність установки і надійність закріплення опалубки по периметру фундаменту, «верхньої» опалубки, сітки.

3.3 Рекомендації щодо організації виконання бетонних робіт

Роботи з бетонування фундаменту можуть бути організовані з використанням: автобетононасосів (АБН) без доступу до котловану; баштових кранів; стрілові крани. Бетонування фундаментів дрібного закладення (ФМЗ), у тому числі КППФ, ефективно організовувати з використанням АБН, що базується на рівні денної поверхні (рис. 3.18) [32].

«Інтенсивність укладання бетонної суміші АБН має бути в межах 20...40 м³/год. Досвід будівництва та розрахунки показують, що при інтенсивності менше 10 м³/год робота АБН є неефективною економічно, темп укладання понад 40 м³/год важко забезпечити з організаційних причин» - пише В.М. Галузін [32, с. 7].

При бетонуванні КППФ слід дотримуватися безперервного виконання робіт, без утворення «холодних швів». Однак при більших обсягах бетонування це може бути важко досягнути. У цьому випадку технологія бетонних робіт має передбачати бетонування КППФ окремими частинами (блоками, захватками).

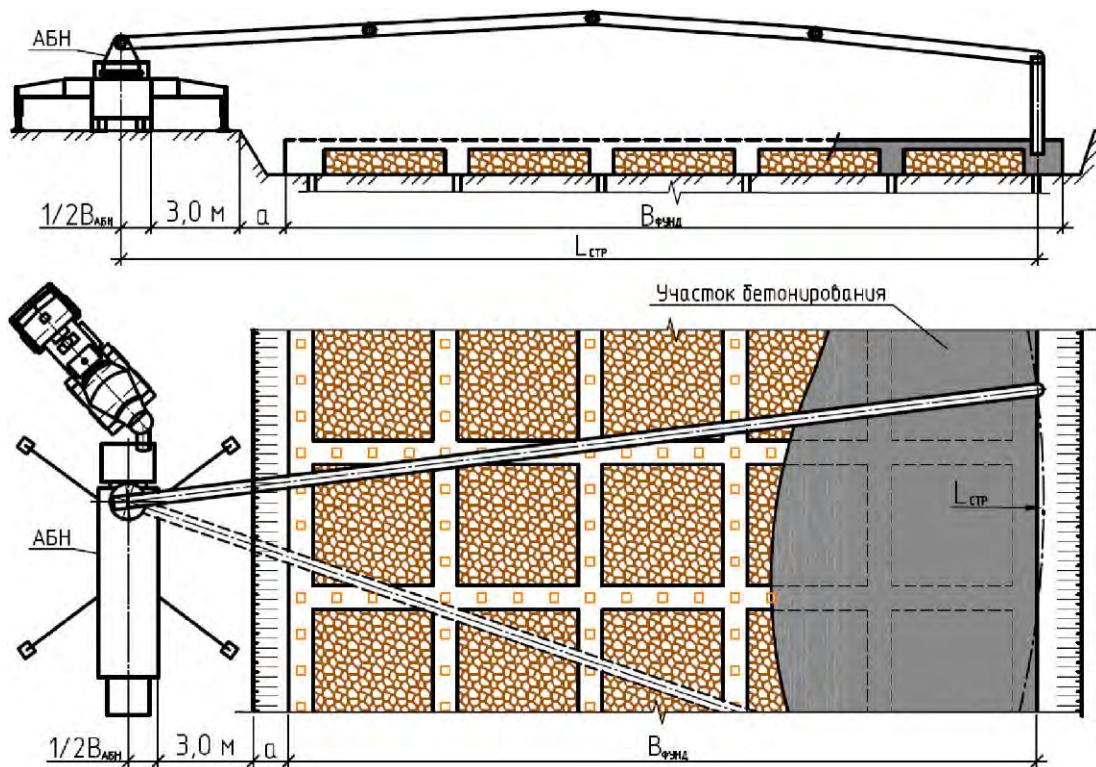


Рисунок 3.18 - Організаційна схема бетонування КСПФ автобетононасосом

Бетонування ростверку за один раз раціонально виконувати з однієї стоянки, для чого виліт стріли бетононасоса підбирається таким чином, щоб перекривати всю площу фундаменту. У таких випадках стоянка АБН, як правило, розташовується на бровці котловану навпроти середини довгої сторони ростверку, при цьому найвіддаленішими точками робіт будуть кути фундаменту.

На об'єкті бетонування ростверків КППФ виконувалось за послідовною схемою робіт (рисунок 3.19). Площа ростверку була умовно розбита на ділянки бетонування, кожен з яких включав комірку-оболонку та навколишні стрічкові ростверки. Після бетонування та ущільнення суміші на двох суміжних ділянках виконувалося загладжування поверхні стрічок та оболонок, яке здійснювалося окремою ланкою з 2-х бетонників 4-го розряду (рисунок 3.19).

- на першому етапі бетонна суміш укладається за площею стрічкових ростверків шаром завтовшки $0,3^{0,5}$ м (рисунок 3.19 б, 1 етап);

- на другому етапі суміш укладається в прогонову частину, і за площею стрічкових ростверків шаром завтовшки $0,3 \times 0,5$ м (рисунок 4.27б, 2 етап);
- на третьому етапі проводиться доливання бетонної суміші до проектної позначки та виконується загладжування поверхні (рисунок 3.19, 3 етап).

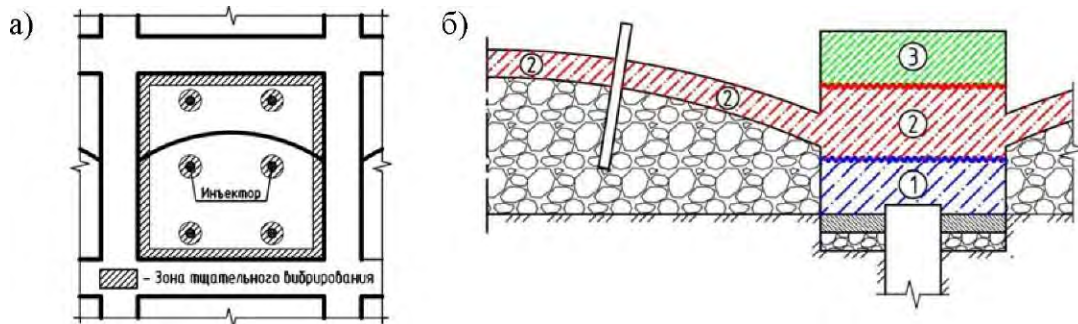


Рисунок 3.19 – Особливості технології бетонних робіт: а – зони ретельного ущільнення суміші; б - організаційна послідовність робіт (1...3 - етапи бетонування)

При організації робіт слід передбачати встановлення маяків, встановлюваних на сітку армування оболонок для витримування товщини з/б оболонок. На кожному етапі бетонування має виконуватися ущільнення знову покладеного шару бетонної суміші. Після укладання бетонної суміші в комірку оболонки слід проводити її розрівнювання, ущільнення та загладжування (рисунок 3.20б).



Рисунок 3.20 – Бетонування КППФ: а – загальний вигляд перед бетонуванням; б - загладжування поверхні оболонок

Ін'єктори слід захищати від попадання бетону. Особлива увага слідую приділяти якості бетонування та ущільнення бетону в місцях сполучення оболонок з стрічковим ростверком та сполучення ін'єкторів та контрольних трубок з оболонкою.

Після набору бетоном не менше 50% [20] марочної міцності приступають до розпалювання фундаментної конструкції, армування стін підвалу [25].

У статті автора зазначається: «На об'єкті впровадження КППФ його бетонування було організовано з однієї стоянки за допомогою автобетононасоса Schwing S43SX, що забезпечувалося горизонтальним вильотом стріли, який охоплював площу всього фундаменту. Таким чином, при загальному проектному обсязі бетону на кожен фундамент 463 м³ була досягнута інтенсивність бетонування 40 м³/год та 46 м³/год для ГП-1.2 та ГП-1.1 відповідно» [25]. Фотофіксація процесу представлена рисунку 4.28а.

3.4 Методика технології та організації робіт з опресування основи

Виробництво робіт з опресування ґрунтової основи полягає в приготуванні розчину заданого складу та консистенції, і подальшому його нагнітанні в підболочкове простір (щебеневу подушку). При цьому нагнітання повинно здійснюватися за певного тиску, у певній черговості з прольотів та у певний період будівництва, які встановлюються у проекті КППФ та ППР з регулювання НДС основи .

Склад робіт з опресування розкритий у публікації автора, і включав: «...

Алгоритм організації робіт з

опресування наведено в блок-схемі на рисунку 4.29.

Загальний обсяг ін'єкційного розчину Ураств залежить від порожнечі щебеневої основи та величини об'ємних деформацій ґрунту при обпресуванні, і знаходиться за формулами, представленими в Розділі 3 цієї роботи.

Роботи з опресування ґрунтової основи проводилися кваліфікованою бригадою цементаторів ТОВ "ГЕОФОНД+". підготовчі роботи: підготовка

обладнання (ін'єкційні комплекси, змішувачі, насоси, манометри, тара для води) та складування компонентів розчинової суміші (цемент, бентонітовий глинопорошок, рідке скло).» - Зі статті [24, с. 286], а також технологічні процеси, пов'язані з нагнітанням цементної суспензії.

Провідний процес опресування був заснований на організації робіт з використанням ПЧ «МІНІ» (рисунок 3.21), до складу якого входить міксерна станція «СМ-20/50» з виробленням до 130 л/хв та ін'єкційний насос «ОР-40», що забезпечує подачу робочого розчину під тиском до 100 атм. Склад бригади для виконання робіт включав оператора розчинонасоса та двох цементаторів (див. розділ 3).



Рисунок 3.21 - Обладнання для опресування (ін'єкційний комплекс «МІНІ»)

Період опресування призначений з умови не перевищення 30% від сумарного навантаження на основу, що становило близько 80 кПа. В результаті для ГП-1.2 був призначений період опресування ТЦр (0,15р), для ГП-1.1 період опресування Т5пр (0,2р), що в обох випадках не перевищувало 20% загального навантаження, $d_{ер} = 275$ кПа - кінцевий тиск на основу (рис. 3.30). Таким чином, початок виконання обпресування на обох КППФ виконувалося в процесі зведення 5-6 поверхів каркасу будівель, на перших поверхах виконувалася кладка зовнішніх стін та внутрішніх перегородок.

Для опресування була прийнята водоцементна суспензія з В/Ц=0,6. Основний компонент - портландцемент (М400), додатково вносилося «рідке

скло» на 2% по масі. Замість розчину виконувався в міксерному вузлі, далі він подавався в ємність-накопичувач, звідки надходив у насосний вузол, і через високонапірну магістраль та ін'єктор у підболочкове місце (рисунок 3.23в).

Опресовування ґрунтової основи відповідно до розробленої організаційно-технологічної документації проводилося в послідовності, представленій на рисунку 3.20. Тиск опресовування для крайніх і внутрішніх прольотів приймалося рівним $\rho_{\text{пр}}=0,5$ кгс/см² і $\rho_{\text{пр}}=1,0$ кгс/см² відповідно.

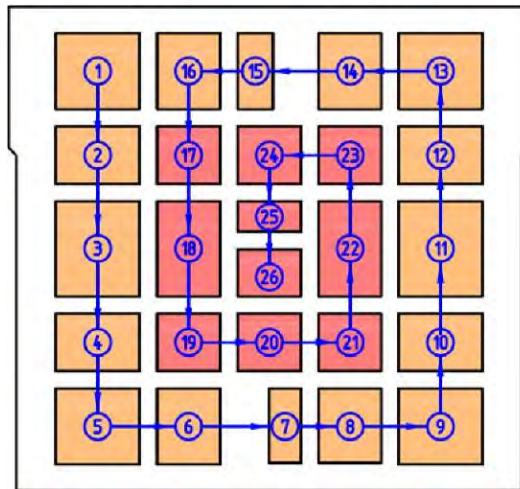
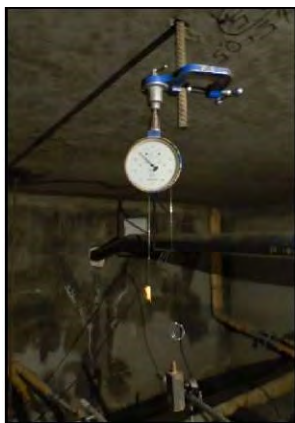


Рисунок 3.22 - Схема виконання робіт з регулювання НДС основи (1.. 26 - послідовність робіт)

Зростання тиску обпресування призводить до підвищення оболонки. Тиск опресування підтримувалося на заданій величині протягом 4 годин. Контроль величини тиску опресування організований за допомогою манометрів з роздільниками середовищ, які встановлювалися на контрольні трубки (рис. 3.33б). Контроль підняття оболонки виконувався вимірвальним методом, як засоби вимірювань виступали прогібоміри бПАО (рисунок .33а).



а)



б)



в)

Рисунок 3.23 - Контрольно-вимірвальне обладнання при виконанні опресування: а - контроль підняття оболонки за допомогою прогібоміру бПАО; б – технічний манометр; в – нагнітання суспензії через ін'єктор

Таким чином розроблена методика організації робіт з опресування та з контролю якості дозволила виконати регулювання НДС на основі відповідно до проекту та забезпечити експлуатаційну надійність будівлі.

3.5 Результати геотехнічного моніторингу, зіставлення із результатами розрахунку

Основною метою виконання геомоніторингу було забезпечення безпеки будівництва та експлуатаційної надійності об'єктів.

Методи, які застосовуються при виконанні вимірювань:

- візуально-інструментальні спостереження;
- геодезичні виміри.

По периметру підвалу влаштовувалися "зовнішні" деформаційні марки. У монолітних стінах усередині підвалу було виконано «внутрішні» марки. При висоті підвалу 2,2 м внутрішні марки розташовувалися в 10 см від підлоги, що було продиктовано необхідністю встановлення на них нівелірної рейки завдовжки 2,0 м.

Всі осадові марки були виконані стаціонарного типу та були жорстко закріплені у монолітних частинах каркасу. Марка складалася з металевих стрижнів та квадратної пластини («косинки») товщиною 5 мм. Пластини всіх марок були встановлені таким чином, щоб на кожному циклі вимірювань забезпечувалася можливість спирання п'яти рейки на кут спрямований вгору «косинки». На ДП-1.2 встановлено 20 марок, на ДП-1.1 встановлено 25 марок.

Нівелірна зйомка здійснювалася високоточним нівеліром компанії Trimble (клас точності Н-0,5) та інварною рейкою з VAR-кодом. Використання високоточного обладнання дозволило досягти точності вимірів до 0,01 мм.

Спостереження велося з початку будівництва. Бетонування фундаменту ДП-1. 2 було виконано у першій половині березня, а фундаменту ДП-1.1 у другій половині березня 2017 року. Через три тижні після бетонування кожного

фундаменту було виконано стіни та перекриття підвалів, встановлено осадкові марки та розпочато геотехнічний моніторинг.

Зведення будівель завершено наприкінці 2020 року. Опади фундаментів обох будинків розвиваються досить рівномірно, і в опублікованій статті автора вказується, що: «...середня осадка, згідно з даними геомоніторингу, склала II, 5 см, максимальна відносна різниця осад значно менша за граничну величину і становить $d s/L = 0,00075$. На період введення будинків в експлуатацію (весна 2016 р) на основу передається нормативне навантаження, що відповідає середньому тиску 275 кПа. Фундамент перебуває у працездатному стані» [25, с. 18]. За даними на період II-III кварталів 2019 року середнє осідання фундаменту становить 120,4 мм.

Розрахунковий алгоритм [39] дозволяє визначати деформації з точністю до 15%, виходячи з чого слід прогнозувати величину кінцевих середніх деформацій КППФ в діапазоні 120-135 мм, тоді як на момент здачі об'єкта в експлуатацію розвинулося близько 85-90% кінцевої опади 120].

Згідно з розрахунковим алгоритмом опресування основи (див. розділ 2) дозволило знизити осад КППФ на 20-25%. За інженерною методикою визначення опади КППФ на опресованій основі, розробленої М.А. Степановим [15], феноменологічна модель, що враховує особливості деформування основи під плитою та роботу паль, дозволила розраховувати деформації фундаменту з точністю до 15%.

Графік розвитку деформацій представлений рисунку 4.34.

В даний час житлові будинки перебувають в експлуатації. Опресування основи, що виконується на ранніх стадіях будівництва, дозволяє на 20% і більше знизити величини кінцевих осадів, значно розширює сферу застосування комбінованих фундаментів, виконаних із застосуванням типових односекційних ж/б паль для споруд висотою 25-35 поверхів [12]. Безпека будівництва та експлуатаційна надійність на всіх етапах будівництва об'єктів забезпечувалася систематичним веденням геодезичних вимірів.

3.6. Економічна ефективність запропонованих рішень

Аналіз економічної ефективності виконаний на основі варіантного порівняння різних фундаментних конструкцій під житлові 22 поверхові будинки. Генпроектувальник спочатку розглядав два варіанти фундаментів:

- Перший варіант (I) передбачав влаштування плитно-пального фундаменту з плитним ростверком (1роств=1000 мм, Убет=798 м³), що об'єднує 320 типових складових призматичних залізобетонних паль (Бобщ=16,0 м).

- Другий варіант (II) припускав пристрій плитно-пального фундаменту з плитним ростверком (1роств=1000 мм, Убет=798 м³), що об'єднує 400 типових односекційних призматичних з/б паль (L=12,0 м). Для зазначеного варіанта розрахункові деформації перевищували нормативне осадження на 40%.

Третій варіант (III) передбачав пристрій КППФ із регулюванням НДС основи. Монолітні стрічкові ростверки запроектовані з розмірами поперечного перерізу $h=1000 \times 1000$ мм, товщина оболонкової частини прийнята $t=0,15$ м. Прийнято типові односекційні ж/б палі. Крайні ростверки об'єднували 10-ти метрові палі у кількості 92 шт, під ростверками центральної частини призначені 12-ти метрові палі у кількості 128 шт.

На основі робочого проекту та ППР на зведення КППФ (третій варіант) розраховані витрати матеріалів. Декомпозиція робіт «нульового циклу» включала: а) розробку ґрунту; б) занурення з/б паль завдовжки 10 і 12 м, «зрубання голів» паль; в) влаштування підготовок; г) влаштування ростверків, виготовлення ін'єкторів; д) роботи з опресування основи. Визначено кошторисні трудовитрати та вартість робіт у цінах 2-го кварталу 2019 р.

З вищесказаного можна дійти невтішного висновку, що виконання КППФ з регулюванням НДС основи шляхом його опресування під час будівництва монолітно-каркасних житлових будинків (заввишки 22 эт.) дало можливість кожному:

- не застосовувати дорогі та малотехнологічні складові з/б палі;

- знизити загальну кількість типових паль до 220 шт (92x10м.п., 128x12м.п.);
- знизити кількість арматури, бетону до 30-40%;
- знизити загальні т/з, вартість БМР до 35-40%.

На основі варіантного порівняння КППФ під будівлі 15-22 поверхів виведено показники матеріаломісткості, наведені до 1м² площі фундаменту (таблиця 3.2).

Відповідно до розрахунку визначається кількість паль, що розташовуються лише під ростверками. Периметральні палі виконуються, зазвичай, коротше «внутрішніх» паль. Зазначені особливості дозволяють досягати витрати паль, що дорівнює 2,0-3,0 м.п. на 1м² площі фундаменту. Дані показники можуть бути використані замовниками при оцінці інвестиційної привабливості проекту, що дозволяють швидко та з достатньою точністю оцінити матеріально-технічну ефективність використання КППФ.

Таблиця 3.2 – Показники матеріаломісткості для КСПФ (на 1 м²)

№ п/ п	Вид матеріалу/конструкції	Витрати на 1м ²	
		КППФ з оболонкою	КППФ з плоскою плитою
1	Підготовка із щебеню під ростверки, м ³	0,1-0,15	
2	Підготовка з бетону під ростверки, м ³	0,05-0,1	
3	Палі типові з/б (довжиною до 12м), м.п.	За розрахунком	
4	Влаштування щебеневого подушок, м ³	0,25-0,35	0,20-0,25
5	Армування ростверку, кг	55-75	70-90
6	Бетонна суміш (клас бетону В20-В35), м ³	0,55-0,75	0,70-0,90
7	Опресувальний розчин, м ³	0,15-0,30	0,1-0,2
Виконання підлоги			
8	Ущільнена підготовка з піску, м ³	0,15-0,20	-
9	Армування бетонної підлоги, кг	2,5-3,5	-
10	Бетонна суміш (В15-В20), м ³	0,075-0,12	-

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що у світовій будівельній практиці навантаження від багатопверхових будівель на основу ефективно передавати через комбіновані пальово-плитні фундаменти, що дозволяють залучити до роботи верхні та глибокі шари основи. Виявлено, що збереження природної структури ґрунтів у контактному шарі «плита – основа» має важливе значення для забезпечення експлуатаційної надійності будівель.

2. Виявлено, що за технічної меліорації ґрунтів змінюються як їх фізико-механічні та деформаційні характеристики, так і НДС основи. На основі цього, без значних матеріальних витрат, можлива більш висока реалізація потенціалу несучої здатності підстави.

3 . Представлена технологія пристрою комбінованих фундаментів з можливістю регулювання величини кінцевих осадів і навантажень, що передаються на палі, у складі плитно-пального фундаменту, що виконуються на сильностисливих ґрунтових основах. Досліджено такі організаційно-технологічні параметри опресовування як черговість опресовування прольотів, тиск опресовування ропр, технологічний період виконання опресовування $T_{\text{опр}}$ у процесі будівництва будівлі.

4. Підтверджено, що організаційно-технологічні процеси, що регулюють НДС ґрунтової основи, дозволяють на 20% і більше знизити величину кінцевої осідання фундаменту, що суттєво розширює межі використання КППФ, що виконується на основі типових залізничних паль.

5. Розкрито особливості організаційно-технологічних процесів влаштування КППФ та опресовування основи на прикладі фундаментів 22-х поверхових житлових будинків, що зводяться на сильностисливій основі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамов Л.И., Манаенкова Э.Ф. Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией: учеб. для вузов. Київ, 1990. 400 с.
2. Абелев М.Ю. Аварии фундаментов сооружений: учеб. пособие. Київ, 1975. 85 с.
3. Альбом усовершенствованных железобетонных конструкций для капитального ремонта жилых домов. Київ, 1988. 100 с.
4. Андрушкявичюс А. З. Методы комплексной реконструкции исторического центра старого города: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / Вильнюс, 1984. 212 с.
5. Андре К. Досвід реконструкції центрів: довідник. Харків, 2000, 44 с.
6. Атаєв С.С., Данилов М.М., Прикіна Б.В. Технологія будівельного виробництва: навч. посіб. Київ: Недра, 2001. 599 с.
7. Афанасьев А.А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона: учеб. пособие. Київ: СИ, 1990. 376 с.
8. Бешелев С.Д., Гуревич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок: учеб. пособие. Київ: Статистика, 1980. 163 с.
9. Борисов В.І. Проблеми векторної оптимізації. *Дослідження операцій*. Київ: Наука, 2005. С. 72-91.
10. Брахман Т.Р. Багатокритеріальної і вибір альтернативи в техніці: навч. посіб. Харків: Радио и связь, 2001. 288 с.
11. Брук Б.Н., Бурков В.Н. Методы экспертных оценок в задачах упорядочения объектов. *Изв. АН СССР*, 1972. № 3. С. 29-39.
12. Бубес Е.Я., Попов Г.Т., Шарлигіна К.А. Оптимальне перспективне планування капітального ремонту та реконструкції житлового фонду: навч. посіб. Київ: КНУБА, 2008. 190 с.
13. Булгаков С.Н. Технологичность бетонных конструкций и проектных решений: учеб. пособие Київ: СИ, 2005. 303 с.

14. Вилкас Э. Теория полезности и принятие решений. *Математические методы в социальных науках*. Вильнюс, 2001. Вып.1. С.13-60.
15. Вилкас Э. Многоцелевая оптимизация. *Математические методы в социальных науках*. Вильнюс, 2002. Вып.7. С.17—67.
16. Глотов В.А., Гречко В.М., Павельев В.В. Экспериментальное сравнение некоторых методов определения коэффициентов относительной важности. *Многокритериальные задачи принятия решений*. Киев: Машиностроение, 2005. С.156-168.
17. Гусаков А.А. Організаційно-технологічна надійність будівельного виробництва: навч. посіб. Київ, КНУБА, 2010. 254 с.
18. Гусаков А.А. Основи проектування організації будівельного виробництва (в умовах АСУ) : навч. посіб. Київ, КНУБА, 2009. 288 с.
19. Гусаков А.А. Системотехніка в будівництві: навч. посіб. Київ: Недра, 2010. 440 с.
20. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения: пер. с англ. Київ: Мир, 2003. 491 с.
21. Євланов Л.Г. Теорія і практика прийняття рішень: навч. посіб. Харків: Економіка, 1984. 176 с.
22. Євланов Л.Г., Кутузов В.А. Експертні оцінки в управлінні: навч. посіб. Київ: Економіка, 2002. 133 с.
23. Емельянов С.В., Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений: метод.ук. Київ:Знание, 1985. 32 с.
24. Завадскас Э.К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве: уч. пособие. Вильнюс: Мокслас, 2010. 210 с.
25. Завадскас Э.К. Основы оптимизации строительного производства. - Вильнюс, 1979. - 76 с.
26. Інструкція по розробці проектів організації і проектів виробництва робіт з капітального ремонту житлових будинків. Київ, 1995. 19 с.
28. Колотілкін Б.М. Долговечность житлових будинків: навч. посібник. Київ: СІ, 2003. 254 с.

29. Краснекер А.С. Задачи и методы векторной оптимизации. *Измерения, контроль, автоматизация*. 1975. №1, вып.3. С.51-53
30. Кутуков В.Н. Реконструкція будівель: навч. посібник. Київ.: ВШ, 2008. 263 с.
31. Макаров И.М., Виноградская Т.М. Теория выбора и принятия решения: уч. пособие. М.: Наука, 1982. 327 с.
32. Матвеев Е.П. Технологія реконструкції житлових будівель методом вбудованих будівельних систем: дис...канд.техн.наук: 05.23.08 / Одеса:ОДАБА, 2005. 286 с.
33. Мешічек В.В., Ройтман А.Г. Капітальний ремонт, модернізація та реконструкція житлових будинків: навч. посібник. Київ: СІ, 2005. 241 с.
34. Миловидов Н.Н., Осин В.А., Шумилов М.С. Реконструкція житлової забудови. Київ, 2000. 240 с.
35. Михалко В.Р. Ремонт конструкцій великопанельних будинків. Київ.: СІ, 2000. 311 с.
36. Монфред Ю.Б., Финельд В.П. Рекомендації з аналізу технологічності серій типових проектів будівель ТЕС. Харків: 1995. 89 с.
37. Нейман Д. фон, Моргенштерн 0. Теория игр и экономическое поведение : Пер. с англ. Київ:Наука, 1970. 707 с.
38. Ніколаєв С. В. Збірний залізобетон: вибір технологічних рішень. Дніпро, 1999. 240 с.
39. Олейник П.П., Фомиль Л.Ш. Інженерна підготовка території будівельного майданчика промислового підприємства: навч. Посібник. Київ. :СІ, 2006. 240 с.
40. Олейник П.П. Удосконалення організації будівельного виробництва. *Промислове будівництво*. Харків: 1999. N 9 с. 14 - 15.
41. Олійник П.П. Вибір раціональних організаційних рішень для реконструкції підприємств. *Економіка будівництва*. Київ: 1993. N0 3. с.20 - 25.
42. Онуфриев Н.М. Посилення залізобетонних конструкцій промислових будівель і споруд. Львів, 1998. 342 с.

43. Организация, планирование и управление строительством / Под ред. А. К. Шрейбера. Київ:ВШ, 1977. 352 С.
44. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальні рішення багатокритеріальних задач. Київ.:Наука, 2003. 254 с.
45. Подиновский В. В. Об относительной важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. *Многокритериальные задачи принятия решений*. Київ:Машиностроение, 1978. С. 48-82.
46. Поляков Е.В. Реконструкція та ремонт житлових будинків: навч. посібник. Київ: НЕДРА, 1997. 192 с.
47. Попов Г.Т., Бурак Л.Я. Технічна експертиза житлових будинків старої споруди. Львів: СІ, 2003. 254 с.
48. Проблемы социально-экономической эффективности реконструкции кварталов и микрорайонов в больших городах / Е.М.Блех, А.Ю.Жданькова, Е.Я. Сокова. Київ: МГЦНТ, 1982. 23 с.
49. Б. Гольдин, В.Л.Вольфсон, А. И. Папков. Виробництво ремонтно-будівельних робіт: довідник. Львів:СІ, 2010. 238 с.
50. Рекомендации по рациональному применению железобетонных конструкций при капитальном ремонте жилых зданий. Київ :СИ, 1989.
51. Ройтман А.Г., Смоленська Н.М. Ремонт і реконструкція житлових і громадських будівель. Харків, 2003. 317 с.
52. Ройтман А.Г. Надійність конструкцій експлуатованих будівель. Харків.:СИ, 2003. 176 с.
53. Ройтман А.Г. Оптимизация технических решений ремонта конструкций эксплуатируемых жилых зданий : Консп.лекций /ЦМИПКС. Київ: 1999.29 с.
54. Соколов В.К. Реконструкція будівель ТЕС: навч. посібник. Київ, 2003. 204 с.
55. Тимохов Г.Ф. Модернізація житлових будинків. К.: СІ, 2000. 191 с.
56. Вказівки по технології ремонтно-будівельного виробництва. Кн.1: Загальнобудівельні роботи / Під общ.ред. С.Д.Хі- Мунін. Київ: СІ, 2005. 432 с.
57. Швець В.Б., Фёклін В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція

фундаментів. Харків: СІ, 2002. 203 с.

58. Шрейбер А.К. и др. Организация и планирование строительного производства. Київ :ВШ, 1987. 368 С.

59. Шрейбер К.А. Многокритериальная оценка проектов реконструкции жилых зданий. *Передовой опыт в строительстве Москвы*, No 6. Київ: 1986.

60. Шрейбер К.А. Варіантне проектування при реконструкції будівель ТЕС. Харків.:СІ, 2006. 232 с.

61. Шумилов М.С. Будівлі ТЕС та їх технічна експлуатація. К: ВШ, 2005. 376 с.

62. Яворский В.Г. Монтаж строительных конструкций при реконструкции зданий: уч.пос. Киев.: Будівельник, 2001. 233 с.

63. Bernoulli D. Specimen theoriae novae de mensura sortis. *Comentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 1738, 5, pp. 175-192.

64. Mesarovic M.D. Multilevel concept for systems engineering, Proc. Systems End. Conf., Chicago, 111, 1965.

65. Oxley R., Poskitt J. Management techniques applied to the construction industry. London, Toronto, New York : Crosby Lockwood Staples Granada Pub. 1979.