

# ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури

---

**Магістрант:** Шевченко І.І.

**Науковий керівник:** Моргун А.С.

м.Вінниця 2019

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена актуальному питанню фундаментобудування – удосконаленню методів розв’язання граничної задачі нелінійної поведінки під навантаженням плитних фундаментів висотних споруд для можливості прогнозування їх несучої спроможності. В роботі напрацьовано адекватну модель для дослідження роботи плитних фундаментів за сучасним числовим МГЕ.

Досліджено ефект перерозподілу навантаження між робочими поверхнями плити.

Питання ущільнення ґрунтів під навантаженням – основна проблема, що виникає при прогнозі осадок споруди і прогнозі допустимого навантаження на ґрунт. Тому значна увага в МКР приділена методам дослідження фізико - механічних властивостей ґрунтів з метою їх практичного прикладання.

Теоретичні питання висвітлені в об’ємі, що дозволяє продумано підійти до оцінки роботи ґрунтів в основах фундаментів і проектування їх за межами пружності.

Наведено методику розрахунку цього конструктивного розв’язку фундаментів (плитних фундаментів будівлі) для висотних споруд за сучасними комп’ютерними технологіями на основі МГЕ.

Прикладання числового МГЕ до розв’язків практичних задач геомеханіки, процесу осідання основ та допустимих навантажень на них обґрунтовано теоретичними викладками, підкріплено та проілюстровано даними числового розрахунку.

## **ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Об'єктом дослідження є проблеми проектування, експлуатації, взаємодії основ і фундаментів будівель.

## **ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Предметом дослідження є основи і фундаменти будівель в умовах регіонального впливу природних та техногенних факторів, їх НДС.

В МКР для розв'язку задачі деформування фундаментної плити залучено теорію пружності, теорію пластичності, дилатансійну теорію ґрунтових дисперсних середовищ та числовий МГЕ. Магістерська кваліфікаційна робота присвячена доопрацюванню і практичному прикладанню розрахунково-теоретичного апарату проектування за методом граничних елементів ефективних плитних фундаментів висотних будівель. В рамках роботи виконано числові дослідження взаємодії плитних фундаментів з ґрунтовим масивом, які дозволяють виявити резерви несучої спроможності системи «ґрунтова основа - фундамент» та отримати оптимальне економічне рішення. Прогноз деформацій основ будівель є пріоритетною задачею механіки ґрунтів, особливо в сучасному будівництві при тисках в основах до 1 МПа.

## **НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

Виявлена механічна суть задачі та показано її особливості на числовому прикладі . Розроблено метод, що поєднує в рамках однієї математичної моделі можливість проводити розрахунок плитного фундаменту за двома групами граничних станів: деформацій та несучої спроможності. Отримала подальший розвиток методика визначення стисливої товщі. Розроблено новий метод оцінки ефективності проектних рішень плитних фундаментів з діапазоном оптимальних значень, який враховує ступінь використання деформаційних і міцністних властивостей основи і фундаменту. Отримано дані числових досліджень як всієї системи «основа-фундамент», так і окремих її частин.

## Основна нерівність пластичності

Нова незворотна деформація в пружно-пластичних тілах не може виникнути сама по собі, для її створення потрібно затратити енергію

(Д. Друккер, 1951). Це положення, яке деколи називають постулатом стійкості пружно-пластичного матеріалу, не дивлячись на уявну аморфність є вельми дійовим при встановленні залежності «напруження-деформації».

Із постулату стійкості випливає: якщо в замкненому циклі прикладання і зняття зовнішніх сил виникає пластична деформація, то робота цих сил на викликаних ними переміщеннях має бути додатня. В іншому випадку вона має дорівнювати нулю:

$$\oint_{\sigma} \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij} \geq 0 \quad \oint_{\sigma^*} \sigma_{ij}^* d\varepsilon_{ij}^p \geq 0; \quad \sigma_{ij}^* = \sigma_{ij} - \sigma_{ij}^0$$

Основна нерівність пластичності стверджує, що вектор приростів пластичних деформацій  $d\varepsilon_{ij}^p$  який виникає при довантаженні  $\delta\sigma$  із стану  $\sigma$ , на поверхні навантаження має складати не тупий кут з любым вектором  $\Delta\sigma$

Звідси витікає, що:

поверхня навантаження  $f$  для довільного стану  $\sigma$  має бути невігнутою; вектор приростів пластичних деформацій  $d\varepsilon_{ij}^p$  в регулярній точці поверхні навантаження направлений по її зовнішній нормалі (*принцип градієнтальності*).

## Математичні моделі технічних об'єктів

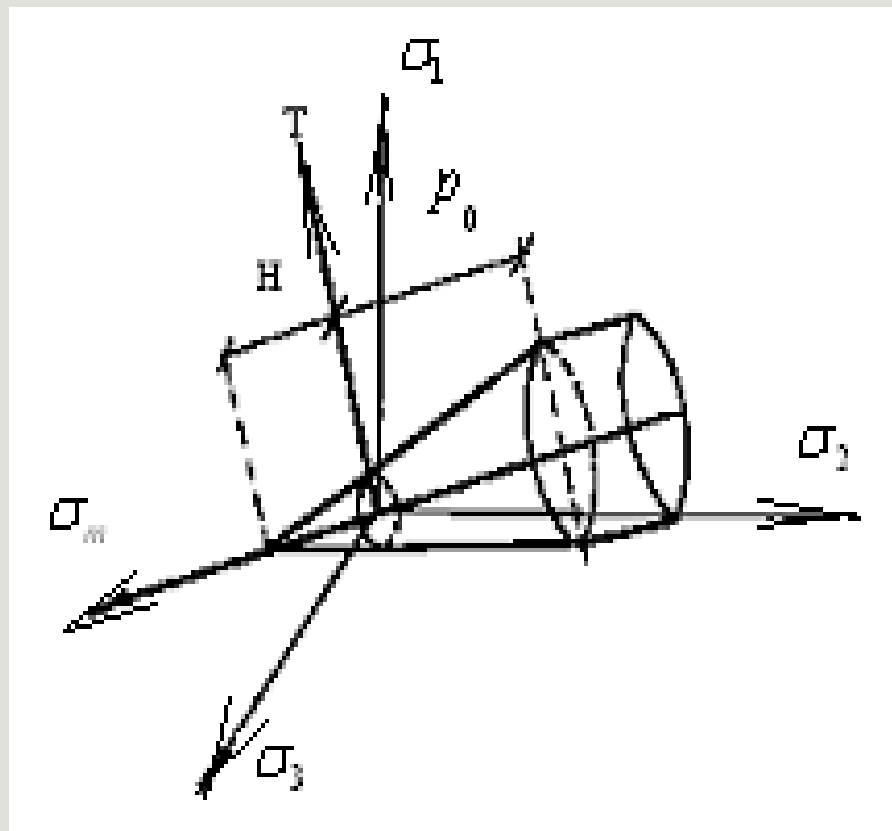
Проектування багатьох технічних об'єктів пов'язано з необхідністю аналізу неперервних фізичних процесів, математичним описом яких є диференціальні рівняння в частинних похідних. Вихідні диференціальні рівняння разом з красивими умовами (відомостями про шукані неперервні функції на границі області, що розглядається – граничні умови, а в випадку нестационарних задач – значення цих же функцій в початковий момент часу – початкові умови) носять назву диференціальної крайової задачі і являють собою математичну модель досліду об'єкта.

Методи розв'язку нелінійних задач засновані на лінеаризації нелінійних рівнянь, тобто пошук рішення здійснюється рішенням рекурентної послідовності лінійних рівнянь.

**Метод пружних рішень** О.А. Іллюшина – розповсюджений при розв'язках фізично - нелінійних задач. Оскільки для пружно-пластичного тіла мала зміна зовнішніх параметрів приводить до малої зміни внутрішніх, то при достатньо малому зовнішньому довантаженні знаходження процесу внутрішнього навантаження (чи деформування) може здійснюватись по кроках. На кожному кроці довантаження можна рахувати малим, але кінцевим, і точне рішення можна бути отримати наступним граничним переходом.

Повні деформації дисперсного ґрунтового середовища склалися із двох складових – зворотної (пружної) і незворотної. Для визначення приростів пластичних деформацій використано неасоційований закон пластичної течії.

Для створення математичної моделі незворотного деформування ґрунту в роботі було залучено теорію пружності та пластичності. Крім звичайних рівнянь рівноваги введено ще два додаткових. Перше з них сформульовано для компонент тензора напружень і в просторі напружень визначає миттєву поверхню текучості. Для визначення межі пружної поведінки ґрунтової основи використано октаедричну модель пружно-пластичного середовища Мізеса-Шлейхера-Боткіна, рис. 1.12.



Згідно цієї теорії граничне напруження зсуву по октаедричних площадках є функцією середнього нормального тиску.

$$T = f(\sigma_{окт})$$

Рис. 1.12 – Модифікований критерій пластичності Мізеса-Шлейхера-Боткіна в координатах головних напружень

Прогнозувати розв'язок НДС ґрунту за допомогою кінематичних методів розрахунку неможливо із-за математичних ускладнень. Необхідні сучасні числові методи та моделі. Використано числовий МГЕ [3,4], в якому система диференціальних розрахункових рівнянь зводиться до інтегрального рівняння, яке потребує дискретизації лише границі і значно зменшує число вузлових точок. Числовий МГЕ потребує використання ЕОМ і, що є загальним для наближених числових методів, зводить розрахункові рівняння до розв'язків СЛАР високих порядків.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{ij,j} + b_j = 0 \\ \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \\ \sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \end{array} \right\} \Rightarrow C_{ij}(\xi) u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x) u_j(x) d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x) p_j(x) d\Gamma(x),$$

Де  $\sigma_{ij,j} + b_j = 0$  – статичні рівняння рівноваги;  $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$  – геометричні рівняння;

$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$  – фізичні рівняння середовища.

При розгляді нелінійної задачі інтегральне рівняння, отримане К. Бреббія, набуває вигляду:

$$c_{ij} \cdot u_j + \int_{\Gamma} p_{ij}^* u_j d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{ij}^* p_j d\Gamma + \int_{\Omega} \dot{\sigma}^* \dot{\varepsilon}_{jk}^p d\Omega$$



При октаедричній моделі пружно-пластичного середовища Мізеса-Шлейхера-Боткіна у координатах головних осей  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  та меридіональному перерізі в площині гідростатичного тиску, діють відповідні рівняння:

$$\begin{cases} f = T + \sigma_{окт} \operatorname{tg}\psi - \tau_s = 0, & \sigma_{окт} \leq p_0; \\ f = T + p_0 \operatorname{tg}\psi - \tau_s = 0, & \sigma_{окт} > p_0, \end{cases}$$

Числова реалізація рівняння стану складається із етапів:

- 1.–Контактна границя фундаментної плити та ґрунтової основи розбивається на ряд елементів (ГЕ), на яких граничні зусилля задаються за допомогою інтерполюючих функцій (використано постійні лінійні граничні елементи). Активна зона навколо плитної основи дискретизувалась трикутними осередками.
- 2.–Рівняння записувалось в дискретній формі для кожного вузла границі та обчислювались інтеграли по кожному граничному елементу, використано числові схеми інтегрування Гауса та Хамера. В результаті отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).
- 3.–Рішення СЛАР дає вектор невідомих напружень на границі, за якими визначається несуча спроможність фундаментної конструкції на кожному кроці навантаження,

Границя плитного фундаменту подана прямолінійними граничними елементами (ГЕ), а активна зона основи плитного фундаменту дискретизувалась трикутними осередками, значення потенціалу ( в задачах геомеханіки – це напруження) рахувалось кусочно-постійним.

На рис. 1.14 наведено дискретизацію активної зони навколо плитного фундаменту, на рис. 1.15 – отриманий графік навантаження – осідання згідно числових досліджень за МГЕ.

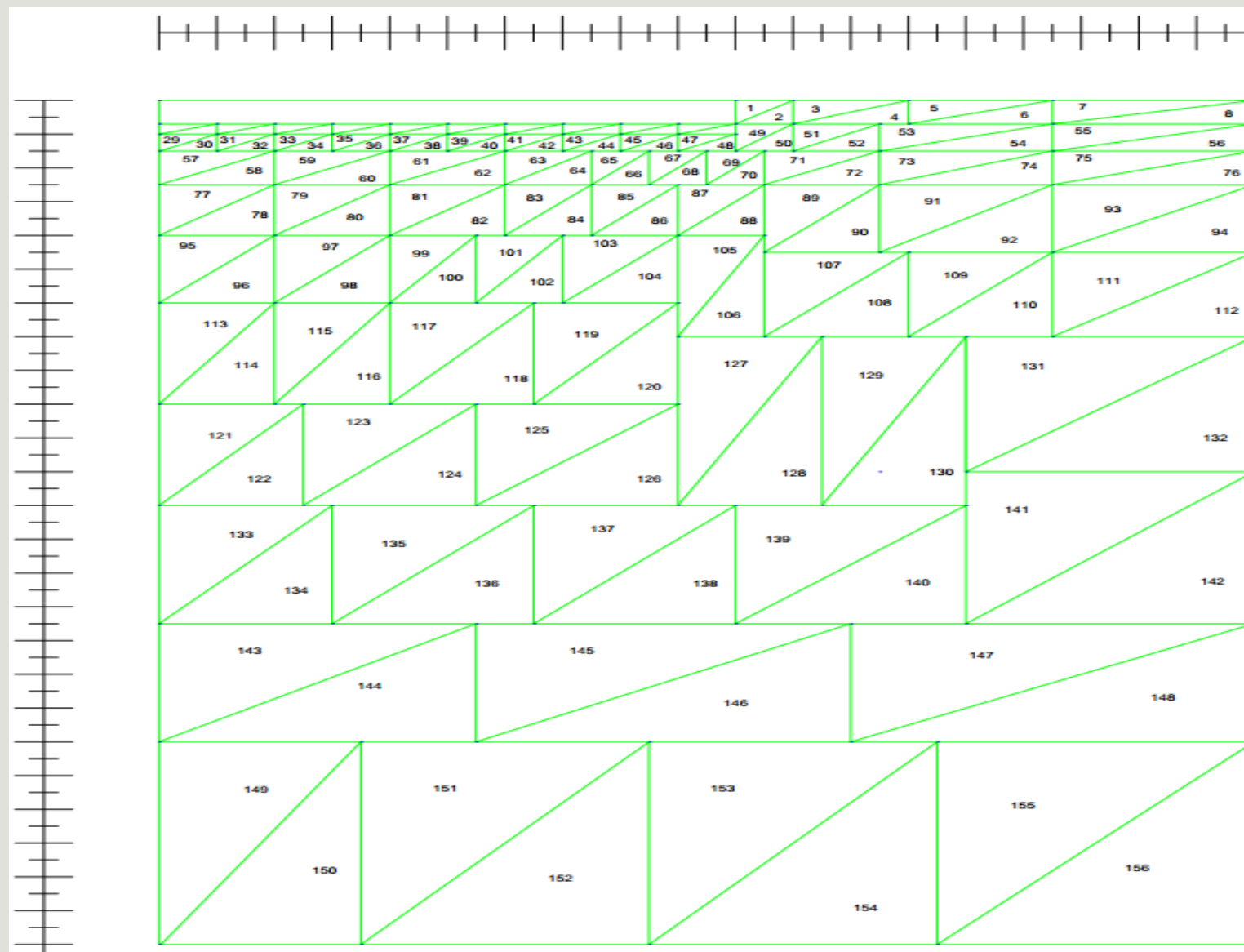


Рис. 1.14 – Дискретизація активної зони навколо плитної основи

Результати досліджень за удосконаленою математичною моделлю дозволяють проводити розрахунки фундаментної плити згідно сучасних уявлень про нелінійну поведінку ґрунту, а отриманий графік «навантаження-осідання» дає можливість отримати більш економічні умови роботи фундаментної плити. Порівняння результатів числових досліджень з натурними спостереженнями задовільне.

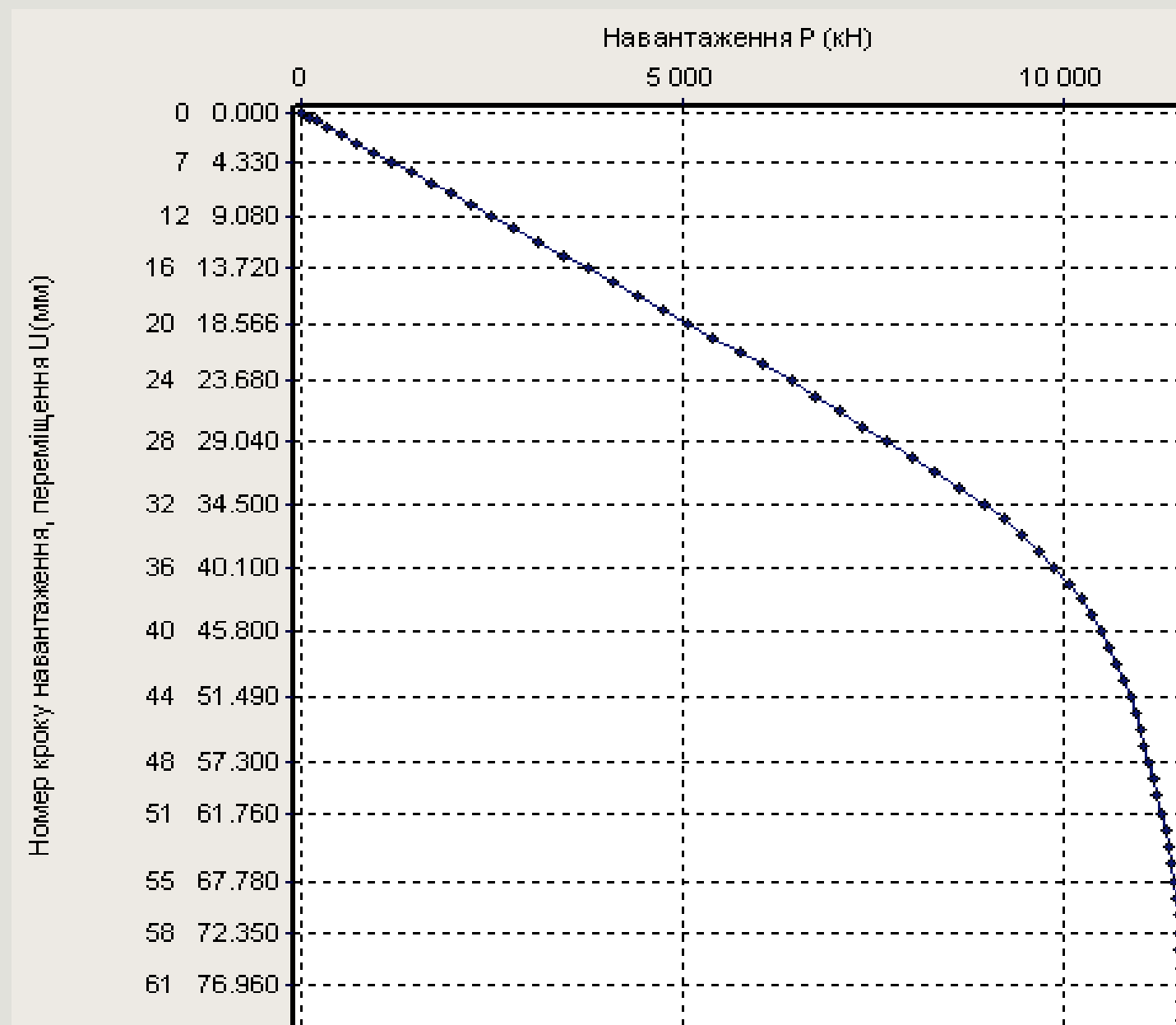


Рис. 1.15 – Результати прогнозування за МГЕ поведінки під навантаженням плитного фундаменту споруди  $H=0.7$  м.

Перб. примен.

Справ. №

Погр. и дата

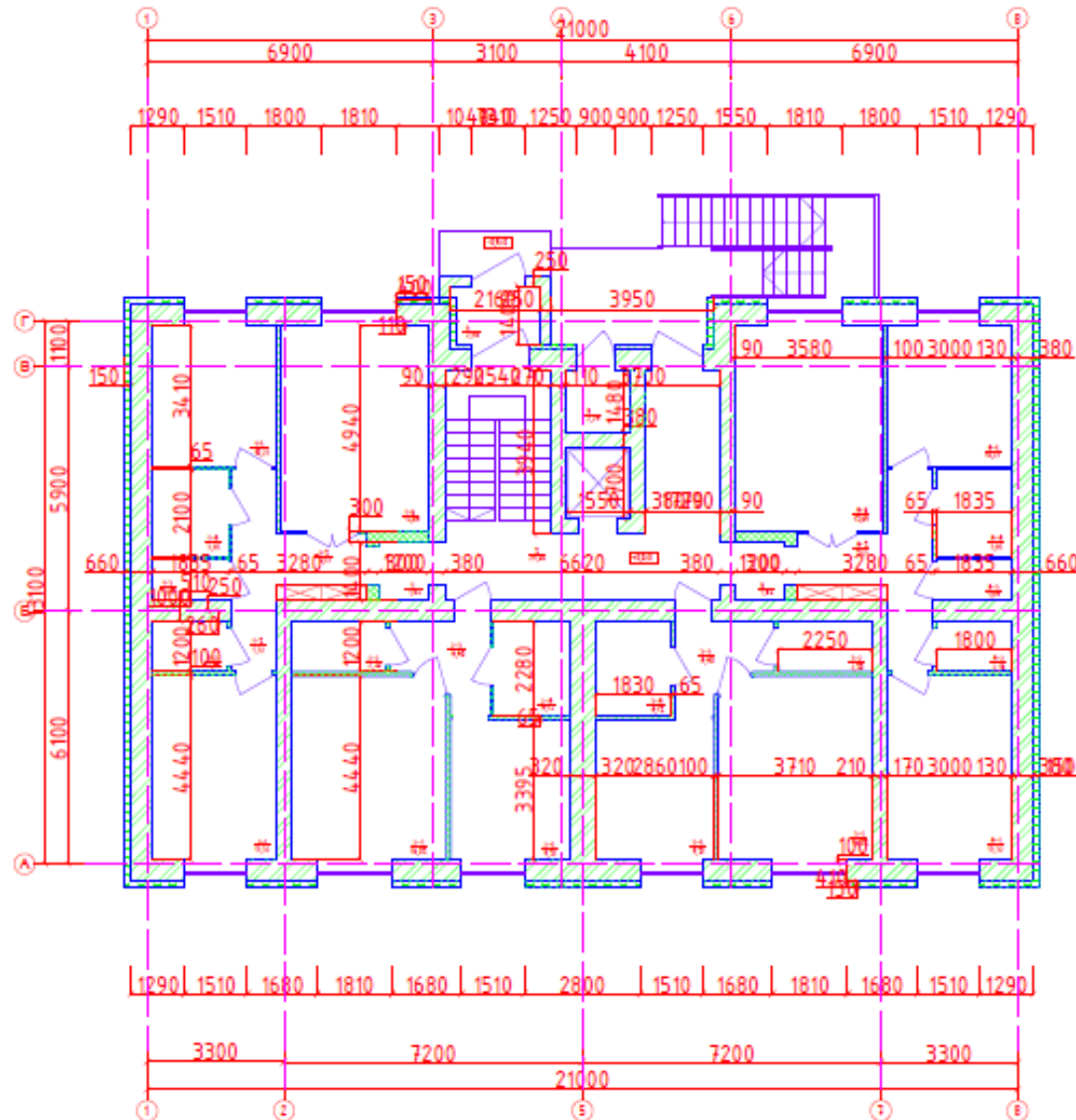
Инд. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

Инд. № подл.

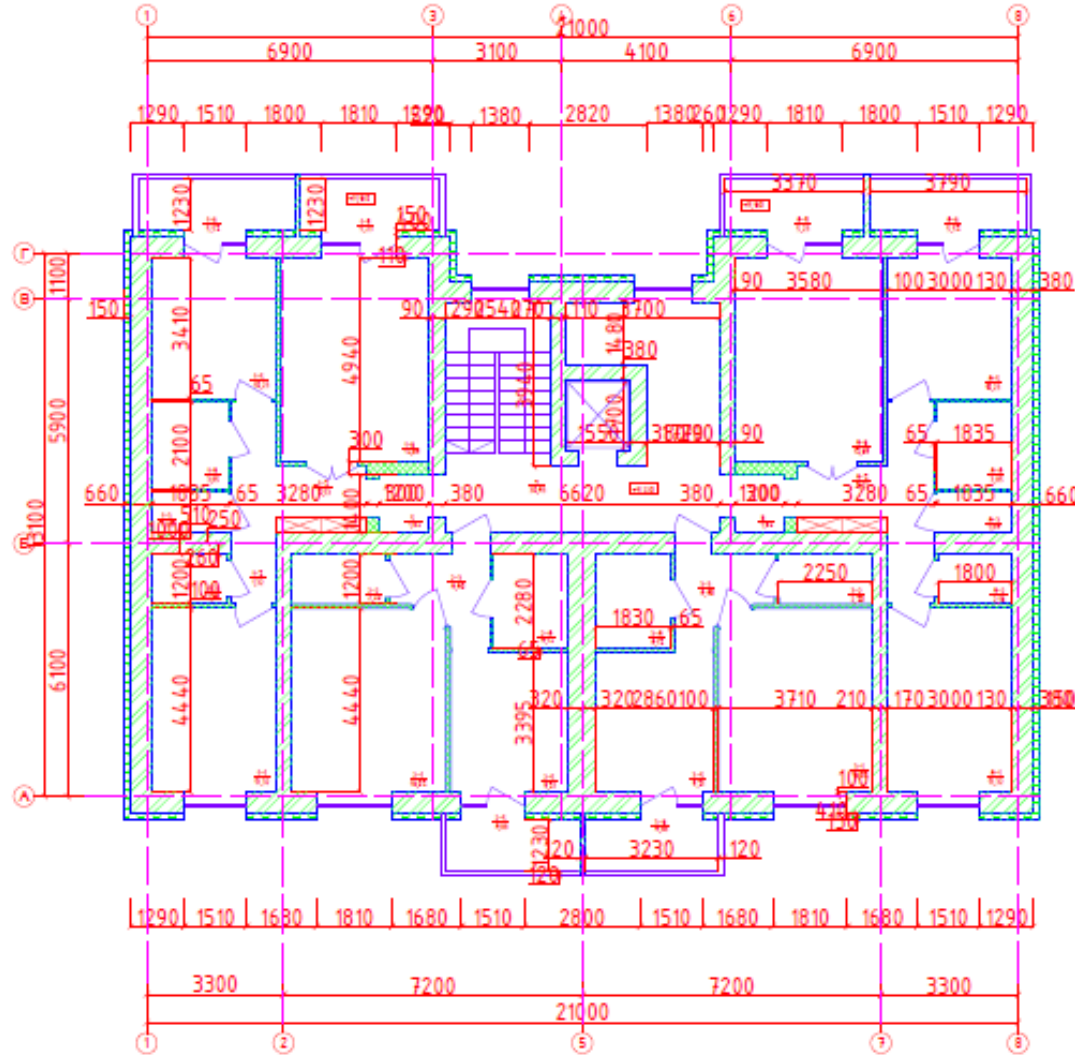
План 1-го поверху від -0,000



Експликація приміщень від -0,000

№ приміщення	Назва приміщення	Площа м <sup>2</sup>	Трибуна
<b>І поверх</b>			
1-1	Спальня кімната	10,82	
1-2	Кухня	2,76	
1-3	Туалет	1,84	
1-4	Ванна	2,88	
1-5	Спальня кімната	10,23	
1-6	Спальня кімната	11,49	
1-7	Коридор	2,88	
Всього площ поверху		47,94	
<b>ІІ поверх</b>			
2-1	Спальня кімната	16,27	
2-2	Кухня	2,76	
2-3	Коридор	4,40	
2-4	Спальня кімната	4,77	
2-5	Туалет	4,71	
Всього площ поверху		33,91	
<b>ІІІ поверх</b>			
3-1	Спальня кімната	16,27	
3-2	Кухня	2,76	
3-3	Коридор	4,40	
3-4	Спальня кімната	4,77	
3-5	Туалет	4,71	
Всього площ поверху		33,91	
<b>ІV поверх</b>			
4-1	Спальня кімната	10,82	
4-2	Кухня	2,76	
4-3	Туалет	1,84	
4-4	Ванна кімната	2,88	
4-5	Туалет	10,23	
4-6	Спальня кімната	11,49	
4-7	Коридор	2,88	
Всього площ поверху		47,94	
<b>Всього приміщень</b>			
8	Трибуна	1,87	
9	Трибуна	1,87	
7	Спальня кімната	29,00	
8	Трибуна	2,88	
8	Спальня кімната	2,29	

План типового перекрытия в/д -11,200



Экспликация помещений на в/д -11,200 (типовой перекрытия)

№ п/п	Наименование помещений	Площадь м <sup>2</sup>	Суммарно
<b>Этаж 1</b>			
1-1	Кладовая комната	18,82	
1-2	Коридор	2,94	
1-3	Туалет	1,84	
1-4	Ванная комната	2,88	
1-5	Кухня	10,22	
1-6	Кладовая комната	17,64	
1-7	Коридор	3,88	
1-8	Ванная	3,87	
1-9	Ванная комната	3,22	
Итого площадь этажа		88,71	
<b>Этаж 2</b>			
2-1	Кладовая комната	18,82	
2-2	Коридор	2,94	
2-3	Коридор	4,92	
2-4	Спальня	4,92	
2-5	Кухня	4,92	
2-6	Ванная	4,88	
Итого площадь этажа		50,91	
<b>Этаж 3</b>			
3-1	Кладовая комната	18,82	
3-2	Коридор	2,94	
3-3	Коридор	4,92	
3-4	Спальня	4,92	
3-5	Кухня	4,92	
3-6	Ванная	4,88	
Итого площадь этажа		50,91	
<b>Этаж 4</b>			
4-1	Кладовая комната	18,82	
4-2	Коридор	2,94	
4-3	Туалет	1,84	
4-4	Ванная комната	2,88	
4-5	Кухня	10,22	
4-6	Кладовая комната	17,64	
4-7	Коридор	3,88	
4-8	Ванная	3,87	
4-9	Ванная комната	3,22	
Итого площадь этажа		88,71	
<b>Итого по этажам</b>			
1	Туалет	1,84	
2	Туалет	1,84	
3	Кладовая комната	35,42	

Перв. примен.

Спроб. №

Погр. и дата

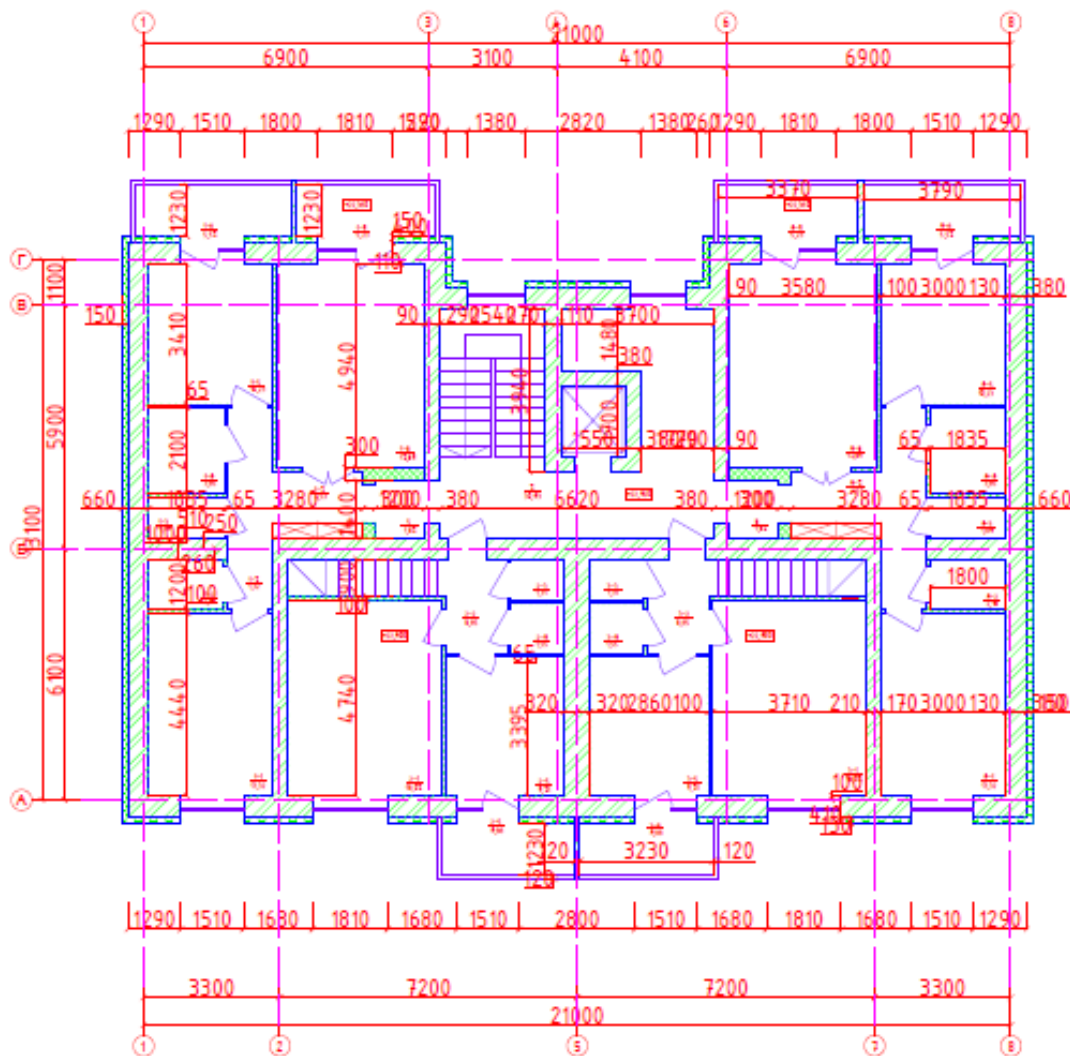
Инд. № дубл.

Взам. инв. №

Погр. и дата

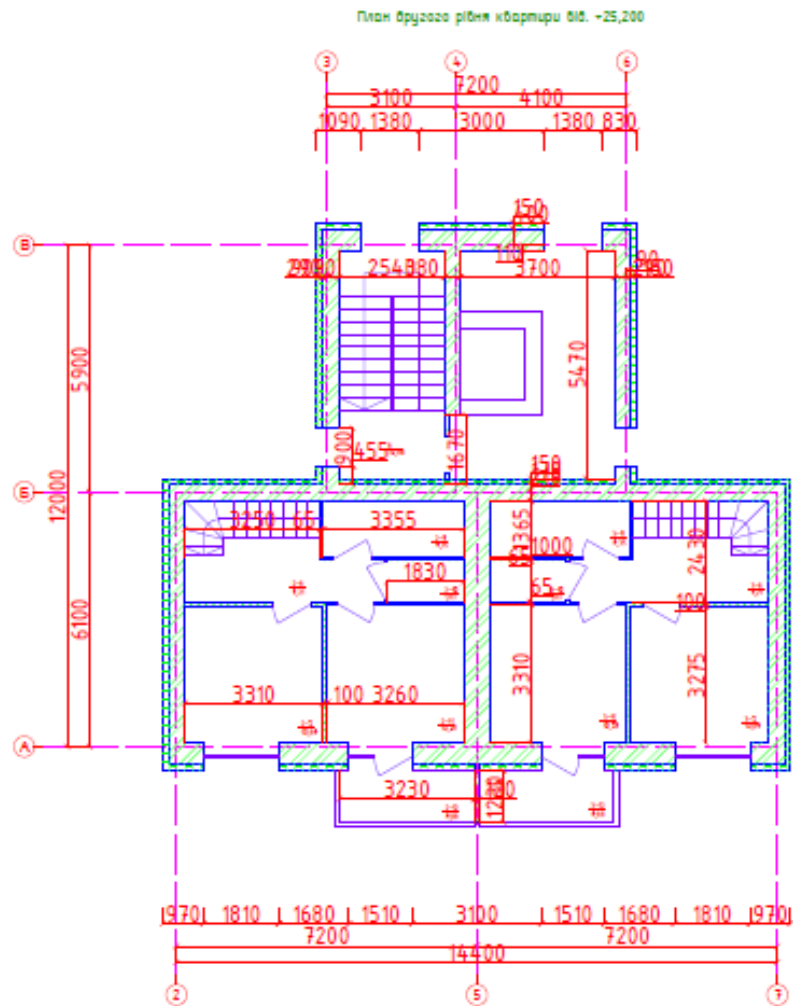
Инд. № подл.

План 9-го поверху від. -22,400



Експликація приміщень на від. -22,400

№	кв.	Назва приміщення	Площа кв.м	Повітря
<b>Об'єкт 1</b>				
1-1		Канцелярське	0,22	
1-2		Коридор	2,9	
1-3		Туалет	0,94	
1-4		Ванна кімната	0,88	
1-5		Спальня	0,23	
1-6		Канцелярське	7,49	
1-7		Коридор	0,88	
1-8		Ванна	0,87	
1-9		Безпечний вантаж	0,23	
Всього площі об'єкту			10,74	
<b>Об'єкт 2</b>				
2-1		Канцелярське	9,27	
2-2		Коридор	0,88	
2-3		Коридор	1,27	
2-4		Туалет	0,88	
2-5		Спальня	0,91	
2-6		Ванна	0,88	
<b>Об'єкт 3</b>				
3-1		Канцелярське	9,27	
3-2		Коридор	0,88	
3-3		Коридор	1,27	
3-4		Туалет	0,88	
3-5		Спальня	0,91	
3-6		Ванна	0,88	
<b>Об'єкт 4</b>				
4-1		Канцелярське	0,22	
4-2		Коридор	2,9	
4-3		Туалет	0,94	
4-4		Ванна кімната	0,88	
4-5		Спальня	0,23	
4-6		Канцелярське	7,49	
4-7		Коридор	0,88	
4-8		Ванна	0,87	
4-9		Безпечний вантаж	0,23	
Всього площі об'єкту			10,74	
<b>Всього приміщень</b>				
1		Туалет	1,47	
2		Туалет	1,47	
3		Канцелярське	10,49	



Експлікація приміщень на 010. -25,200

№ п/п	Назва приміщення	Площа (м²)	Примітка
<b>Повторення 2</b>			
2-7	Кухня кімната	10,84	
2-8	Холодиль	9,21	
2-9	Ванна кімната	4,08	
2-10	Туалет	1,83	
2-11	Кухня кімната	10,74	
2-12	Ванна	4,08	
Всього площі приміщень		19,01	
<b>Повторення 3</b>			
3-7	Кухня кімната	10,84	
3-8	Холодиль	9,21	
3-9	Ванна кімната	4,08	
3-10	Туалет	1,83	
3-11	Кухня кімната	10,74	
3-12	Ванна	4,08	
Всього площі приміщень		19,01	
<b>Всього приміщень</b>			
1	Кухня кімната	20,68	





Перв. примен.

Справ. №

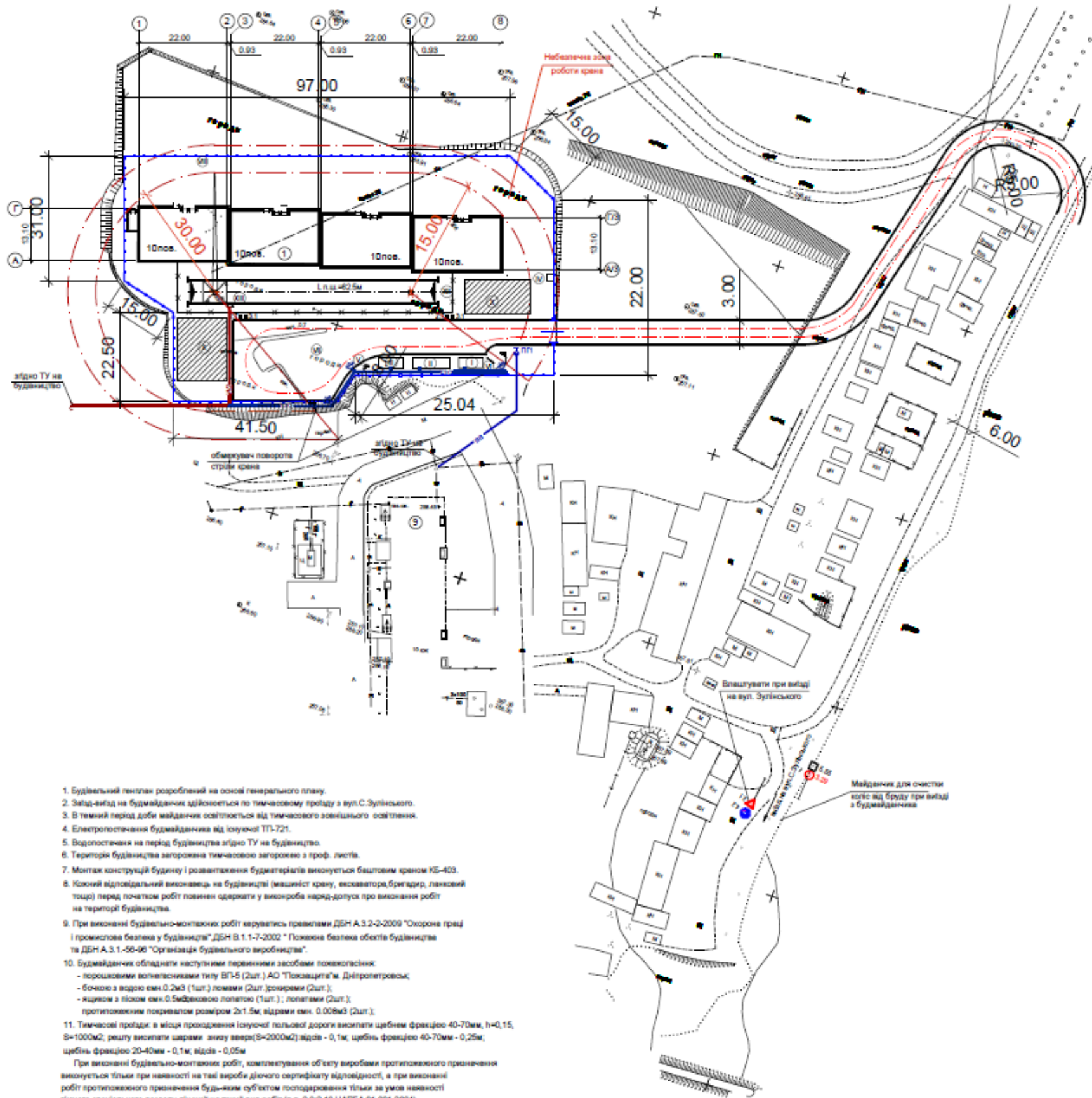
Погр. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Погр. и дата

Инв. № подл.



- Будівельний план розроблений на основі генерального плану.
- Заїзд-вїїзд на будівельний майданчик здійснюється по тимчасовому проїзду з вул. С.Зупинського.
- В темний період доби майданчик освітлюється від тимчасового зовнішнього освітлення.
- Електропостачання будівельного майданчика від існуючої ТП-721.
- Водопостачання на період будівництва згідно ТУ на будівництво.
- Територія будівництва загорожена тимчасовою загорожею з проф. листів.
- Монтаж конструкцій будівельної рами і розвантаження будівельних матеріалів виконується баштовим краном КБ-403.
- Кожний відповідальний виконавець на будівельній території (машиніст крана, екскаватор, бригадир, лаєвий тощо) перед початком робіт повинен одержати у виконавця наказ-допуск про виконання робіт на території будівництва.
- При виконанні будівельно-монтажних робіт керується правилами ДБН А.3.2-3-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві" ДБН В.1.1-7-2002 "Пожарна безпека об'єктів будівництва та ДБН А.3.1-56-06 "Організація будівельного виробництва".
- Будівельний майданчик обладнати наступними первинними засобами пожегостанок:
  - порошковими вогнегасниками типу ВР-5 (2шт.) АО "Позашахти"м. Дніпропетровськ;
  - бачком з водою емк. 0.2м<sup>3</sup> (1шт.) лопатами (2шт.) сокирами (2шт.);
  - щаблом з піском емк. 0.5м<sup>3</sup> (1шт.) лопатами (2шт.);
  - протипожежним покриттям розміром 2х1.5м, відрами емк. 0.008м<sup>3</sup> (2шт.);
- Тимчасові проїзди: в місці проходження існуючої польової дороги викласти щебінь фракцією 40-70мм, h=0,15, S=1000м<sup>2</sup>; решу викласти шаром асфальту товщиною S=2000мм відсів - 0,1м; щебінь фракцією 40-70мм - 0,25м; щебінь фракцією 20-40мм - 0,1м; відсів - 0,05м.
 

При виконанні будівельно-монтажних робіт, комплектування об'єкту виробами протипожежного призначення виконується тільки при наявності на них виробничого сертифікату відповідності, а при виконанні робіт протипожежного призначення буд-кми суб'єктом господарювання тільки за умов наявності діючого спеціального дозволу-ліцензії на такий вид робіт (п.п. 2.9.2.10 НАБЕА 01.001-2004).

### Експлікація будівель та споруд

Найменування	кв.	Примтка
1 Житловий будинок на 144 квартири	9	проектний

### Відомість тимчасових споруд

№п/о	Найменування	од. вим.	кіль.	Примтка
I	Приміщення прораби.	шт.	1	"Комфорт" МС
II	Побутові приміщення.	шт.	1	"Комфорт" МС
III	Приміщення для інвентаря	шт.	1	"Комфорт" МС
IV	Вбиральня	шт.	1	індив.
V	Пожарний щит з ящиком для піску	шт.	1	-
VI	Щит на протипожежну тематику	шт.	1	-
VII	Тимчасові проїзди	м <sup>2</sup>	3000	дир. прим. 0.11 щаблом t=0.15м
VIII	Отгорога тимчасова	лм	324	проф. листів t=0.25м
IX	Тимчасове зовнішнє освітлення	лм	75	від існуючої ТП-721
X	Майданчик для складування нагнорочних матеріалів	м <sup>2</sup>	335	устилання щебілем t=0.10м
XI	Підраховані шкоби	лм	62.5	зб. листів
XII	Загорога підрахованих шкоб	лм	94	металева сітка
XIII	Розподільний щит	шт.	1	-
XIV	Майданчик для очищення косяк машин	м <sup>2</sup>	72	щебінь покриття
XV	Тимчасове електропостачання	лм	-	згідно ТУ на будівництво
XVI	Тимчасове водопостачання	лм	40	згідно ТУ на будівництво
2.7	Знак безпеки праці "Працювати в касці"	шт.	2	ГОСТ 12.4.026-76
3.1	Знак безпеки праці "Обережно! Працює кран"	шт.	2	-
2.1	Дорожній знак "Діти на дорозі"	шт.	1	ДСТУ 2586
3.29	Дорожній знак "Обмеження максимальної швидкості"	шт.	1	ДСТУ 2586
5.55	Дорожній знак "Схема руху транспорту"	шт.	1	-
4.2	Дорожній знак "Рух праворуч"	шт.	1	-

### Умовні позначення

Будівля проекту	Тимчасове зовнішнє освітлення
Тимчасове водопостачання	Тимчасові проїзди
Майданчик для складування будівельних матеріалів	Загорога підрахованих шкоб
Тимчасові споруди	Тимчасова загорога будівельного майданчика
Електропостачання	Розподільний щит

