

1. создание центров досуга 1-2-дневного пребывания в системе рекреации пригородной зоны, с учетом их дифференциации по ценовой категории и, соответственно, уровню предоставляемых услуг;
2. разработка архитектурно-конструктивной системы для построения зданий и сооружений различного назначения, обладающей экологической эффективностью и гибкостью пространственной трансформации;
3. построение комплексной системы оценки эффективности проектного решения с учетом рационального совмещения экологических, архитектурно-эстетических и строительно-технологических факторов.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Критерії та показники сталого розвитку: наукові підходи до обґрунтування /Шапар А.Г./ Зб. наукових праць «Екологія і природокористування» Інституту проблем природокористування та Екології НАН України. – Вип.2 Дніпропетровськ: Поліграфіст, 2000 – с.
2. Рівень життя України як засіб соціальної політики / укладач Чернова Л.Є./ Методичні вказівки до соціологічного практикуму. – Дн-ск: ПГАСА., 2005. – С12-25.
3. Держкомстат України. Статистичний щорічник Дніпропетровської області /ред.кол.: В.В. Ветрова, Г.М. Стефанова та ін./ Дн-ск: тов. «Преса України», 2005р. – 620с.
4. Формирование рынка рекреационных услуг в Днепропетровской области / Палехова Л.Л. // Региональные проблемы развития туризма та рекреации: Зб. наук. праць /НАН України. Інститут економіко-правових досліджень; Ред. кол.: В.К. Мамутов (відп. ред.) та ін. – Донецьк, 2005.- с.
5. Эколого-экономические аспекты малоэтажного строительства / Тимошенко Е.А., Колохов В.В., Бородин А.А. и др./ Сб. научн. тр.: «Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта». – Дн-ск: ПГАСА., 2004. – С187-192.

УДК 624.191.8.042/.044

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОЕТАПНОГО ПРОЦЕСУ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБРОБКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУНЕЛЮ

*В.Д. Петренко, д.т.н., проф., О.Л. Тютюкін, к.т.н., доц., А.В. Гребін, маг.  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ*

На сьогоднішній момент в Україні є актуальною проблема реконструкції штучних транспортних споруд, у тому числі і підземних. До цього часу багато мостів та тунелів вичерпало свій експлуатаційний строк та потребує ремонту чи реконструкції. У зв'язку з необхідністю підтримки руху на ділянках локалізації транспортних штучних споруд доцільно застосовувати методи реконструкції чи спосіб ведення робіт, при якому би не зменшувалася інтенсивність руху. Це досягається проведенням робіт у „вікна” чи під час

закриття руху поїздів. Серед методів, які застосовуються для реконструкції залізничних тунелів та відповідають вищевизначеним умовам, можна виділити зовнішній метод реконструкції. Наданий метод дозволяє виконати заміну обробки та стін тунелю з найменшим впливом на інтенсивність руху залізничного транспорту. Метод відноситься до гірничих способів розробки та дозволяє виконувати усі операції реконструкції за обробкою тунелю. Єдиним втручанням у тунельний простір є встановлення металевих кружал, які необхідні для підтримки обробки під час її заміни. Ця особливість методу негативно впливає на рух за рахунок зменшення внутрішнього габариту тунелю і, як наслідок, потребує зниження швидкості пересування рухомого складу у ньому. Але в іншому цей метод виправдовує себе, особливо на напружених ділянках руху, де існує постійна необхідність пропуску великої кількості локомотивних пар.

До теперішнього часу для проведення подібного роду робіт виконувалися розрахунки лише основних елементів кріплення забою, необхідні для визначення їхньої довговічності та надійності під час реконструкції. З появою електронних обчислювальних машин та потужного спеціалізованого програмного забезпечення для розрахунків будівельних конструкцій з'явилася можливість визначення напружено-деформованого стану (НДС) системи „обробка тунелю–грунтовий масив” в цілому [1, 2]. Виконання розрахунків проводиться за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) у варіаційній підстановці, що дозволяє зі значною точністю змодельовувати реальні умови та властивості досліджуваної системи. Слід зазначити, що застосування МСЕ для пошуку НДС системи «обробка–масив» є найбільш доцільним, так як дозволяє провести її дослідження поетапно, тобто вирішити актуальну задачу технологічного супроводу.

Тому у наданій роботі проведено математичне моделювання у вигляді численного аналізу конструкції тунелю, а також оточуючого ґрунтового масиву під час основних етапів реконструкції.

Важливість рішення цієї задачі відмічалася багатьма авторами [2-4], але її рішення на основі аналітичного підходу було неможливим [2, 5], так як відтворення технологічних процесів на кожному із етапів проведення реконструкції залізничних тунелів, які перераховані нижче, можливе лише з умови використання МСЕ [5, 6].

1. Перший етап – тунель до реконструкції (дослідження 1).
2. Другий етап – тунель з пройденими за його стінами та закріпленими дерев'яними дверними окладами транспортними штольнями (дослідження 2).
3. Третій етап – тунель з розробленим фрагментом стіни шириною два метри (без встановлення кружал) (дослідження 3).
4. Четвертий етап – тунель з розробленим фрагментом стіни шириною два метри (із встановленими кружалами) (дослідження 4).

Основою для розрахунку системи «обробка–масив» МСЕ є створення ряду моделей, які б максимально передавали її геометричні та фізичні властивості, а також характер навантажень, яких вона зазнає. Тому для математичного моделювання МСЕ застосовано комплекс Structure CAD for Windows, version 7.31 R.4 (SCAD) [], який дозволяє у інтерактивному режимі створювати моделі значної складності, наразі моделі об'єктів із складною геометрією. Модель для першого етапу наведена на рис. 1.

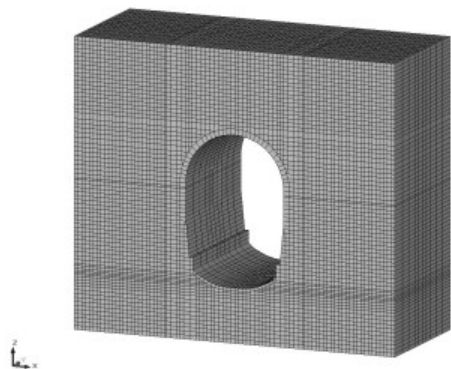


Рис. 1. Загальний вигляд моделі (дослідження 1)

В результаті було отримано модель з параметрами: довжина 7 м (по осі Y), ширина 15 м (по осі X), висота 14,65 м (по осі Z), що складається з 60 989 вузлів, об'єднаних у 53 500 елементів (біля 160 000 ступенів свободи). Після геометричного створення моделі їй задані деформаційні характеристики: для обробки тунелю (бетон марки В25) та нави́кошньому масиву (сланець тріщинуватий). Розрахунок НДС моделі проводився лише на власну вагу, тобто більше ніяких допущень щодо навантажень, як наприклад, врахування склепіння обвалення М.М. Протод'яконова [2, 4, 6], не вводилося, хоча масив ґрунту над склепінням обробки (4 м) дозволяє виконати і це. Після цього на модель були прикладені наступні граничні умови:

- грані, паралельні площині XZ – заборона переміщення вздовж осі Y;
- грані, паралельні площині YZ – заборона переміщення вздовж осі X та Y;
- нижня грань, паралельна площині XY – заборона переміщення вздовж осі X, Y та Z. Після цього проводилося тестування моделі на наявність не співпадаючих вузлів та елементів та виконано розрахунок НДС.

На основі першої моделі (рис. 1) розроблено подальші моделі, які виконано шляхом вирізання елементів на місці проходки штولень нижнього та верхнього ярусів (рис. 2).

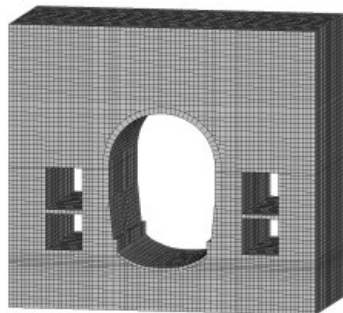


Рис. 2. Загальний вигляд моделі (дослідження 2)

Окрім вирізання на місці штولень отворів також виконувалося призначення деформаційних характеристик дерева скінченним елементам, що оточують вирізані нами отвори. Таким чином отримуємо дерев'яне кріплення штولень. Після проведеного розрахунку розроблено модель на основі моделі дослідження 2. Дана модель ілюструє момент повної розробки фрагменту стіни обробки тунелю. В даному дослідженні, як і у двох попередніх, ми не враховуємо наявності металевих кружал (рис. 3).

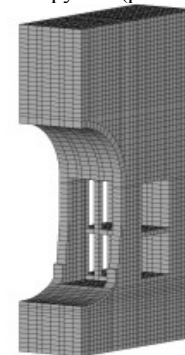


Рис. 3. Фрагмент моделі з видаленою частиною обробки (дослідження 3)

З отриманого фрагмента (рис. 3) видалено групу скінченних елементів, що являють собою стінку обробки тунелю, тобто з обробки стіни видалено фрагмент розміром 2 м, що відповідає третьому етапу реконструкції тунелю. Одночасно з цим робимо отвір у дерев'яному кріпленні штولень аналогічного розміру з отвором у стінці (2 м). При цьому залишаємо дві стійки, які підтримують верхняк кріплення штольні. Розроблена четверта модель повторює попередній етап реконструкції тунелю за винятком того, що в ній присутні металеві кружала, встановлені з кроком 1 м між осями (рис. 4).

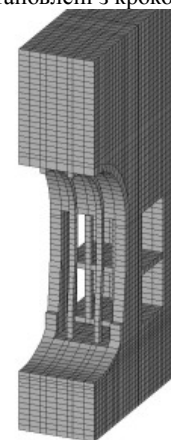


Рис. 5. Фрагмент моделі з видаленою частиною обробки (дослідження 4)

Під час побудови даної моделі ми зіткнулися з проблемою встановлення кружал. У середовищі SCAD побудова двотаврового перерізу з необхідними нам параметрами є надто складною, тому вирішено замінити двотавровий переріз на прямокутний переріз із таким самим моментом інерції. Було підраховано момент інерції двотаврового перерізу і за допомогою формул опору матеріалів отримано прямокутний переріз кружал розмірами 19,45×20 см.

Результатом розрахунків НДС моделі за допомогою програми SCAD є значення напружень та переміщень в усіх точках моделі, поділені на певні сукупні області та представлені у вигляді кольорових ізополів. Це дозволяє легко знайти місце концентрації напружень та дізнатися про їх величину. Наступним нашим кроком є розрахунок на міцність точок з максимальними концентраціями напружень у них. Для розрахунку на міцність сталевих кружал та бетону обробки застосовано енергетичний критерій міцності (четверта теорія міцності):

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma], \quad (1)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження;  $[\sigma]$  – гранична міцність матеріалу (обробка – бетон марки В25  $[\sigma] = 17,5$  МПа; кружала – сталь марки Ст3  $[\sigma] = 210$  МПа). За допомогою програми Excel for Windows для полегшення розрахунку вище наведені формули були введені у її середовище. Результат розрахунку ( $\sigma, \sigma_e$ ) порівнюється з граничною міцністю матеріалів за формулою:

$$n = \frac{\sigma}{[\sigma]}, \quad (2)$$

причому при значенні  $n \geq 1$  відбувається руйнування матеріалу у даній точці. На рис. 6-7 наведені вибрані результати розрахунків моделей чотирьох досліджень.

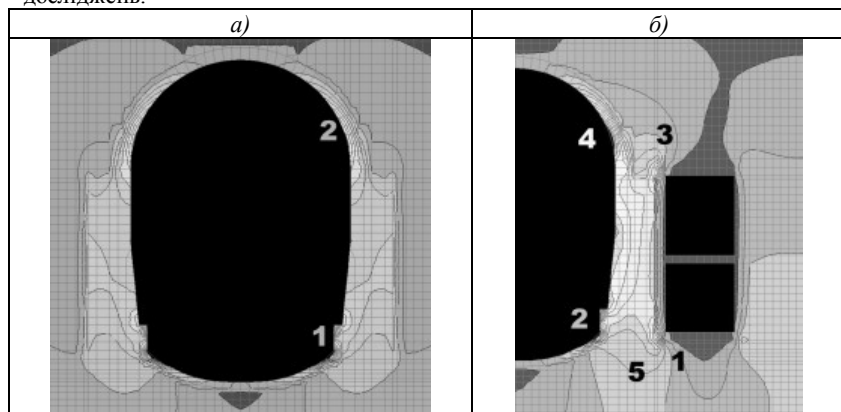


Рис. 6. Напружений стан моделей (напруження  $\sigma_1$ ): а) дослідження 1; б) дослідження 2

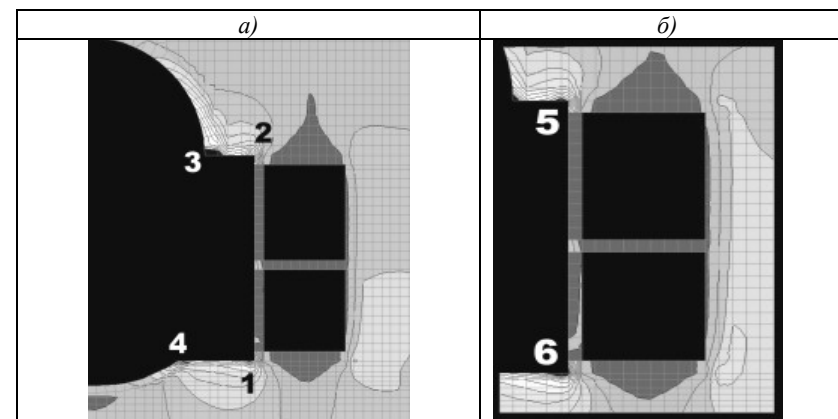


Рис. 7. Напружений стан моделей (напруження  $\sigma_1$ ): а) дослідження 3; б) дослідження 4

На рис. 6-7. цифрами показано місця концентрації напружень в конструкції та масиві, в яких проводилося дослідження напружень за формулами (1)-(2). Результати перевірки напруженого стану поетапної реконструкції залізничного тунелю наведені в табл. 1, але і ній наведені лише результати дослідження конструкцій (напруження в точках 5 та 6 не наводяться).

Результатами численного аналізу чотирьох досліджень є те, що розвиток напружень в моделі дослідження 1 не є значним, а бетон обробки та ґрунтовий масив легко сприймають напруження, які виникають у них. На рис. 6, а) видно, як змінився НДС обробки після проходки транспортних штولень. В основному поява пустот вплинула на напруження у стінах тунелю, що показує наочна диференціація напружень між обробкою та транспортною штольною. В цілому з розрахунку видно, що напруження в усіх характерних точках, обраних нами для перевірки, не перевищують допустимих (табл. 1), лише у кутах кріплення штولень з'являються невеликі концентрації напружень, що не є небезпечним. Модель дослідження 3 (рис. 7, а) ілюструє момент повної розробки фрагменту стіни обробки тунелю. В даному дослідженні, як і у двох попередніх, ми не враховуємо наявності металевих кружал. Відмічається значне збільшення напружень у кутових точках розробленого фрагменту стіни (рис. 7, а). Напруження досягають значних величин, але попередня перевірка довела їх неспроможність спричинити руйнування будь-якого елемента моделі (табл. 1).

Однак, після ретельного обстеження моделі з іншого кута огляду, виявлені значні концентрації напружень у місцях оперття підшви склепіння на стінку тунелю (ребра вирізаної частини стінки). Повторна перевірка показала їх значну величину. Деякі з них майже досягали критичного показника. Це доводить необхідність встановлення кружал, як запоруки стійкості конструкції, що реконструюється.

Таблица 1

Результаты дослідження конструкції обробки

№ точки	Матеріал	$\sigma_1$ , МПа	$\sigma_2$ , МПа	$\sigma_3$ , МПа	$\sigma$ , МПа	$[\sigma]$ , МПа	n
<b>Дослідження 1</b>							
1	Бетон В25	-14,91	-2,88	-2,3	12,33	17,5	0,7
2	Бетон В25	-10,66	-2,2	-0,76	9,264	17,5	0,53
<b>Дослідження 2</b>							
1	Бетон В25	-11,61	-2,59	-2,00	9,329	17,5	0,53
1	Дерево	-11,61	-2,59	-2,00	9,329	13,0	0,72
2	Бетон В25	-8,92	-2,40	-2,00	6,729	17,5	0,38
3	Бетон В25	-10,71	-2,40	-0,76	9,24	17,5	0,53
3	Дерево	-10,71	-2,40	-0,76	9,24	13,0	0,71
4	Бетон В25	-8,021	-2,40	-1,75	5,973	17,5	0,34
<b>Дослідження 3</b>							
1	Дерево	-13,24	-3,42	-2,5	10,31	13,0	0,79
3	Бетон В25	-13,24	-3,76	-2,04	10,45	17,5	0,6
4	Бетон В25	-10,96	-3,76	-2,04	8,196	17,5	0,47
<b>Дослідження 4</b>							
1	Бетон В25	-14,15	-4,29	-1,2	11,71	17,5	0,67
2	Бетон В25	-14,15	-3,22	-1,96	11,61	17,5	0,66
3	Бетон В25	-17,72	-3,22	-1,96	15,17	17,5	0,87
4	Бетон В25	-17,72	-4,29	-2,72	14,28	17,5	0,82
1	Сталь Ст3	-116,2	-22,1	-7,28	102,4	210,0	0,49
2	Сталь Ст3	24,71	74,25	-5,97	70,11	210,0	0,33

Аналіз моделі дослідження 4 (присутні металеві кружала, встановлені з кроком 1 м між осями) свідчить про перерозподіл напружень від обробки до металевих кружал, що сприяє нормалізації показників напружень у критичних точках дослідження 3. Явно видно зменшення напружень на 15...20 % відносно дослідження 3 (табл. 1), що зменшує ризик руйнування обробки у даних місцях.

Загальними висновками наведеної роботи є те, що представлено математичне моделювання поетапного процесу реконструкції залізничного тунелю є науковим обґрунтуванням задачі технологічного супроводу, рішення якої ще є не досить розробленим, але мають важливе значення для будівництва та реконструкції підземних споруд, так як зміна напружено-деформованого стану конструкцій в процесі реконструкції частіш усього негативно впливає на їх міцність, що позначається в подальшому на їх надійності та довговічності. Розроблені моделі, які базуються на сучасних принципах математичного моделювання, позначені оригінальністю та дають можливість отримання важливих практичних результатів. Подальша розробка моделей для вирішення задач технологічного супроводу є перспективним напрямком дослідження транспортних споруд, в тому числі, і підземних.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Демешко Е.А., Косицын С.Б., Слемзин А.Е. Расчет колонной станции метрополитена как пространственной конструкции // Транспортное строительство. – 1992. – № 1. – С. 32-35.
2. Петренко В.І., Петренко В.Д., Тютюкін О.Л. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. – 176 с.
3. Колыбин И.В., Фурсов А.А. Расчет подземных сооружений с учетом технологии их возведения / Сб. трудов научно-практ. конф. «Подземное строительство России на рубеже XXI века», Москва, 15-16 марта 2000. – М.: ТАР, 2000. – С. 183-190.
4. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Расчет несущих элементов подземных сооружений. – К.: Наукова думка, 2001. – 168 с.
5. Юркевич П. Геомеханические модели в современном строительстве // Подземное пространство мира. – № 1-2. – 1996. – С. 10-31.
6. Подземные гидротехнические сооружения. Учеб. для вузов. / Мостков В.М., Орлов В.А., Степанов П.Д., Хечинов Ю.Е., Юфин С.А. – М.: Высшая школа, 1986. – 464 с.

УДК 658.012

## АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЗДАНИЙ ПРИ ИХ ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИИ

С.Ф. Пичугин, д.т.н., проф., А.В. Семко, д.т.н., проф., Г.Н. Трусов, к.т.н., доц. Полтавский национальный технический университет имени Ю. Кондратюка

**Постановка проблемы.** Продолжение жизненного цикла объектов жилищно-гражданского и промышленного назначения зачастую сопряжено с их перепрофилированием, связанным с общим изменением градостроительной обстановки и ситуации в экономической и производственной сферах. Анализ публикаций, в которых поставлена эта проблема [1, 2], свидетельствует о том, что ранее больше внимания уделялось возможному росту производственного потенциала, возможности расширения и увеличения мощности при сохранении основных видов деятельности, происходящих в строительных объектах.

В настоящее время нерешенной частью общей проблемы является полное изменение назначения объекта, например, переоборудование жилых зданий в предприятия торговли, промышленных цехов в общественные, а зачастую и жилые здания и т.п.[4]. В связи с этим основные цели статьи можно сформулировать следующим образом:

1. Анализ изменения нагрузок при перепрофилировании зданий и сооружений.
2. Изменение конструктивной схемы перепрофилированных зданий.
3. Изменение шага и пролета несущих конструкций.
4. Оценка использования остаточного ресурса существующих конструкций.