

**ЗАСТОСУВАННЯ НЕМЕТАЛЕВОЇ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ У
ФУНДАМЕНТНИХ ПЛИТАХ ПІДЗЕМНИХ ПЕРЕХОДІВ
ТУНЕЛЬНОГО ТИПУ**

**APPLICATION OF NON-METALLIC COMPOSITE REINFORCEMENT
IN THE FOUNDATION SLABS OF TUNNEL-TYPE UNDERPASSES**

Трач В.М., д.т.н., проф., ORCID ID: 0000-0001-9500-2743, **Хоружий М.М., к.т.н.,** ORCID ID: 0000-0002-4546-9270, **Літницький В.І.,** ORCID ID: 0009-0004-1656-9776 (Національний університет водного господарства та природокористування)

Trach V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, ORCID ID: 0000-0001-9500-2743, **Khoruzhyi M.M., PhD.,** ORCID ID: 0000-0002-4546-9270, **Litnitskyi V.I.,** ORCID ID: 0009-0004-1656-9776 (National University of Water and Environmental Engineering)

За використання програмного комплексу «МОНОМАХ» виконаний розрахунок і варіантне конструювання фундаментної плити підземного переходу тунельного типу. В першому варіанті застосована сталева арматура, а у другому – неметалева композитна арматура. Проведене економічне порівняння варіантів армування.

The development of the construction industry at the current stage requires the introduction of new high-performance materials into production, and developers are seeking to reduce construction costs without losing the reliability and durability of structures. In today's global practice, composite non-metallic reinforcement is becoming increasingly widely used alongside traditional metal reinforcement. To date, structures using non-metallic composite reinforcement have not yet stood the test of time. Accordingly, this issue requires further study. In this article, a variant design of the foundation slab of a tunnel-type underpass is presented. In the first variant, steel reinforcement is used, and in the second - non-metallic composite reinforcement. The modelling and static calculation of this structure was carried out in the environment of the MOHOMAX software package. An economic comparison of reinforcement options was carried out. According to the results of the analysis of scientific and technical literature, as well as on the basis of the calculations performed, preference is given to composite reinforcement when reinforcing the foundation slabs of tunnel-type structures. The material savings for the use of non-metallic composite reinforcement in the foundation slab amounted to 19.4% compared to the

option of reinforcement with classical steel reinforcement. Further research is planned on the use of composite reinforcement in other structural elements, due to the fact that the elastic modulus of composite reinforcement is lower than that of steel reinforcement.

Ключові слова: тунель, фундаментна плита, залізобетон, сталева арматура, композитна арматура, tunnel, foundation slab, reinforced concrete, steel reinforcement, composite reinforcement

Вступ. Залізобетонні конструкції є найбільш поширеними в промисловому, цивільному та гідротехнічному будівництві. Сталева арматура завдяки здатності сприймати великі, в порівнянні з бетоном, розтягувальні зусилля стала основною частиною залізобетонних конструкцій, що працюють на розтяг та на згин. Бетон в свою чергу сприймає стискаючі навантаження на конструкцію та забезпечує довготривале збереження арматури в умовах впливу агресивного навколишнього середовища. Наукові дослідження та багаторічний досвід використання залізобетону показали, що стійкість бетону та його здатність захищати арматуру не завжди є достатніми. В першу чергу це стосується конструкцій, які знаходяться під дією атмосферного впливу або ж контактують з агресивними середовищами [1].

Розвиток будівельної галузі на сучасному етапі потребує впровадження у виробництво нових високоефективних матеріалів, а забудовники прагнуть знизити витрати на будівництво, не втрачаючи при цьому надійності й довговічності конструкцій.

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1] автор на основі аналізу літературних та патентних даних, результатів лабораторних досліджень відзначає, що в сучасній світовій практиці поряд с традиційною металевою арматурою все більш широке застосування знаходить композитна неметалева арматура. Світовий досвід використання композитної арматури показує, що завдяки високим механічним властивостям, корозійній стійкості, дімагнетичності, діелектричності і малій теплопровідності композитна арматура на основі базальтового і склоровінгу є перспективним матеріалом для армування бетонних елементів і конструкцій, які знаходяться під дією агресивних середовищ

В статті [2] розглянуто недоліки та особливості неметалевої композитної арматури, що застосовується у будівельних конструкціях. Надано пропозиції щодо використання неметалевої композитної арматури у монолітних фундаментах.

В роботі [3] здійснено аналітичний огляд науково-технічної інформації щодо композитної арматури на основі полімерних матеріалів, армованих волокнами різних типів: скляним, арамідним, вуглецевим. Розглянуто фізико-механічні властивості такої арматури у порівнянні із сталевою арматурою і наведено вимоги зарубіжних нормативних документів до показників якості

композитної арматури.

Унаслідок недостатньої уваги до композитної арматури, в Україні тільки у 2013 році набув чинності нормативний документ стосовно проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою [6], який містить інформацію про сферу застосування, загальні положення проектування елементів з неметалевою композитною арматурою, конструктивні вимоги до цих елементів.

На сьогоднішній день конструкції з використанням неметалевої композитної арматури ще не пройшли випробування часом. Відповідно це питання потребує додаткового вивчення [2].

Постановка мети і задач досліджень. Згідно [2] склопластикову арматуру доцільно застосовувати в плитних та стрічкових фундаментах малоповерхових будівель, де діють незначні навантаження на фундамент. В даній статі виконане варіантне конструювання фундаментної плити підземного переходу тунельного типу. При першому варіанті використана сталева арматура, а у другому – неметалева композитна арматура. Проведене економічне порівняння варіантів армування.

Підземний перехід забезпечує перехід між спальним та медичним корпусами санаторію по найкоротшій відстані. Розміри в осях 81,8 x 6,4 м. На рис. 1 зображено поперечний переріз даного підземного переходу. Висота приміщення становить 2,6 м, ширина 5,8 м. Фундамент будівлі – суцільне монолітне залізобетонне днище. Для конструкції використовуємо бетон класу С16/20 згідно [4], сталеву арматуру класу А500С згідно [4] при першому варіанті конструювання і композитну арматуру класу АНПБ 800 згідно [6] при другому. В якості основи фундаменту буде слугувати суглинок твердий, жовтувато-коричневий з наступними характеристиками: $E=11$ МПа; $\gamma=20,2$ кН/м³, $C_{II}=7$ кПа, $\varphi_{II}=18^\circ$.

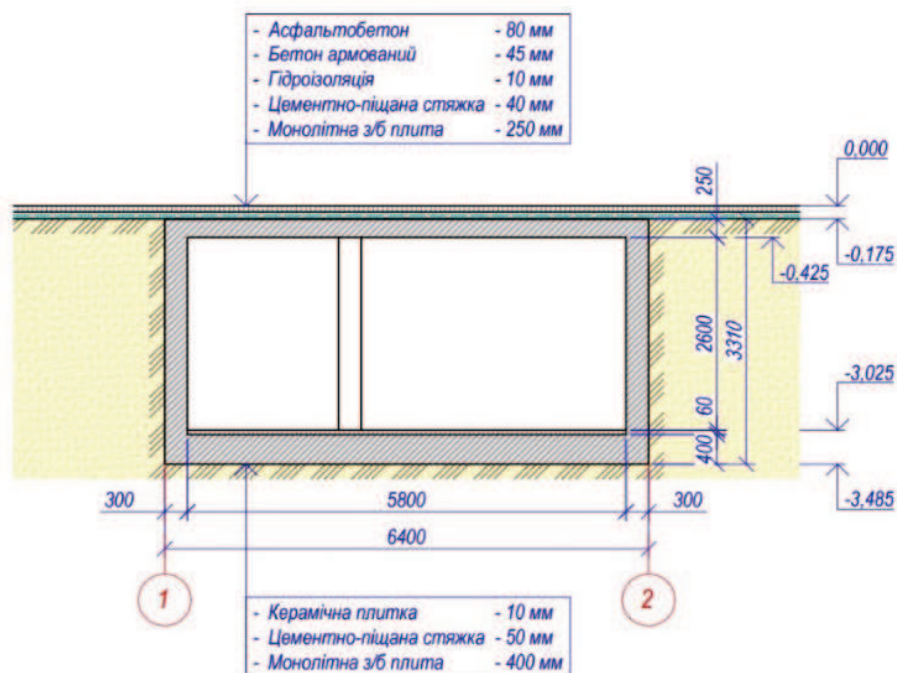


Рис. 1. Поперечне січення підземного переходу тунельного типу

Методика досліджень. Моделювання та статичний розрахунок зазначеної конструкції проводився в середовищі програмного комплексу «МОНОМАХ». Конструювання фундаментної плити виконане на основі методик представлених в [5] та [6] за використання сталевих та композитної арматури відповідно.

Механічні характеристики сталевих арматури класу А500С та неметалевої композитної арматури класу АНПБ 800 прийняті згідно [4] та [6] відповідно.

Результати досліджень. Збір навантаження на фундаментну плиту виконане згідно [7] з урахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням $\gamma_n=0,95$. Граничне розрахункове навантаження на днище тунелю склало $p=27$ кН/м².

Статичний розрахунок конструкції виконано в ПК «МОНОМАХ» за використання модуля «ПЛИТА». Отримані ізополя розрахункових згинних моментів M_x та M_y в плиті показані на рис. 2 та рис. 3 відповідно.

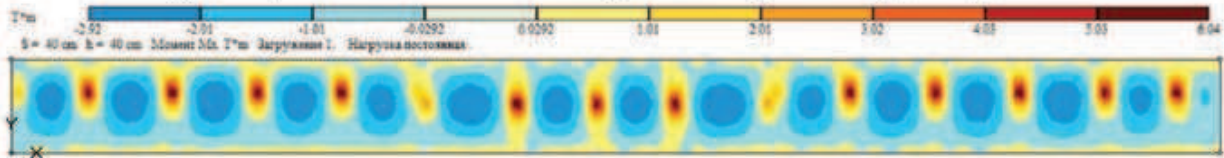


Рис. 2. Ізополя згинних моментів M_x

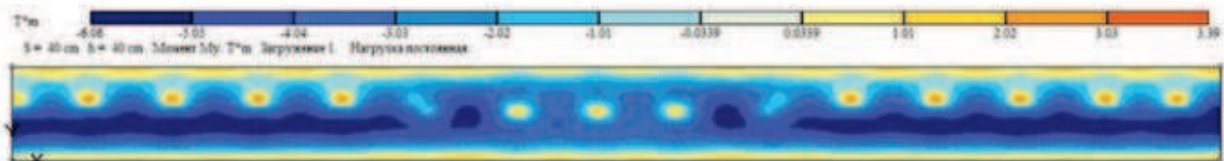


Рис. 3. Ізополя згинних моментів M_y

Як зазначалось, запроектовано два варіанти армування фундаментної плити.

Перший варіант – класичне армування сталевими арматурою. Плита має 2 основні сітки (нижню та верхню) із арматури $\varnothing 12$ А500С, крок 200×200 мм. По периметру влаштовано просторовий каркас із 6 поздовжніх стрижнів $\varnothing 12$ А500С та хомутів $\varnothing 8$ А500С, кроком 250 мм. Схема армування за даним варіантом показана на рис. 4.

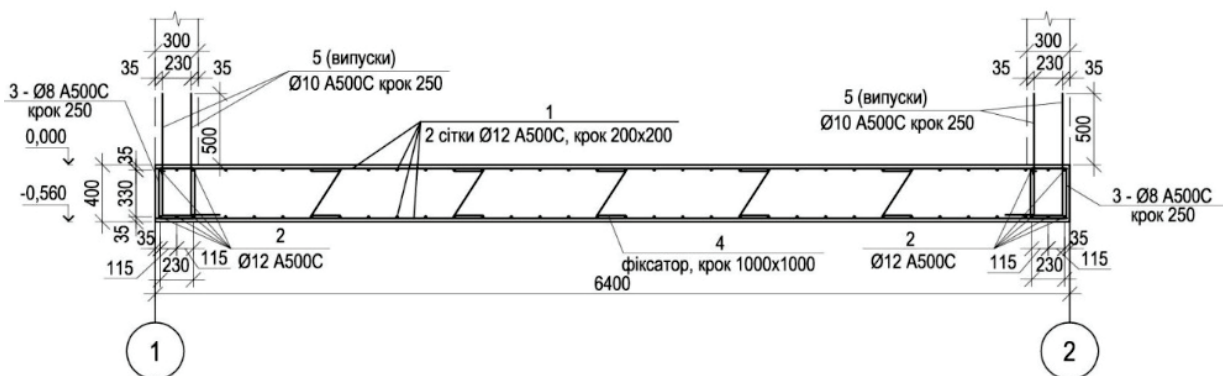


Рис. 4. Армування фундаментної плити сталевими арматурою

Другий варіант – армування неметалевою композитною арматурою. Основні сітки запроєктовані із арматури Ø8 АНПБ 800, крок 220х220 мм. Поперечний каркас такий же, як і в першому варіанті. Він підвищує жорсткість плити і полегшує влаштування вертикальних стрижнів стін. Схема армування за даним варіантом показана на рис. 5.

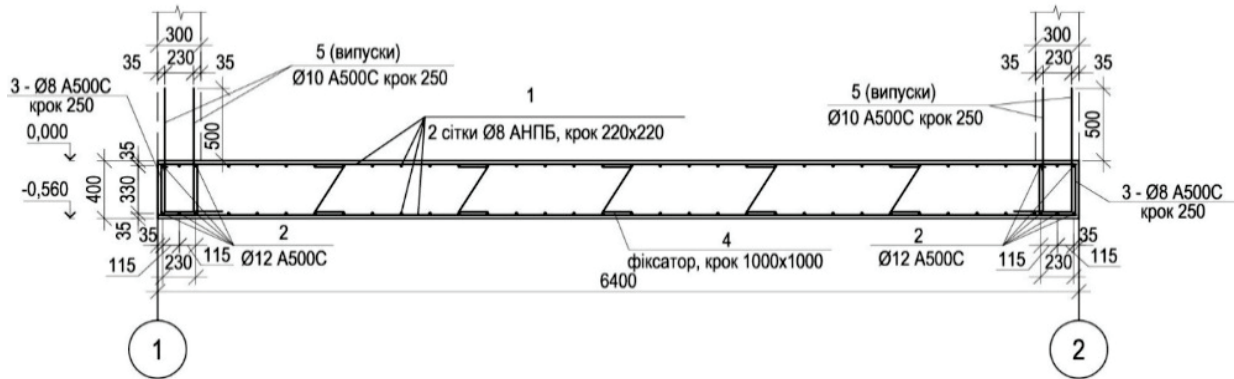


Рис. 5. Армування фундаментної плити комбінованою арматурою

В таблиці 1 представлені зведені обсяги матеріалів для двох варіантів конструювання фундаментної плити підземного переходу тунельного типу та порахована їх вартість.

Таблиця 1

Зведена відомість обсягів матеріалів та їх вартість

№ п/п	Найменування	Елемент	Вартість за одиницю	Обсяг	Всього
1	Монолітна фундаментна плита, армована сталевую арматурою	Бетон С20/25	2750 грн/м ³	212 м ³	583000 грн
		Арматура А500С	35000 грн/т	13,16 т	460600 грн
		Разом			1043600 грн
2	Монолітна фундаментна плита, армована композитною арматурою	Бетон С20/25	2750 грн/м ³	212 м ³	583000 грн
		Арматура А500С	35000 грн/т	2,78 т	97300 грн
		Арматура АНПБ 800	200000 грн/т	0,97 т	194000 грн
		Разом			874300 грн

Висновки та рекомендації. За результатами аналізу науково-технічної літератури, а також на підставі виконаного розрахунку, перевага надається композитній арматурі при армуванні фундаментних плит споруд тунельного

типу. Економія на матеріалах за використання у фундаментній плиті неметалевої композитної арматури склала 19,4% у порівнянні із варіантом армування класичною сталевією арматурою.

В розглянутих бібліографічних джерелах вказано на необхідність подальших досліджень з застосування композитної арматури в інших елементах конструкцій, в зв'язку з тим, що модуль пружності композитної арматури є нижчим за модуль пружності сталевієї арматури.

1. Клімов Ю. А. Використання неметалевої композитної арматури для армування бетонних конструкцій. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: науково-технічний збірник. Київ, 2011. Вип. 42. С. 13-17.

Klimov Yu. A. Vykorystannia nemetalevoi kompozytnoi armatury dlia armuvannia betonnykh konstruksii. Budivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Kyiv, 2011. Vyp. 42. S. 13-17.

2. Воскобийник С. П. Особливості армування фундаментів неметалевою композитною арматурою. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. 2016. Вип. 1. С. 174-180.

Voskobiinyk S. P. Osoblyvosti armuvannia fundamentiv nemetalevoiu kompozytnoi armaturoiu. Zbirnyk naukovykh prats Poltavskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Yu. Kondratiuka. Serii: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. 2016. Vyp. 1. S. 174-180.

3. Терещенко Т.А. Характеристики композиційних матеріалів і арматури на їх основі, яка використовується для будівництва мостів і шляхопроводів за кордоном. Дороги і мости. Київ, 2011. Вип. 13. С. 130-138.

Tereshchenko T.A. Kharakterystyky kompozytsiinykh materialiv i armatury na yikh osnovi, yaka vykorystovuietsia dlia budivnytstva mostiv i shliakhoprovodiv za kordonom. Dorohy i mosty. Kyiv, 2011. Vyp. 13. S. 130-138.

4. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

DBN V.2.6-98:2009. Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia. – K. : Minrehionbud Ukrainy, 2011. 71 s.

5. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 166 с.

DSTU B V.2.6-156:2010. Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia. – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. 166 s.

6. ДСТУ Б В.2.6-1856:2012. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. К.: Мінрегіонбуд України, 2012. 28 с.

DSTU B V.2.6-1856:2012. Nastanova z proektuvannia ta vyhotovlennia betonnykh konstruksii z nemetalevoiu kompozytnoi armaturoiu na osnovi bazalto- i sklorovinhu. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2012. 28 s.

7. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – Київ: Мінбуд України, 2006. 60 с.

DBN V.1.2-2:2006. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia / Minbud Ukrainy. – Kyiv: Minbud Ukrainy, 2006. 60 s.