

УДК 624.072.012

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.8>**Максименко Валерій Петрович,**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач лабораторії висотного і експериментального будівництва,
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва»,
просп. Валерія Лобановського, 51, м. Київ, 03037, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2835-026X>
E-mail: valeriy.max@gmail.com

Дубик Олександр Миколайович,

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8082-7603>
E-mail: oleksandr.dubyk@npp.nau.edu.ua

Карпенко Анатолій Костянтинівич,

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2625-5327>
E-mail: anatolii.karpenko@npp.nau.edu.ua

Зіненко Сергій Сергійович,

аспірант кафедри інфраструктури авіаційного транспорту
факультету наземних споруд і аеродромів,
Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, 03058, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3051-7999>
E-mail: 8863501@stud.nau.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ В ЖОРСТКИХ ПОКРИТТЯХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ

Анотація. У статті подано результати перевірних розрахунків напружено-деформованого стану елементів жорсткого покриття автомобільної дороги з композитною арматурою в деформаційних швах при нормативних експлуатаційних навантаженнях і перспективних навантаженнях, які моделюють посадку літака. Ускладнюючою умовою була необхідність влаштування під дорогою кабельного переходу. У рамках будівельного проекту автомобільної дороги в певних геологічних умовах у ПК «ЛІРА САПР» виконано розрахунки напружено-деформованого стану елементів покриття з урахуванням деформації ґрунтової основи. Результати розрахунків показали, що навіть у складних умовах перспективного навантаження автомобільної дороги й ослаблення кабельним переходом композитна арматура в деформаційних швах і в місці армування плити кабельного переходу цілком забезпечує надійність жорсткого покриття при класі наслідків СС3. Порівняно з металевією арматурою А500С витрати композитної арматури на армування плити кабельного переходу дають значну економію по масі для композитної арматури АКС800 на рівні 27%, а для АКС1000 – 32%.

Наведені результати підтверджують припущення щодо застосування композитної арматури в жорстких покриттях автомобільних доріг та аеродромів як альтернативи металевій. Але для цього необхідно вирішити низку досить складних завдань, а саме щодо напружено-деформованого стану елементів різних конструкцій жорстких покриттів автомобільних доріг та аеродромів у широкому спектрі експлуатаційних навантажень.

Ключові слова: жорстке покриття, деформаційний шов, композитна арматура, автомобільна дорога, аеродром.

Maksimenko Valery, Dubyk Oleksandr, Karpenko Anatoly, Zinenko Serhii. APPLICATION OF COMPOSITE REINFORCEMENT IN RIGID PAVEMENTS OF MOTOR ROADS AND AIRPORTS

Abstract. The results of the verification calculations of the stress-strain state of the elements of the rigid pavements of the road with composite reinforcement in the deformation joints under standard operating loads and prospective loads simulating the landing of an airplane are given. A complicating condition was the need to install a cable crossing under the road. As part of the highway construction project in certain geological conditions, calculations of the stress-strain state of the pavement elements were performed in PC "LIRA CAD" taking into account deformations of the soil base. The results of the calculations showed that, even in difficult conditions of prospective loading of the road and weakening by the cable transition, the composite reinforcement in the deformation joints and in the bottom reinforcement of the cable transition plate fully ensures the reliability of the hard cover with the consequences class CC3. Compared to A500C metal reinforcement, the consumption of composite reinforcement for reinforcing the cable transition plate gives a significant saving in weight for composite reinforcement AKC800 at the level of 27%, and for AKC1000 – 32%.

The given results confirm the assumptions regarding the use of composite reinforcement in hard pavements of highways and airfields as an alternative to metal. But for this, you need to solve a number of rather complex problems, namely, regarding the stress-strain state of elements of various structures of rigid road surfaces and airfields in a wide range of operational loads.

Key words: hard coating, deformation seam, composite reinforcement, road, airfield.

Вступ. З уведенням у дію національних стандартів [1; 2; 3] в Україні з'явилися підстави для застосування композитної арматури в будівництві автомобільних доріг та аеродромів. Використання неметалевої композитної арматури в дорожньому й аеродромному будівництві є актуальною темою, бо корозія сталевих арматур, особливо в агресивному середовищі, є суттєвим недоліком армованих жорстких цементобетонних покриттів, який значно зменшує їх довговічність. Світовий досвід будівництва й експлуатації автомобільних доріг та аеродромів сформував напрям розвитку з використанням жорстких цементобетонних покриттів, армованих композитною арматурою.

Отже, у рамках реалізації конкретного комерційного проекту реконструкції автомобільної дороги та злітно-посадкової смуги при ускладнюючих умовах необхідності влаштування кабельного переходу виконані перевірені розрахунки напружено-деформованого стану елементів жорсткого покриття з варіантами армування сталевією та композитною арматурою для порівняння.

Матеріали та методи. Розглянута спрощена модель злітно-посадкової смуги у вигляді трьох плит розмірами 7,5х5м товщиною 0,4м і наявне полотно з шарами бетонних та асфальтобетонних плит сумарною товщиною 1,05м. На рис. 1 наведено креслення повздовжнього перерізу з вла-

штованим кабельним переходом і шарами наявного покриття. Завдання на розрахунок містило врахування наявних геологічних умов майданчика будівництва, що передбачало моделювання взаємодії нижнього шару покриття з ґрунтовою основою. Розрахункова схема майданчика створена в ПК «МОНО-МАХ САПР» та експортована в ПК «ЛІРА САПР-2021», у якому виконано розрахунки армування бетонної площадки на проєктні й перспективні навантаження. Вихідні дані для розрахунку: клас наслідків (відповідальності) споруди – СС3 згідно з [4]; коефіцієнт надійності за відповідальністю – 1,25; клас бетону не менше В35 по [5] при $F_{ck}=32\text{МПа}$, $R_{bt}=3,0\text{МПа}$; клас бетону не менше С32 по [6] при $F_{ck}=32\text{МПа}$, $R_{bt}=3,0\text{МПа}$ при армуванні склопластиковою композитною арматурою. Урахування довготривалої циклічності навантаження $k_u=1,16$ і коефіцієнт умов роботи $\text{Gam}_b=0,95/k_u=0,819$. Для врахування впливу динамічних навантажень на покриття злітно-посадкової смуги під час посадки літаків і довготривалого вібраційного впливу на покриття прийнято максимальне прискорення $0,05G$ як для ґрунтів II категорії при напрямку впливу вздовж злітно-посадкової смуги.

Розглянуто такі варіанти армування плити кабельного переходу й деформаційних швів між плитами покриття:

1. Сталеву арматуру А500С згідно з [5];

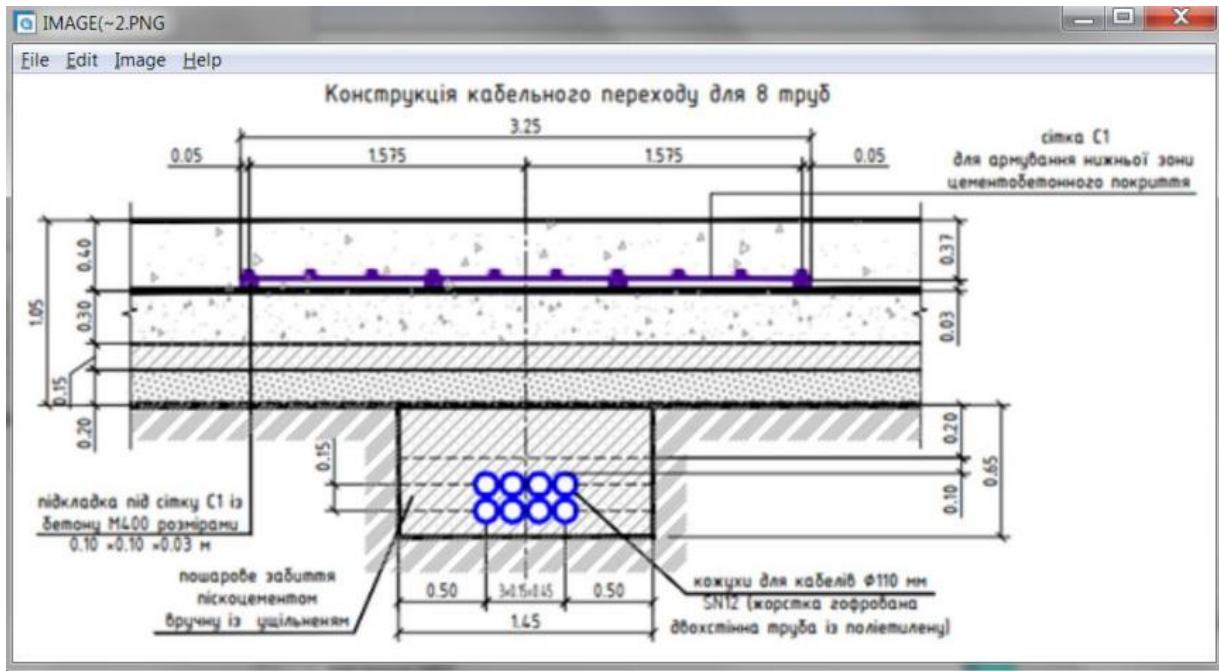


Рис. 1. Конструкція кабельного переходу

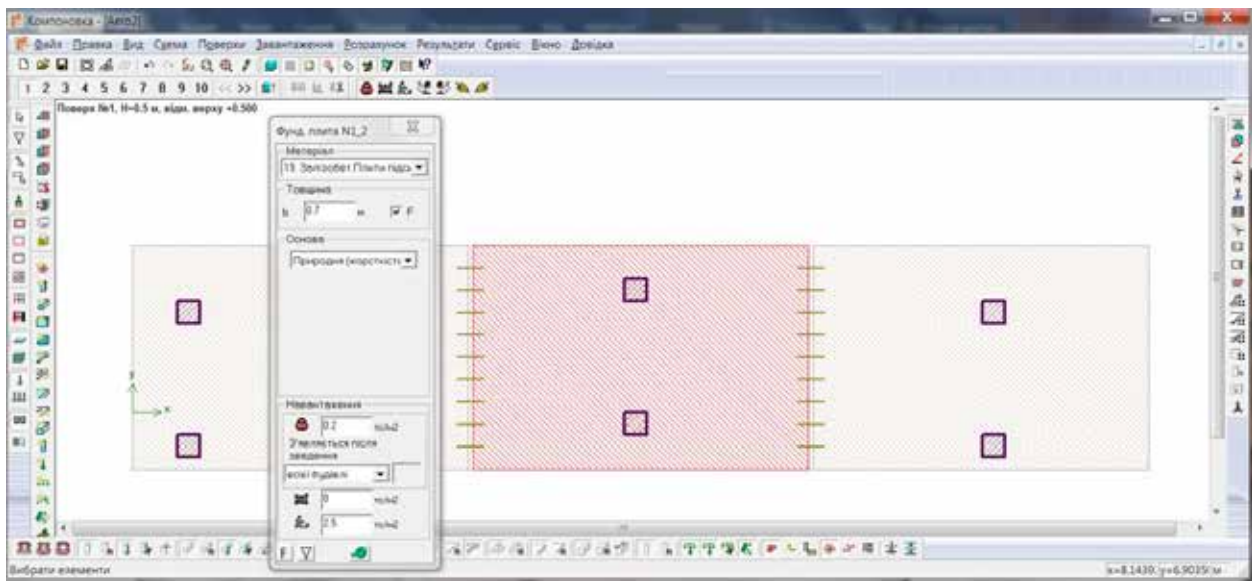


Рис. 2. Схема навантажень і розташування дюбелів армування деформаційних швів

2. Композитну склопластикову арматуру-АКС800 згідно з [6], [1] і [2];

3. Композитну склопластикову арматуру АКС1000 згідно з [6], [1] і [2].

На рис. 2 наведена схема навантажень на плити покриття й розташування дюбелів (діаметр $d=25\text{mm}$) армування деформаційних швів між плитами.

За допомогою системи «грунт», яка реалізована в ПК «ЛІРА САПР», визначено такі:

коефіцієнти пружної основи («коефіцієнти постелі») $C1$ і $C2$ відповідно до моделей Вінклера та Пастернака; значення нижньої межі стисливої товщі шарів ґрунту; поля осідань шарів ґрунтової основи.

Указані обчислення виконуються після автоматичної триангуляції ділянок, обмежених заданими контурами. У вузлах триангуляції із заданим кроком обчислюються всі необхідні параметри. За результатами роботи системи

«грунт» виконується побудова епюр вертикальних напружень у будь-якій точці прикладеного навантаження. На рис. 3 наведена схема триангуляції та параметри ґрунтової основи.

Прийняте для розрахунку довготривале навантаження на ґрунт від наявного покриття становить до 9тс/м^2 . Додаткове короткочасне перспективне навантаження на покриття інтенсивністю до 25тс/м^2 на площі 1м^2 прийняте для моделювання посадки літака.

Результати. Розрахунки коефіцієнтів постелі С1 і С2 виконано з урахуванням збільшення модуля деформації ґрунту по глибині й показали нерівномірність їх значень по площині ґрунтової основи. На рис. 4 наведено ізополі переміщень по осі Z від дії сполучення навантажень РСН-1 (постійного + короткочасного). На рис. 5 наведені ізополі переміщень при дії сполучення навантажень РСН-2 (постійне + короткочасне + сейсміка) з додаванням до РСН-1 сейсмічного впливу в горизонтальному напрямку при зменшенні

короткочасного. Вплив сейсміки виявився незначним.

Ізополі напружень від згинальних моментів при дії сполучення навантажень РСН-2 наведені на рис. 6 і 7.

Реакцію ґрунтової основи, а саме напружень по Rz, при дії сполучення навантажень РСН-1 і РСН-2, наведено на рис. 8 і 9.

Ізополі напружень від перерізуючих сил Qx та Qy при дії сполучення навантажень РСН-2 наведено на рис. 10 та 11.

Максимальні зусилля в дюбелях деформаційних швів між плитами при дії сполучення навантажень РСН-2 становлять таке: $N_{\text{max}}=0,148\text{тс}$, $N_{\text{min}}=-0,723\text{тс}$, $Q_y=0,065\text{тс}$, $Q_z=0,72\text{тс}$, $M_z=-0,007\text{тсм}$, $M_y=0,042\text{тс*м}$.

Розглянемо варіант армування деформаційних швів композитною арматурою АКС800 діаметром $\varnothing 25\text{мм}$. Тоді максимальні напруження в композитній арматурі АКС800 дюбеля діаметром $\varnothing 25\text{мм}$ деформаційного шва будуть менші розрахункових:

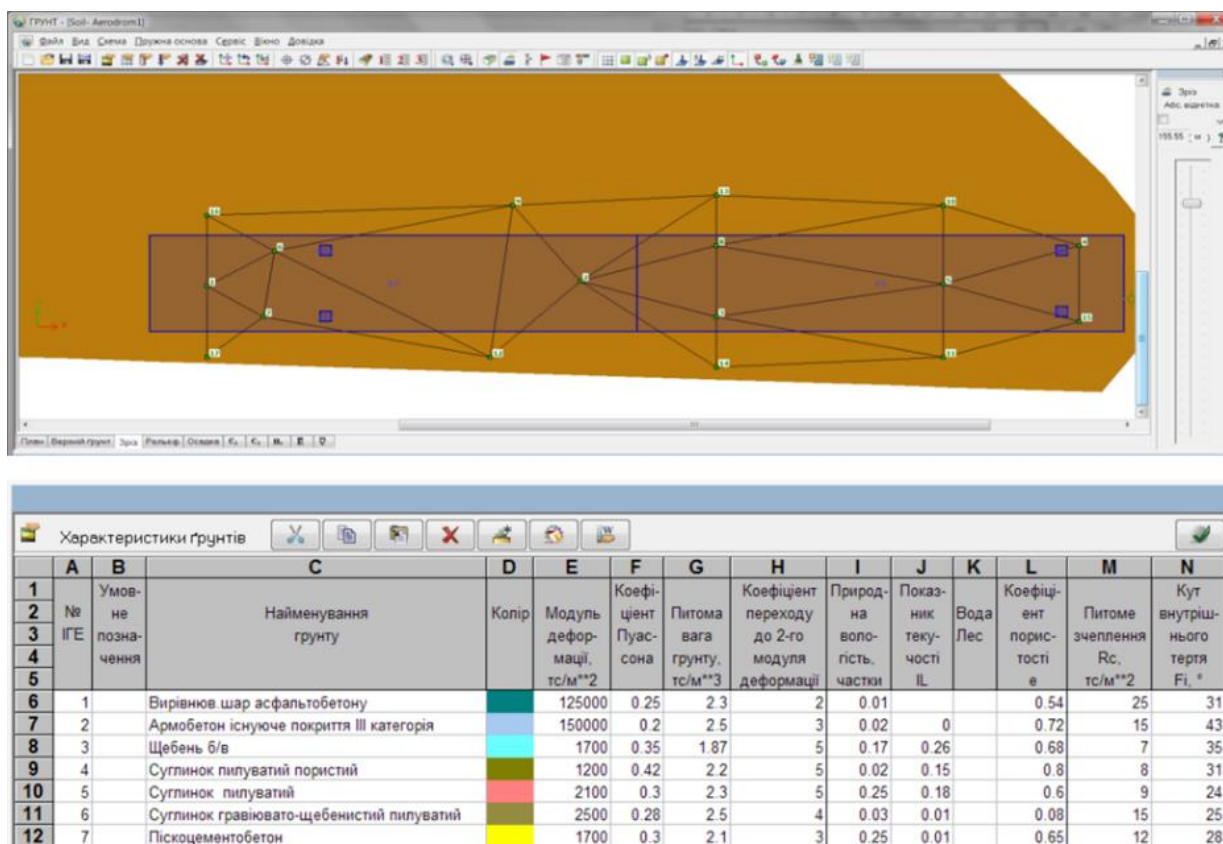


Рис. 3. Схема триангуляції та параметри шарів ґрунтової основи

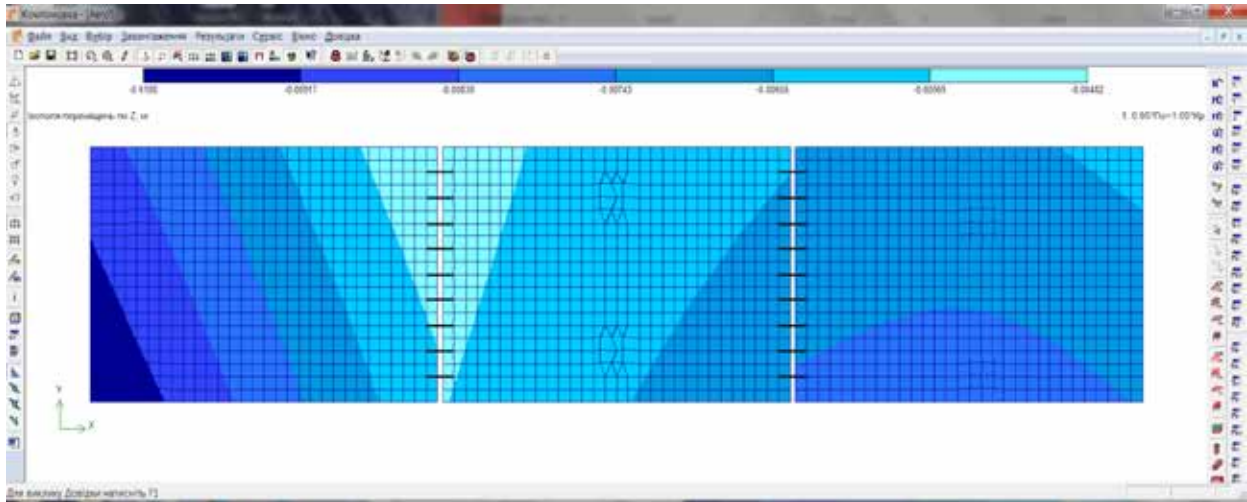


Рис. 4. Ізополя переміщень по осі Z при дії сполучення навантажень РСН-1

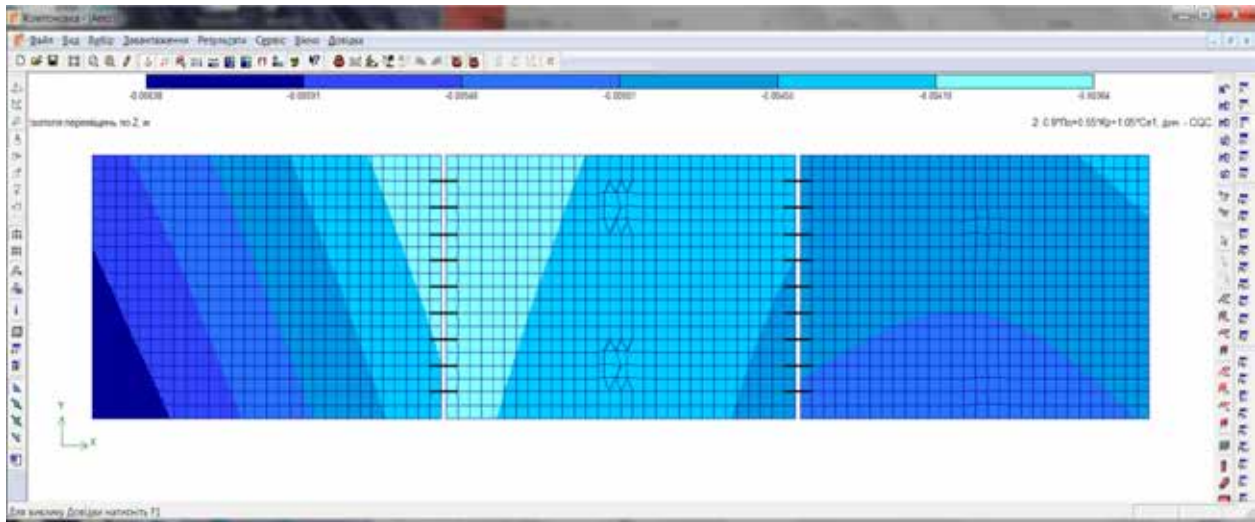


Рис. 5. Ізополя переміщень по осі Z при дії сполучення навантажень РСН-2

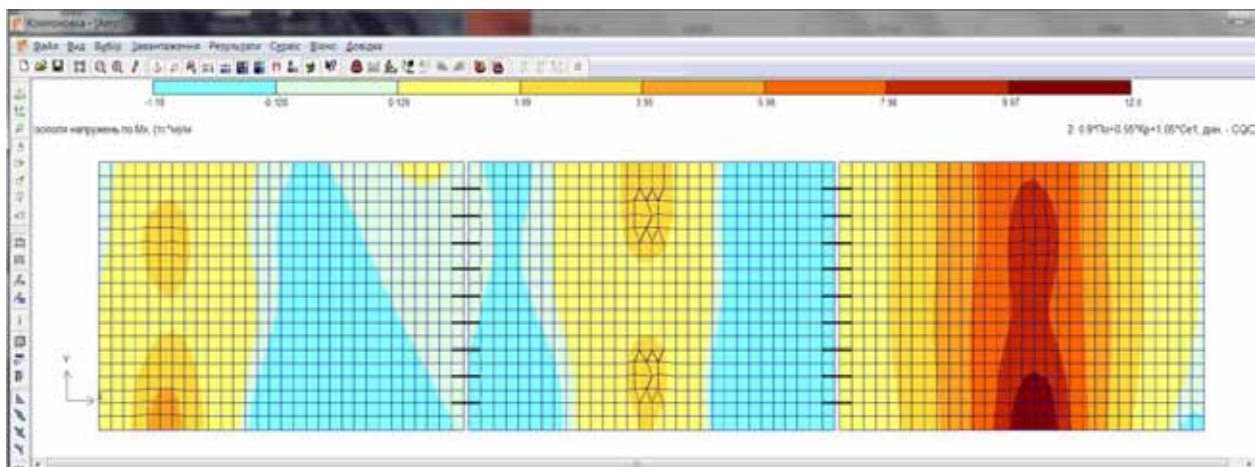


Рис. 6. Ізополя напружень по Mx (тс*м/м)

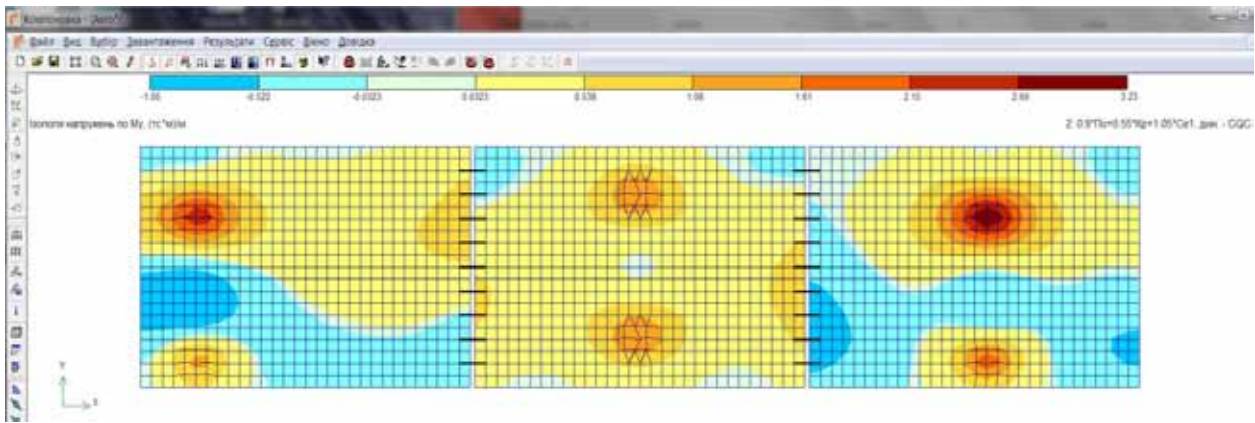


Рис. 7. Ізополя напружень по M_u (тс*м/м)

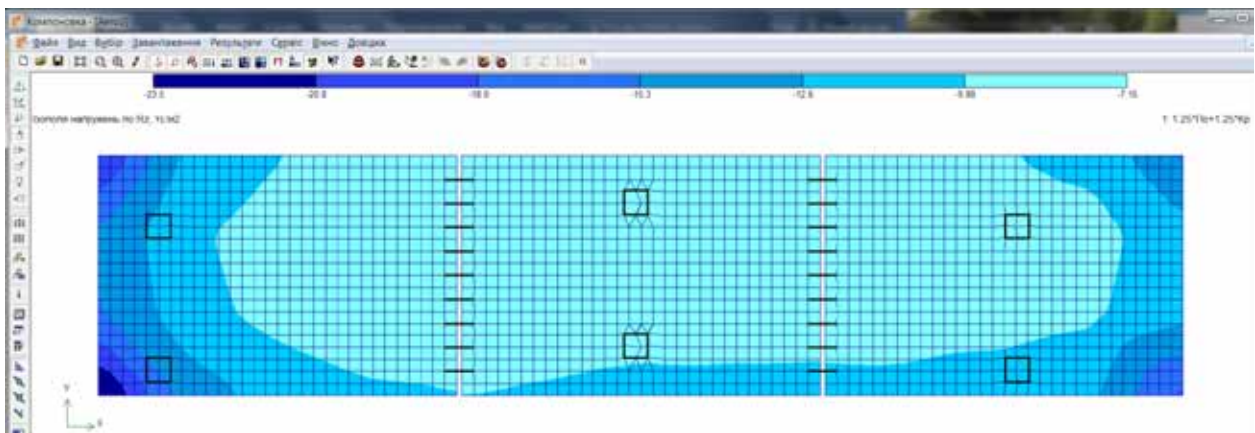


Рис. 8. Ізополя напружень по R_z при дії навантажень РСН-1

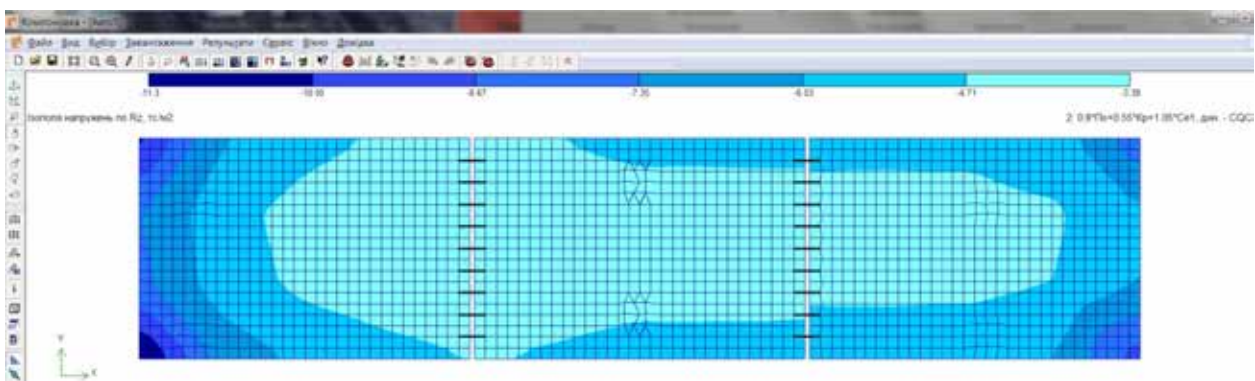


Рис. 9. Ізополя напружень по R_z при дії навантажень РСН-2

– розтягуючі: $\text{Sig} = N/F = 0,148 \sqrt{0,000490874} = 30,15 \text{ тс/м}^2 \approx 3 \text{ МПа} \ll 800/1,5 \text{ МПа} = 533 \text{ МПа}$;

– стискаючі: $\text{Sig} = -N/F = -0,723 \sqrt{0,000490874} = -1472,8 \text{ тс/м}^2 \approx -15 \text{ МПа} < 0,2 * 800 = 16 \text{ МПа}$.

Таким чином, армування деформаційного шва композитною арматурою $\text{Ø}25\text{мм АКС}800$

кроком 500мм забезпечує за розрахунком необхідну надійність за класу наслідків СС3.

Максимальні перерізуючі зусилля при перспективному навантаженні в арматурі швів при діаметрі 22мм будуть при коефіцієнті повноти епюри зсувних напружень $K_{\text{тау}} = 1,2$:

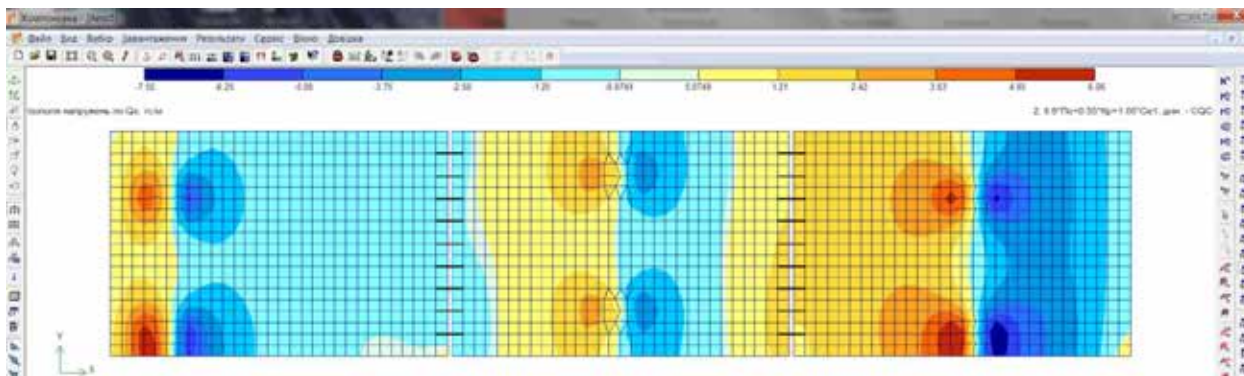


Рис. 10. Ізополя напружень від дії перерізуючих сил Qx

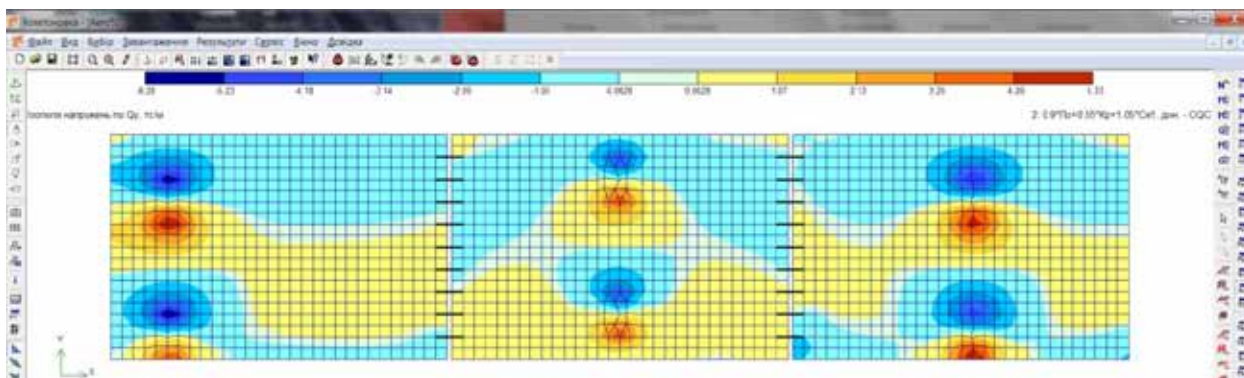


Рис. 11. Ізополя напружень від дії перерізуючих сил Qy

$$Q_{max} = \sqrt{(Q_y^2 + Q_z^2)} = \sqrt{(0,065^2 + 0,72^2)} = 0,723 \text{ тс.}$$

Максимальні напруження від перерізуючих сил будуть менше розрахункових:

$$T_{max} = Q_{max} / (S \cdot K_{tau}) = 0,723 / (\pi \cdot 0,022^2 / 4) / 1,2 = 1902 \text{ тс} / \text{м}^2 = 19,02 \text{ МПа} \ll T_s = 190 / 1,5 \text{ МПа} = 126,7 \text{ МПа (для АКС1000)}.$$

Максимальні напруження в арматурі діаметром Ø22мм деформаційного шва будуть такі:

– розтягуючі: $\sigma = N/F = 8,44 \sqrt{0,000314159} = 26865,4 \text{ тс} / \text{м}^2 = 268,7 \text{ МПа} \ll R_s = 1000 \text{ МПа (для АКС1000)}.$

Таким чином, при проєктних навантаженнях для армування деформаційних швів буде достатньо композитної арматури АКС1000 діаметром 22мм.

У ПК «ЛІРА САПР» для сполучень навантажень РСН-1 і РСН-2 виконано розрахунки армування згідно з прийнятими варіантами для порівняння композитної і сталеві арматури.

Армування плит цементобетонного покриття виконували сітками (зверху й знизу)

з різних матеріалів, згідно з указаними варіантами. Шви стискання та розширення армували дюбелями різних діаметрів і матеріалів.

Результати розрахунку варіантів армування бетону сітками такі:

1. Витрати сталеві арматури А500С на 1м² плити арматура нижня: d 14мм, крок 200x200мм=12,16кг\м² – приймаємо за 100%.

2. Витрати АКС-800 на одну 1м² плити арматура нижня: d 12мм крок 200x200мм=8,93кг\м² – щодо маси сталеві арматури 73,44%;

3. Витрати АКС-1000 на одну 1м² плити арматура нижня: d 10мм крок 150x150мм=8,19кг\м² – щодо маси сталеві арматури 67,35%

Наведені результати підтверджують припущення щодо застосування композитної арматури в жорстких покриттях автомобільних доріг та аеродромі, як альтернативи металеві. Але для цього необхідно вирішити низку досить складних завдань, а саме щодо напружено-деформованого стану елементів різних конструкцій жорстких покриттів авто-

мобільних доріг та аеродромів у широкому спектрі експлуатаційних навантажень:

– визначити вплив динамічних характеристик експлуатаційного навантаження, яке змінюється в часі й пересувається вздовж злітно-посадкової смуги або дороги;

– визначити вплив сезонних і добових коливань температури й вологості повітря;

– визначити наявність і вплив взаємних переміщень верхнього й нижнього шарів бетону при коливаннях температури й вологості;

– визначити вплив жорсткості ґрунтової основи;

– визначити вплив геометрії схем вертикальних і горизонтальних експлуатаційних навантажень;

– визначити вплив геометричних розмірів плит і розташування деформаційних швів;

– виконати експериментальні дослідження залежності характеристик міцності композитної арматури від діаметра (до 36мм);

– виконати експериментальні дослідження характеристик міцності композитної арматури при циклічних навантаженнях.

Висновки. Отже, з урахуванням викладеного вище, можемо резюмувати таке:

1. Отримані результати свідчать, що при класі бетону В35 у разі застосування металевої арматури А500С згідно з [5] при проектному навантаженні достатньо армування плит – нижні сітки d14мм кроком 200мм (7,7см²/пм) по Х, У (варіант 1).

2. При армуванні плит композитною арматурою АКС-800 згідно з [2] у разі проектного навантаження й класу бетону С35 по [6] необхідні нижні сітки d12мм кроком 200мм (5,66см²/пм) по Х, У (варіант 2).

3. При армуванні плит композитною арматурою АКС-1000 згідно з [2] у разі проектного навантаження й класу бетону С35 по [6] необхідні нижні сітки d10мм кроком 150мм (5,5см²/пм) по Х,У (варіант 3).

4. Армування шва між плитами сталевую арматурою А500С діаметром Ø25мм кроком 300мм або Ø25мм АКС800С кроком 500мм при перспективному навантаженні забезпечують за розрахунком необхідну надійність при класі наслідків СС3.

5. Зменшення діаметра до Ø22мм композитної арматури (дюбелів) у швах стискання й розширення можливо за рахунок використання більш міцної АКС-1000 в разі проектного навантаження й класу наслідків СС3.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012. Настанова з проектування та виготовлення бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальто- і склоровінгу. [Чинний від 2013-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2012. 32 с.

2. ДСТУ 9065:2021. Арматура композитна для армування бетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2021-05-01]. Вид. офіц. Київ, 2021. 25 с.

3. ДСТУ ISO 10406-1:2021 (ISO 10406-1:2015) Арматура композитна. Методи випробування. Частина І. Стрижні та решітки. [Чинний від 2021-05-01]. Вид. офіц. Київ, 2021. 36 с.

4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ, 2022. 38 с.

5. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019-08-01]. Вид. офіц. Київ, 2019. 21 с.

6. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ, 2020. 68 с.

References:

1. DSTU-N B V.2.6-185:2012. Nastanova z proektuvannia ta vyhotovlennia betonnykh konstrukttsii z nemetalevoiu kompozytnoiu armaturoiu na osnovi bazalto-i sklorovinhu (2012). [Guidelines for designing and manufacturing concrete structures with non-metallic composite reinforcement based on basalt and glass roving]. [Chynnyi vid 2013-04-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 32 p. [in Ukrainian].

2. DSTU 9065:2021. Armatura kompozytna dlia armuvannia betonnykh konstrukttsii. Zahalni tekhnichni umovy (2021). [Composite reinforcement for reinforcing concrete structures. General technical conditions]. [Chynnyi vid 2021-05-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 25 p. [in Ukrainian].

3. DSTU ISO 10406-1:2021 (ISO 10406-1:2015) Armatura kompozytna. Metody vyprovuvannia. Chastyna I. Stryzhni ta reshitky (2021). [Composite fittings. Test methods. Part I. Rods and lattices]. [Chynnyi vid 2021-05-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 36 p. [in Ukrainian].
4. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. Zi Zminoiu № 1 (2022). [The system for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. With Amendment No. 1]. [Chynnyi vid 2022-09-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 38 p. [in Ukrainian].
5. DSTU 3760:2019. Prokat armaturnyi dlia zalizobetonnykh konstrukttsii. Zahalni tekhnichni umovy (2019). [Rolled reinforcement for reinforced concrete structures. General technical conditions]. [Chynnyi vid 2019-08-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 21 p. [in Ukrainian].
6. DBN V.2.6-98:2009. Konstrukttsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstrukttsii. Osnovni polozhennia. Zi Zminoiu № 1 (2020). [Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. With Change #1]. [Chynnyi vid 2020-06-01] Vyd. ofits. Kyiv – Ed. officer Kyiv. 68 p. [in Ukrainian].