

К. В. МЕДВЕДЕВ (НТУ, Київ), М. Г. МАЛЬГІН (Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ЕСТАКАДИ З УРАХУВАННЯМ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ

У статті проведено порівняльний аналіз розрахункових моделей, використаних при визначенні зусиль для елементів автомобільної естакади. В якості розрахункових моделей були розглянуті криволінійна стрижнева, лінійно стрижнева та об'ємна моделі. Розглянуто випадки просторової роботи конструкції при різних випадках завантаження.

В статье проводится анализ расчетных моделей, использованных при определении усилий для элементов автомобильной эстакады. В качестве расчетных моделей были рассмотрены криволинейная стержневая, линейная стержневая и объемная модели. Рассмотрены случаи пространственной работы конструкции при различных случаях загрузки.

In the article the analysis of design models used for the determination of efforts for elements of an automobile bridge trestle is carried out. The curvilinear rod, linear rod, and volume models are considered as design ones. Cases of spatial work of the structure are considered at different variants of loading.

У статті розглянуто особливості розрахунку і визначення напруженого стану елементів автомобільної естакади, що будується біля нового терміналу в аеропорту Бориспіль. Основні розрахунки по визначенню зусиль, для криволінійних ділянок, проводились на криволінійній стрижневій моделі, а для прямолінійних ділянок була використана прямолінійна стрижнева модель. Розрахунки проводились з використанням програмного комплексу «Ліра 9.4». Для визначення розподілу зусиль по ширині прогнаної будови, в опорних частинах та при визначенні напружень в опорах естакади були використані відповідні об'ємні моделі.

Проект будівництва автомобільної естакади розроблявся в складі проекту «Будівництво термінального комплексу ДМА «Бориспіль».

Загальна довжина естакади зі з'їздами – 1325 м, загальна площа – 18050 м², із них естакадна частина – 985,6 м і 13895 м², пандуси загальною довжиною 339,4 м, 4155 м². План естакади наведено на рис. 1



Рис. 1. План автомобільної естакади термінального комплексу ДМА «Бориспіль»

Конструктивно естакада розбита на наступні елементи:

- пандус в'їзду П I довжиною 122,95 м;

- криволінійна ділянка Д I за схемою $17,3+3 \times 28,8+19,95$ довжиною 123,65 м;
- прямолінійна ділянка Д II за схемою $2 \times 19,95+6 \times 28,8$ довжиною 212,7 м;
- ділянка Д III – зона висадки та посадки пасажирів, схема $7 \times 28,8$ довжиною 201,6 м;
- прямолінійна ділянка Д VI за схемою $6 \times 28,8$ довжиною 172,8 м;
- перехідна ділянка Д IV.1, схема – $17,3+23,0+23,0$ (57,6 м) та $17,3+21,595$ (38,895 м);
- прямолінійна ділянка Д V, схема – $28,8+23,1+19,2+17,3$ довжиною 94,1 м;
- пандус з'їзду П II довжиною 105,95 м;
- криволінійна ділянка Д VI, схема $2 \times 28,8+23,28+18,55$ довжиною 99,43 м;
- пандус з'їзду П III довжиною 110,55 м.

Естакада призначена для під'їзду автотранспорту до будівлі терміналу в рівні 3-го поверху, висадки та посадки пасажирів. Габарит проїзду по естакаді прийнятий згідно завданню на проектування і включає дві смуги руху шириною по 3,75 м та дві смуги безпеки по 0,75 м. Навпроти будівлі терміналу для висадки та посадки пасажирів передбачена смуга руху шириною 3,5 м та тротуар шириною 5,0 м. По обидва боки проїзду передбачені службові проходи шириною 0,75 м. Розрахункова швидкість руху автотранспорту по естакаді – 30 км/год.

Тимчасове навантаження від рухомого складу прийняте у вигляді смугового наванта-

ження від автотранспортних засобів А15, а також колісного важкого поодинокого навантаження НК100 за [1]. Вертикальне рівномірне розподілене навантаження для тротуарів естакади прийняте 1,96 кПа, а для тротуару посадки та висадки пасажирів – 3,92 кПа.

Габарит проїзду Г9 призначений відповідно до технічного завдання – дві смуги руху по 3,75 м, смуга безпеки – 0,75 м. Перед будівлею терміналу смуга зупинки транспорту для посадки та висадки пасажирів – 3,5 м. В кривих розширення смуги руху – 0,7 м. Тротуар має ширину 1,55 м та забезпечує розміщення проходу шириною 0,75 м, напівжорсткої бар’єрної огорожі, перильної огорожі та опор освітлення. Перед терміналом тротуар має ширину 5,0 м для посадки та висадки пасажирів.

Таким чином регулярна ширина прогонової будови 12,1 м – на прямих ділянках, 13,5 м – на кривих, 18,3 м – перед будівлею терміналу.

Регулярна довжина прогонів прийнята відповідно до кроку колон терміналу – 28,8 м. Конструкція прогонової будови – залізобетонна, з каркасним армуванням, монолітна, нерозрізна. Матеріал – важкий бетон класу В35, F200, W6. В поперечному перерізі – суцільна плита з консолями. Поперечний переріз криволінійної частини естакади показаний на рис. 2.

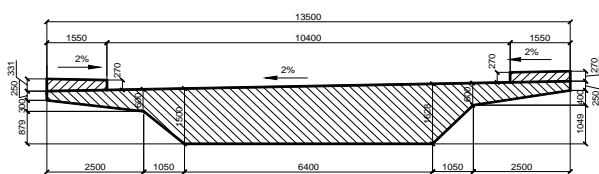


Рис. 2. Поперечний переріз криволінійної частини естакади ділянки ДІ

Естакада має розгалуження і була прив’язана до існуючої дороги, тому з’їзди з естакади для з’єднання з дорогою було запроєктовано криволінійними з малими радіусами (43,16 м та 37,88 м).

Опорні частини прогонових будов – сферичного типу. Деформаційні шви – модульні.

Для визначення згинальних моментів M , поперечних сил Q та опорних реакцій R в прогонових будовах в ПК «Ліра 9.4», була змодельована стрижньова модель нерозрізної прогонової будови. Стрижньова модель була описана універсальними просторовими стрижнями, в перетинах яких діють внутрішні зусилля: нормальна сила N , згинальний момент M_y , крутильний момент M_k і поперечна сила Q . Значення жорсткостей для стрижнів були отримані з розрахунку геометричних характеристик по-

перечного перерізу і задавалась чисельно-параметрично.

Визначення основних зусиль в елементах прогонової будови криволінійної та прямолінійної частин проводилось для стрижневої розрахункової моделі. Обґрунтування вибору такої моделі базувалась на тому, що така модель відповідає обрисам реальної конструкції, отже доцільно було прийняти саме криволінійну стрижневу модель для криволінійної частини естакади і прямолінійну для прямолінійної частини. Крім того, стрижнева система, як розрахункова модель, має достатню точність при визначенні зусиль в балкових елементах, а отримані результати можуть бути легко перевірені за допомогою інших програмних комплексів і навіть приблизних розрахунків [2, 3].

Окремо визначалися зусилля в елементах естакади від дії постійного і тимчасового навантажень. Постійне навантаження від власної ваги прогонової будови прикладались до нерозрізної схеми, зважаючи на технологію спорудження естакади. Зусилля визначалися для певних перерізів, для цього кожний прогін було поділено на шість ділянок рівної довжини. Характер епюри моментів від власної ваги, розрахований для криволінійної стрижневої системи, отриманий з використанням ПК «Ліра 9.4» [4], наведено на рис. 3.

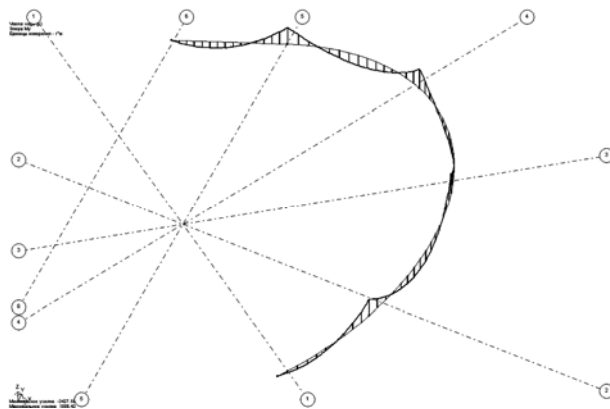


Рис. 3. Епюра моментів від дії власної ваги для заданої розрахункової схеми криволінійної ділянки ДІ

Для знаходження максимальних і мінімальних значень зусиль у характерних перерізах прогонової будови сумарне тимчасове навантаження з усіх смуг руху прикладалося до моделі по осі елемента у відповідності до конфігурації лінії впливу зусиль. Так на рис. 4 представлено схему завантаження тимчасовим навантаженням для отримання максимальної поперечної сили на опорі 1 криволінійної естакади ділянки ДІ.

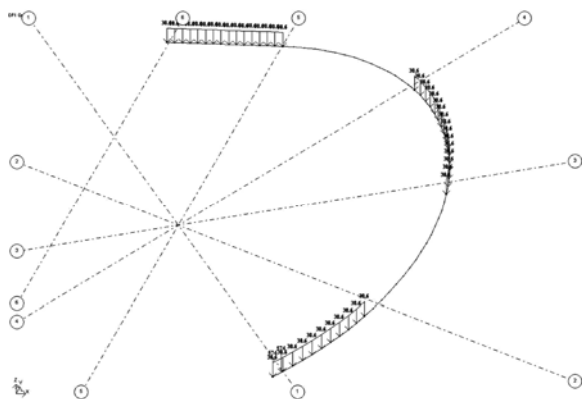


Рис. 4. Схема завантаження тимчасовим навантаженням в програмному комплексі «Ліра» для отримання максимальної поперечної сили на опорі 1 криволінійної естакади

Таким чином були визначені розрахункові та нормативні зусилля у заданих перерізах, а також знайдені мінімальні і максимальні зусилля згинальних моментів M , поперечних сил Q та опорних реакцій R .

Для перевірки правильності отриманих результатів і підтвердження відповідності прийнятої розрахункової моделі, були виконані розрахунки із залученням ПК Midas Civil Trial. Ця програма призначена для чисельного аналізу перш за все мостових споруд методом скінчених елементів. Розрахункова схема, тип поперечного перерізу, кількість скінчених елементів в прогоні, тип і принципи завантаження тимчасовим навантаженням задавалися, як і в ПК «Ліра» (див. рис. 5).

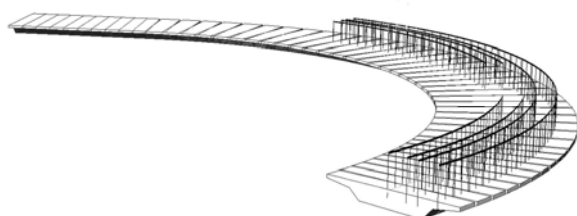


Рис. 5. Схема завантаження тимчасовим навантаженням в ПК Midas Civil Trial

Крім того, було проведено розрахунки із залученням прямолинійної моделі з такою ж самою розрахунковою схемою: розрахункові прогони відповідали довжині розрахункових прогонів криволінійної моделі по осі естакади. В результаті порівняння результатів, отриманих з використанням програмних комплексів «Ліра 9.4», Midas Civil Trial та прямолинійної моделі, можна зробити висновок, що розбіжність результатів, отриманих за допомогою програмних комплексів, не перевищує 3 %, що видно з табл. 1.

Розрахунковий згинальний момент в перерізі середини 4-го прогону криволінійної ділянки Д I

	ПК «Ліра 9.4»	ПК Midas Civil Trial	Прямолинійна модель
Максимальний, кНм	24541,61	24637,90	24637,43
Мінімальний, кНм	15707,63	16116,80	16186,23

Порівняння результатів дало змогу впевнитись в правильності отриманих результатів, а також в правильності прийнятої розрахункової схеми у вигляді криволінійної стрижневої системи для криволінійних ділянок.

Особливістю роботи криволінійної естакади є та, що в поперечному перерізі зусилля будуть змінюватися по ширині прогонової будови, не тільки в наслідок прикладання тимчасового навантаження з ексцентриситетом, але і внаслідок зміни довжини розрахункового прогону для внутрішньої частини і зовнішньої частини перерізу на криволінійних ділянках. Характер зміни цих зусиль по ширині балки необхідно знати для належного армування прогонів. Для цього була досліджена об'ємна модель прогонової будови естакади при різних варіантах завантаження тимчасовим навантаженням (рис. 6).

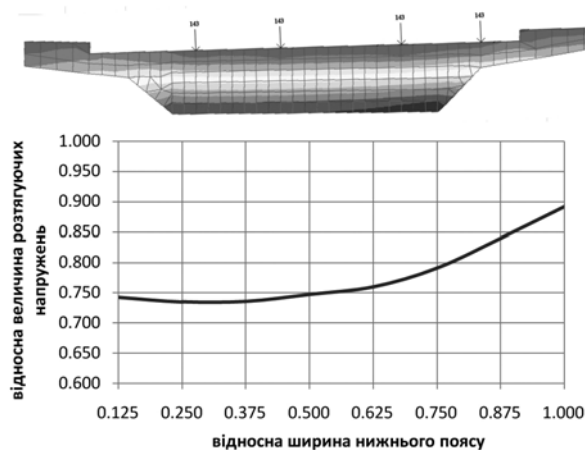


Рис. 6. Схема розподілу (у відносних величинах) напружень розтягу по ширині нижнього поясу криволінійної частини естакади (експлуатаційний випадок)

На рис. 6. показано ізополі напружень розтягу та графік зміни цих напружень по ширині нижнього поясу, у відносних величинах (віднесених до максимального значення), криволінійної естакади від дії тимчасового навантаження для середини розрахункового прогону 28,8 м.

Для того ж перерізу на рис. 7 зображено ізополя напружень розтягу та графік зміни напружень по ширині нижнього поясу від дії тимчасового навантаження при ремонтному варіанті завантаження.

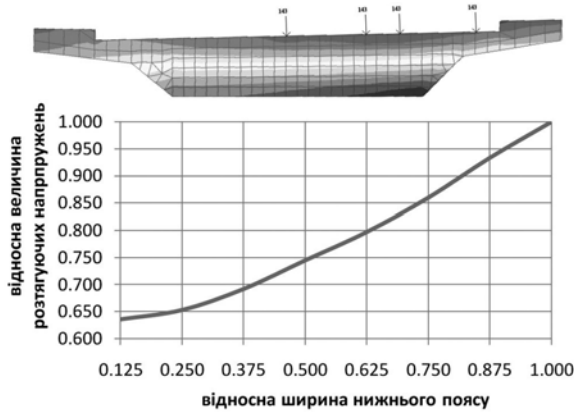


Рис. 7. Схема розподілу (у відносних величинах) напруження розтягу по ширині нижнього поясу криволінійної частини естакади (ремонтний випадок)

Розрахунки об'ємної моделі дали можливість проаналізувати просторову роботу конструкції при різних випадках завантаження.

При визначенні зусиль в елементах прогонової будови ділянки Д III – зони висадки та посадки пасажирів з розрахунковою схемою $7 \times 28,8$ повною довжиною 201,6 м була використана прямолінійна стрижнева модель. Максимальні зусилля: згинальні моменти M , поперечні сили Q та опорні реакції R в елементах прогонової будови були визначені і вони виникали при експлуатаційному випадку завантаження, як показано на рис. 8.

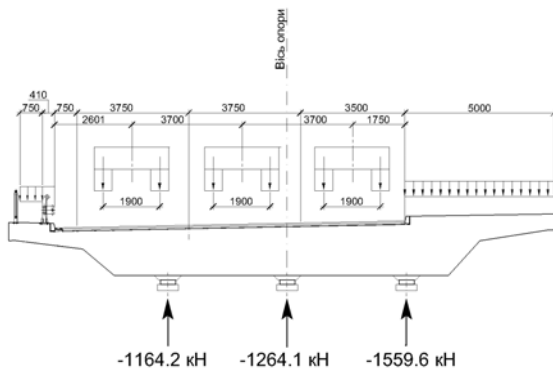


Рис. 8. Схема завантаження тимчасовим навантаженням естакадної частини, що примикає до терміналу (експлуатаційний випадок)

В поперечному перерізі цієї частини естакади знаходиться три опорні частини і для визначення відповідних опорних реакцій в поперек було проведено просторовий розрахунок ділянки Д III. В результаті якого було виявлено, що найбільша опорна реакція виникає в крайній

опорній частині при ремонтному завантаженні тимчасовим навантаженням АК. Що видно з порівняння рис. 8, 9 (на рисунках наведені величини реакцій тільки від дії тимчасового навантаження).

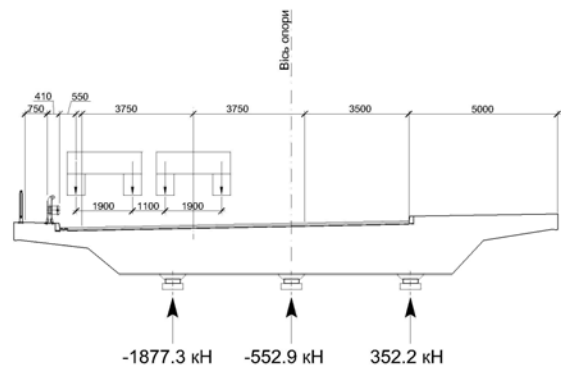


Рис. 9. Схема завантаження тимчасовим навантаженням естакадної частини, що примикає до терміналу (ремонтний випадок)

Була проведена робота також по аналізу просторової роботи проміжних опор ділянки Д III. Для цього за ескізними розмірами була створена і розрахована просторова модель опори. Опора являє собою масивну залізобетонну конструкцію, тому моделювання було зроблено з використанням універсальних ізопараметричних скінченних елементів. Використання таких елементів дозволило врахувати місцеві напруження. На рис. 10 наведено ізополя нормальних напружень N_z , що діють вздовж осі OZ .

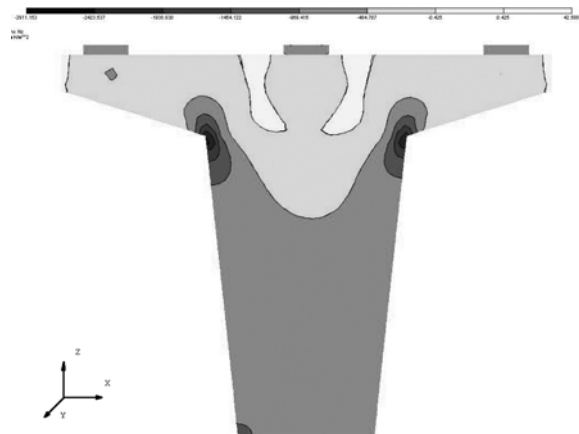


Рис. 10. Ізополя нормальних напружень N_z в проміжній опорі прямолінійної ділянки Д III

На рис. 11 наведено ізополя нормальних напружень N_x , що діють вздовж осі OX . Розрахунки з використанням об'ємної моделі дали змогу уточнити окремі опалубні розміри ригеля та опори, виявити найбільш напружені ділянки, а також прийняти армування конструкції опори відповідне до зусиль, що діють в перерізах.

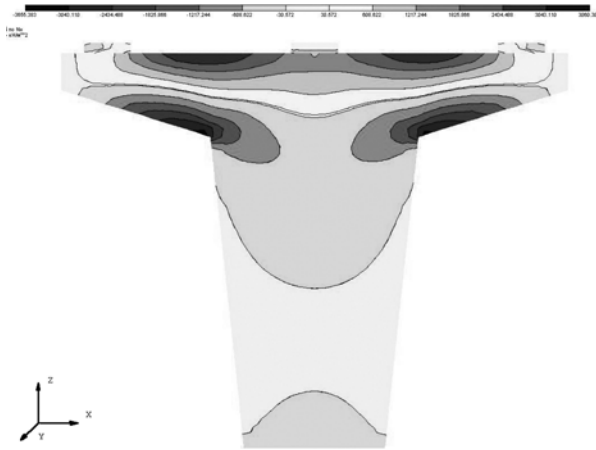


Рис. 11. Ізополя нормальних напружень N_x в проміжній опорі прямолінійної ділянки Д III

На рис. 12 наведено ізополя нормальних напружень N_x , що діють вздовж осі OX для консольної частини ригеля.

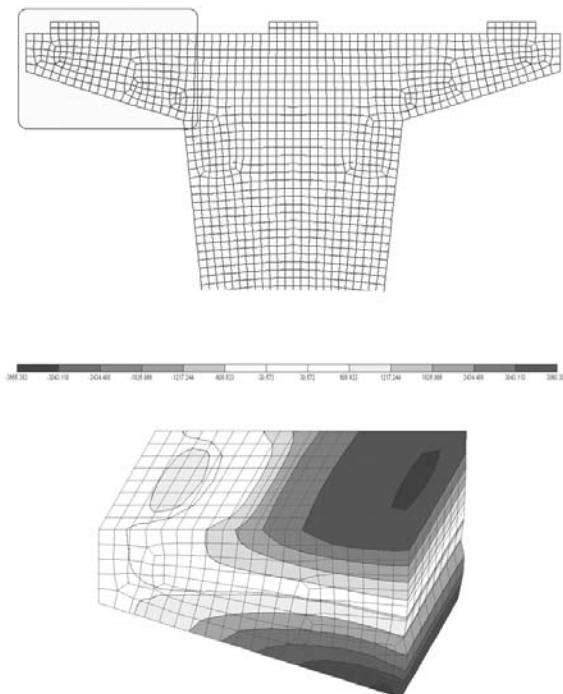


Рис. 12. Ізополя нормальних напружень N_x в консольній ділянці проміжної опори прямолінійної ділянки Д III

В наведеній статті, присвяченій розгляду скінченно-елементної моделі прогонової будови, за основу прийнята стрижнева модель, яка реалізована в двох схемах – криволінійній та прямолінійній для криволінійних ділянок естакади, а також проаналізована доцільність використання таких моделей. Крім цього, паралельні розрахунки в двох, різних за ідеологією програмних комплексах дали можливість обґрунтувати вибір моделі і виконати достовірний чисельний аналіз зусиль, що виникають в елементах естакади та опор.

Аналіз просторової роботи конструкції при різних випадках завантаження дав змогу визначити зусилля, що діють по ширині прогонової будови.

Використання об'ємної моделі при розрахунку проміжних опор допоміг в прийнятті рішення по уточненню опалубних розмірів опор і у виявленні ділянок з значними напруженнями.

Рациональне використання стрижневих та об'ємних моделей, а також їх поєднання дало змогу правильно оцінити знайдені зусилля і призначити оптимальні розміри окремих перерізів елементів конструкції.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Введ. 2006-06-05. – К.: Мін. буд-ва, архітект. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
2. Розрахунки і проектування мостів [Текст] : т. 1 /О. Загора та ін. – К.: НТУ, 2007. – 236 с.
3. Лившиц, Я. Д. Примеры расчета железобетонных мостов [Текст] / Я. Д. Лившиц, М. М. Онищенко, А. А. Шкуратовский. – К.: Вища шк., 1986. – 263 с.
4. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций [Текст] / Ю. В. Верюжский и др. – К., 2006. – 803 с.

Надійшла до редколегії 12.04.2010.

Прийнята до друку 15.04.2010.