

ЗБІРНО-МОНОЛІТНІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ КОРОБЧАТОЇ ФОРМИ ДЛЯ СКЛАДНИХ УМОВ БУДІВНИЦТВА

Гнідець Б.Г.

Національний університет "Львівська політехніка"

Вирішення проблем автомобільного і міського транспорту в сучасних умовах в зв'язку з ростом інтенсивності його руху, особливо в приміських зонах, містах і густонаселених місцевостях з врахуванням перспективи пов'язане з необхідністю прискорення темпів будівництва мостів, шляхопроводів і естакад та інших інженерних споруд. З врахуванням існуючої вже забудови, яка склалась раніше в цих місцях, а також в місцевостях із складним рельєфом в передгірських і гірських районах, часто pojawiaються складні умови проектування, в яких це вимагає спеціальних підходів і застосування нових нетипових конструктивно-технологічних вирішень. До таких складних умов можна віднести наступні умови:

1. Складний план споруди з поворотами, обмеженими радіусами кривих в плані, наявністю розгалужень або примикання, з перехідними кривими в плані.
2. Складний профіль споруди з великими похиленнями і радіусами вертикальних кривих, наявністю віражів в поєднанні з горизонтальними кривими.
3. Змінна ширина габаритів проїзду, захисних смуг та тротуарів.
4. Нетипові величини прогонів, які можуть мінятись не у відповідності з прийнятою при проектуванні модульною системою або рекомендованих співвідношень з умов статичного розрахунку.
5. Обмежена конструктивна висота прогонової будови.
6. Підвищені навантаження з врахуванням перспективи розвитку транспорту.
7. Підвищені або змінні підмостові габарити.
8. Підвищені архітектурні вимоги до конструкцій прогонової будови і опор з фасаду і знизу.
9. Складні геологічні і гідрогеологічні умови будівництва.
10. Спеціальні вимоги до водовідведення, гідроізоляції і електроосвітлення.
11. Інші умови, такі як врахування наявності підземних комунікацій, архітектурних пам'яток або необхідність прокладання трубопроводів чи систем зв'язку.
12. Мінімальні терміни зведення споруд з врахуванням вимог несезонності будівництва.

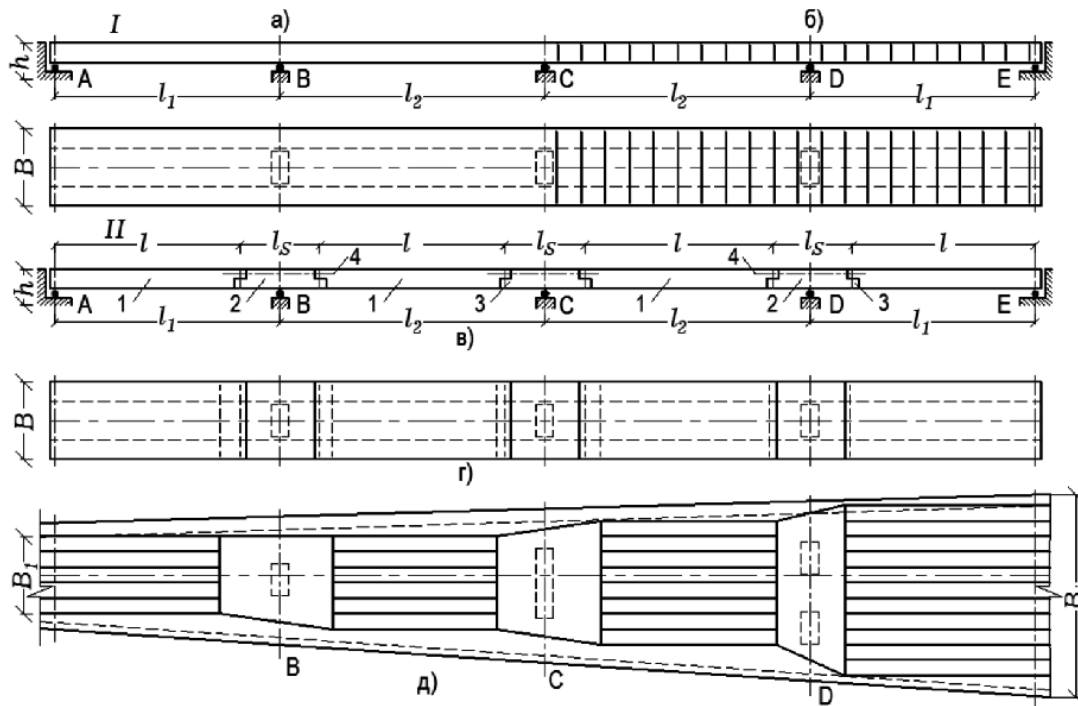
Аналіз відомих збірних типових, а також нетипових індивідуальних конструктивно-технологічних вирішень, в тому числі з монолітного залізобетону, підтверджує низьку їх ефективність, що часом унеможлиблює їх широке застосування в складних умовах будівництва.

Одним з вирішень цієї проблеми може бути перехід до застосування збірно-монолітних нерозрізних конструкцій прогонових будов коробчатої форми. Такі конструктивно-технологічні вирішення були запропоновані і опрацьовані в Національному університеті „Львівська політехніка” [1-9].

Особливості і переваги запропонованих конструктивно-технологічних вирішень впливають з аналізу їх конструктивних схем, поперечних перерізів, схем розміщення елементів прогонової

будови на кривих в плані і вертикальних кривих і порівняння з відомими типовими і нетиповими індивідуальними (рис.1-3).

На рис. 1, а показано конструктивну схему (тип I) нерозрізної коробчатої конструкції прогонової будови на прямолінійних ділянках з монолітного залізобетону, а на рис. 1, б – схему збірної конструкції з типових збірних коробчатих блоків на всю ширину прогонової будови довжиною 2,5-3,0 м.



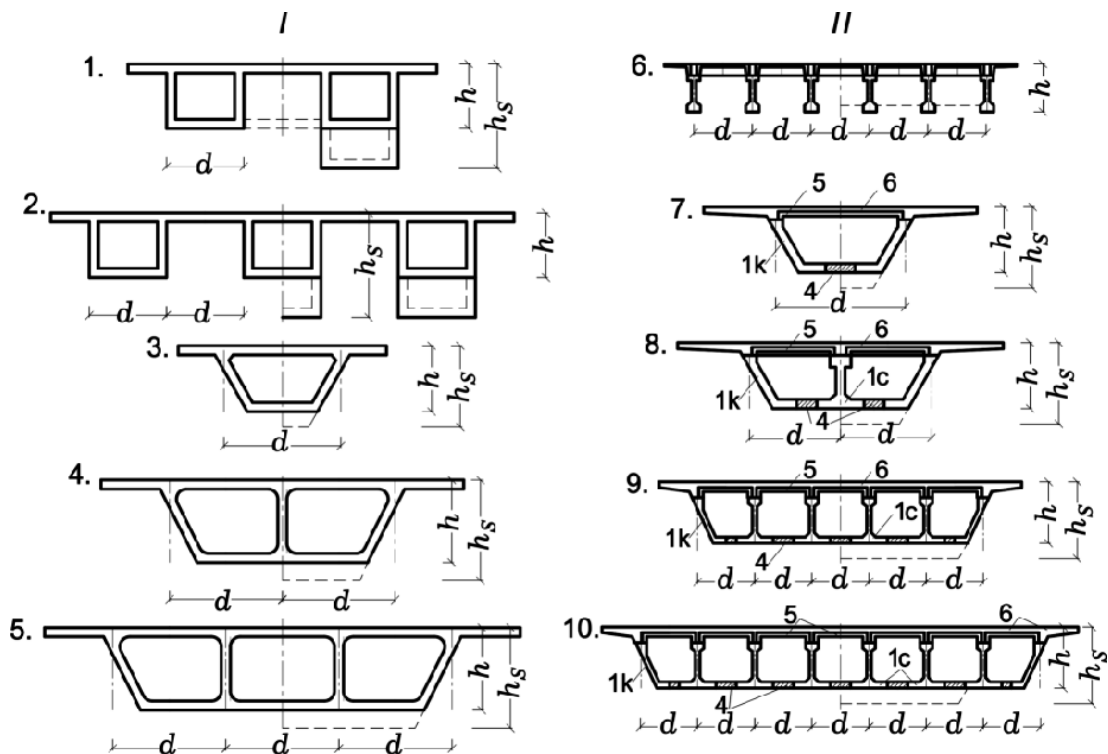
*а – монолітних; б – типових збірних; в – збірно-монолітних;
г – план прогонової будови з постійною шириною; д – план зі змінною шириною.*

Рис. 1. Конструктивні схеми прогонових будов мостів коробчатої форми

В запропонованому конструктивно-технологічному вирішенні із збірно-монолітного залізобетону поділ на збірні елементи по довжині прогонової будови (тип II) проводиться на великорозмірні збірні елементи: прогонові 1 довжиною l і надпорні 2 довжиною l_s (рис. 1, в). Прогонові збірні елементи 1 об'єднуються з надпорними блоками 2 стиками 3, розміщеними по довжині в зонах нульових моментів з допомогою напруженої арматури 4. На відміну від коробчатих конструкцій прогонової будови типу I, запропоновані збірно-монолітні коробчаті конструкції типу II можуть застосовуватись як з постійною шириною B (рис.1, г), так і зі змінною по довжині шириною (рис. 1, д). Ширина габариту може мінатись симетрично або несиметрично до осі моста від B_1 до B_2 . В таких випадках надпорні ділянки прогонової будови довжиною l_s роблять непрямокутної форми в плані з застосуванням монолітного або збірно-монолітного залізобетону.

На рис. 2 показано основні відомі із практики поперечні перерізи коробчатої форми (1-5), які застосовувались для конструктивних схем типу I, і поперечні перерізи запропонованих збірно-монолітних конструкцій (6-10), для конструктивних схем типу II. Особливістю поперечних перерізів коробчатої форми з вертикальними стінками (1-2) і перерізів з похилими стінками (2-5) для конструктивних схем типу I є те, що вони можуть застосовуватись тільки для постійної ширини, складеної з одного, двох або трьох однопустотних, двопустотних або

трипустотних блоків (форм) на всій довжині прогонової будови. При цьому може змінюватись тільки висота перерізів від h в прогонах до h_s на опорах.



I – монолітні і збірні типи; II – збірно-монолітні.

1 і 2 – з вертикальними стінками дво- і трикоробчаті; 3,4,5 – з похилими стінками; 6- збірно-монолітні з двохтавровими балками; 7 – збірно-монолітні однокоробчаті; 8 – збірно-монолітні двокоробчаті; 9 і 10 – збірно-монолітні багатокоробчаті.

Рис. 2. Поперечні перерізи мостів коробчатої форми

В запропонованих збірно-монолітних конструкціях перерізів коробчатої форми (7-10) цей недолік типових поперечних перерізів відсутній. Це стало можливим в результаті застосування нового способу поділу коробчатої конструкції прогонової будови на збірні елементи. Було запропоновано коробчатую конструкцію прогонової будови поділити по довжині на великорозмірні збірні елементи 1 і 2 (рис. 1, в), а в поперечному розрізі по висоті відділити від стінок 1 плиту прогонової будови 3 (рис. 2). При цьому частина коробчатого перерізу, нижча від плити, поділяється по довжині на два види збірних елементів: крайню балку кутникового типу 1к в однокоробчатих конструкціях (7) і середні двотаврові балки типу 1с в двокоробчатих і багатокоробчатих конструкціях (8-10). Крайні балки кутникового типу 1к і середні двотаврові балки 1с з'єднуються по довжині нижньої плити стиками 4 з замонолічуванням випусків арматури. Ширина цих стиків з метою збільшення ширини коробчатого перерізу або для зменшення ваги збірних елементів може бути змінною.

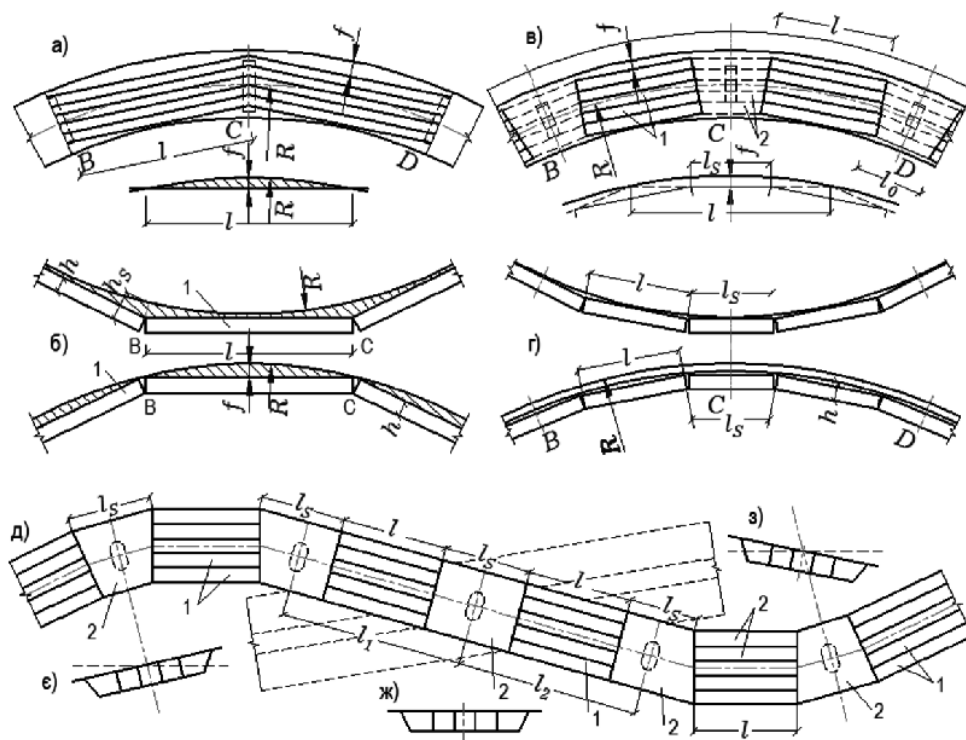
Плита проїзної частини 3 в таких збірно-монолітних коробчатих конструкціях прогонових будов мостів може виконуватись монолітною або збірно-монолітною з застосуванням ребристих плит 5 з їх домонолічуванням бетоном 6. Плита проїзної частини об'єднується з балками 1к і 1с стиками з випусками арматури подібно як в збірно-монолітних балкових мостах [7].

Запропонований спосіб поділу коробчатих конструкцій прогонових будов мостів на великорозмірні збірні елементи створює умови для їх виготовлення за технологією з натягом

арматури на упори в заводських умовах, а для монтажу застосовувати різні методи з використанням для їх з'єднання провірених практикою і надійних стиків зі звичайною або попередньо напруженою арматурою. Напружена арматура може розміщатись у відкритих каналах, в бетоні замонолічування або ззовні без зчеплення з бетоном.

Однією з переваг запропонованих збірно-монолітних коробчатих конструкцій прогонових будов мостів в порівнянні з типовими є те, що при прогонах 24-42 м їх можна застосовувати для обмеженої висоти, робити непрохідними (тип II). Типові збірні коробчаті конструкції, а також індивідуальні монолітні (типу I) проектують переважно прохідними висотою більшою від 2,1 м, і тому їх застосування при прольотах 24-42 м є малоефективним.

Найважливішою з переваг запропонованих збірно-монолітних коробчатих конструкцій прогонових будов мостів є можливість їх ефективного застосування при малих радіусах горизонтальних і вертикальних кривих, а також при наявності віражів і перехідних кривих. Саме такі конструкції необхідні для проектування транспортних розв'язок і мостів в складних умовах будівництва. Застосування типових конструкцій при малих радіусах закруглень на горизонтальних кривих може обмежуватися величиною прольотів. Як видно із схеми на рис. 3, величина прольоту l залежить від стрілки хорди f , яка повинна знаходитись в межах тротуарної консолі. Звідси випливає, що збільшувати прольоти прогонової будови можна за рахунок лише зміщення перелому осі з опори в прольоти, де розміщено стики балок 1 і 2 (рис. 1, в), як показано на схемі (рис. 3, в). При цьому стрілка хорди f буде значно зменшуватись, а прольоти – збільшатись.



а – з переломом осі прогонової будови на опорах B, C, D; б – на вертикальних вгнутих і опуклих кривих; в – з переломом осі прогонової будови в прольотах в місцях стиків балок 1 і 2; г – на вертикальних вгнутих і опуклих кривих з переломами осі прогонової будови в прольотах в місцях стиків балок; д – схема перетину естакади з дорогою під гострим кутом на кривих ділянках з віражами (е і з) і перехідними кривими від е до ж і від ж до з.

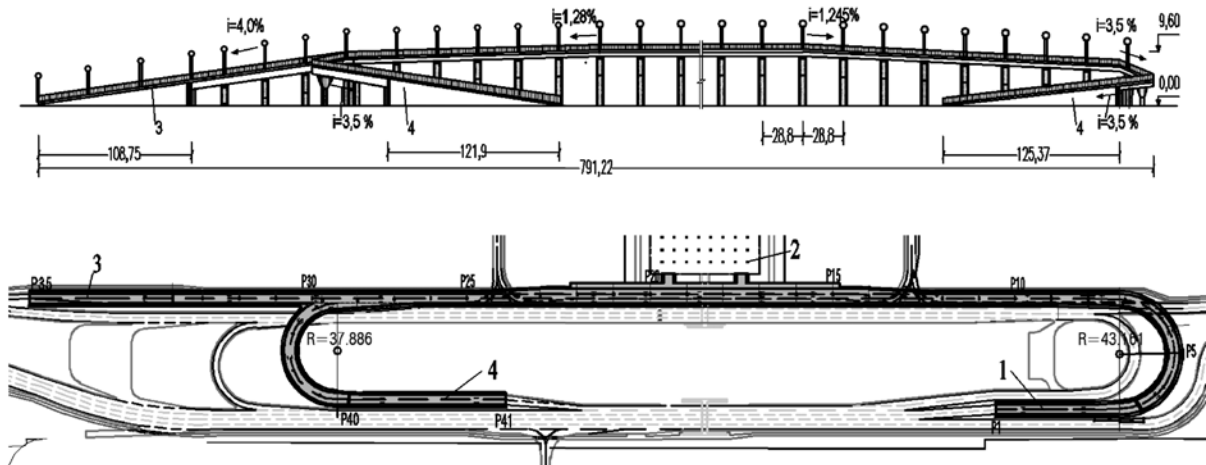
Рис. 3. Конструктивні схеми прогонових будов на кривих

Подібно як при горизонтальних кривих, при малих радіусах вертикальних кривих стрілки хорди f можуть впливати на величину прольотів l з умови обмеження товщини покриття на опорах моста при вгнутих кривих або в прольотах – при опуклих (рис. 3, б). Для зменшення стрілки хорди f вертикальних кривих і відповідно товщини покриття при малих радіусах доцільно місця переломів прогонової будови розміщати в стиках збірних балок 1 з надопорними ділянками 2, як це показано на схемі (рис. 3, г).

Одночасно при застосуванні таких збірно-монолітних коробчатих конструкцій в межах надопорних ділянок можуть влаштовуватись віражі і розміщатись перехідні криві, як це показано на схемі (рис. 3 д, е, з), перетину естакади з дорогою під гострим кутом.

З використанням запропонованого збірно-монолітного конструктивного вирішення прогонових будов мостів в Національному університеті „Львівська політехніка” був розроблений і замовником реалізується проект автомобільної естакади для нового терміналу державного міжнародного аеропорту „Бориспіль” в Києві в складних умовах транспортного вузла.

При заїзді з існуючої дороги інтенсивного руху на естакаду було передбачено один заїзд на кривій в плані і два з'їзди, один з яких проходить естакадою прямо в зворотньому напрямі від терміналу, а другий з'їзд також на кривій веде з естакади на автомобільну стоянку. Криволінійні з'їзди при малих радіусах близько 40 м в місцях їх приєднання до прямолінійної ділянки естакади проходять над 3 смугами автомобільної дороги з інтенсивним автомобільним рухом. Заїзд на естакаду і з'їзди здійснюються по рампах, насипи яких огорожено підпірними стінами (рис. 1)/



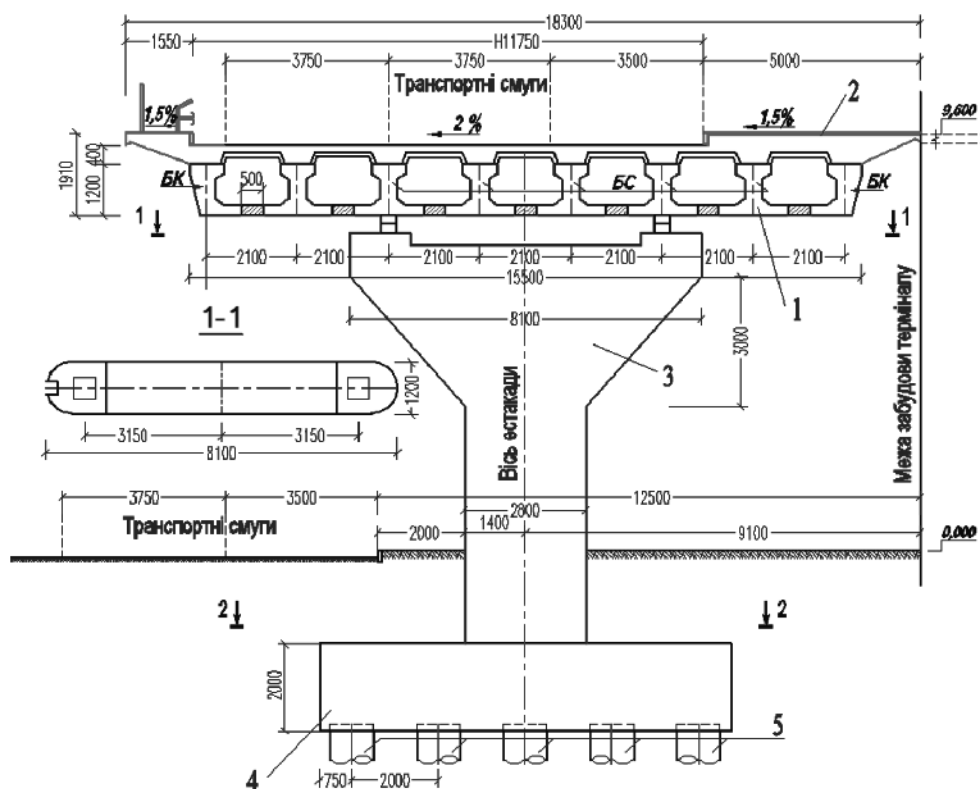
1 – в'їзд на естакаду; 2 – термінал; 3 – прямий з'їзд; 4 – з'їзд на автостоянку.

Рис. 4. Фасад і план естакади

На естакаді передбачено дві проїзні смуги шириною по 3,75 м. В межах горизонтальної ділянки напроти терміналу ширина проїзної частини збільшена додатковою смугою для стоянки автотранспорту шириною 3,5 м і перону шириною 5,0 м для розвантаження пасажирів. Загальна ширина естакади на окремих ділянках змінюється з врахуванням збільшення її на кривих з віражами і на перехідних кривих та поступовим збільшенням її ширини від найменшої, рівної 12,1 м, до найбільшої напроти терміналу – 18,3 м.

Складність умов проектування естакади визначилось не тільки постійною зміною ширини прогонової будови, а також додатковими вимогами обмеження її конструктивної висоти до 1,6 м і підвищеними архітектурними вимогами. Крім цього, були задані величини прогонів по 28,8 м, а на криволінійних ділянках підмостові габарити по ширині вимагали їх збільшення

до 33,0 м, і по висоті згідно з новими нормами до 5,5 м. У відповідності із врахуванням цих складних умов прогонова будова естакади була запроєктована як багато-прогонова збірно-монолітна нерозрізна конструкція з порожнинами коробчатої форми, розділена по довжині деформаційними швами на окремі ділянки. Конструкції прогонів естакади довжиною 28,8 і 33,0 м запроєктовано в надопорній частині в вигляді монолітних залізобетонних двотаврових балок з плитою знизу, а в середній частині із збірних залізобетонних двотаврових балок двох типів: крайніх балок БК-18 і середніх БС-18 довжиною 18,0 м. Віддалі між балками прийняті рівним 2,1 м (рис. 2). Збірні балки БС-18 і БК-18 об'єднуються з монолітними балками надопорної частини прогонової будови в нерозрізні конструкції із застосуванням попередньо напруженої арматури при монтажі. До натягу арматури на верхніх полицях збірних і монолітних балок встановлюються збірні залізобетонні ребристі плити, які приварюються до закладних деталей балок, і разом з монолітною частиною плити проїзної частини після бетонувань створюють коробчату конструкцію прогонової будови естакади. Для забезпечення суцільності і жорсткості збірної монолітної конструкції прогонової будови коробчатої форми із збірних залізобетонних і монолітних балок, а також з ребристих плит передбачено випуски арматури в монолітну частину плити проїзної частини і стиків [1-5].



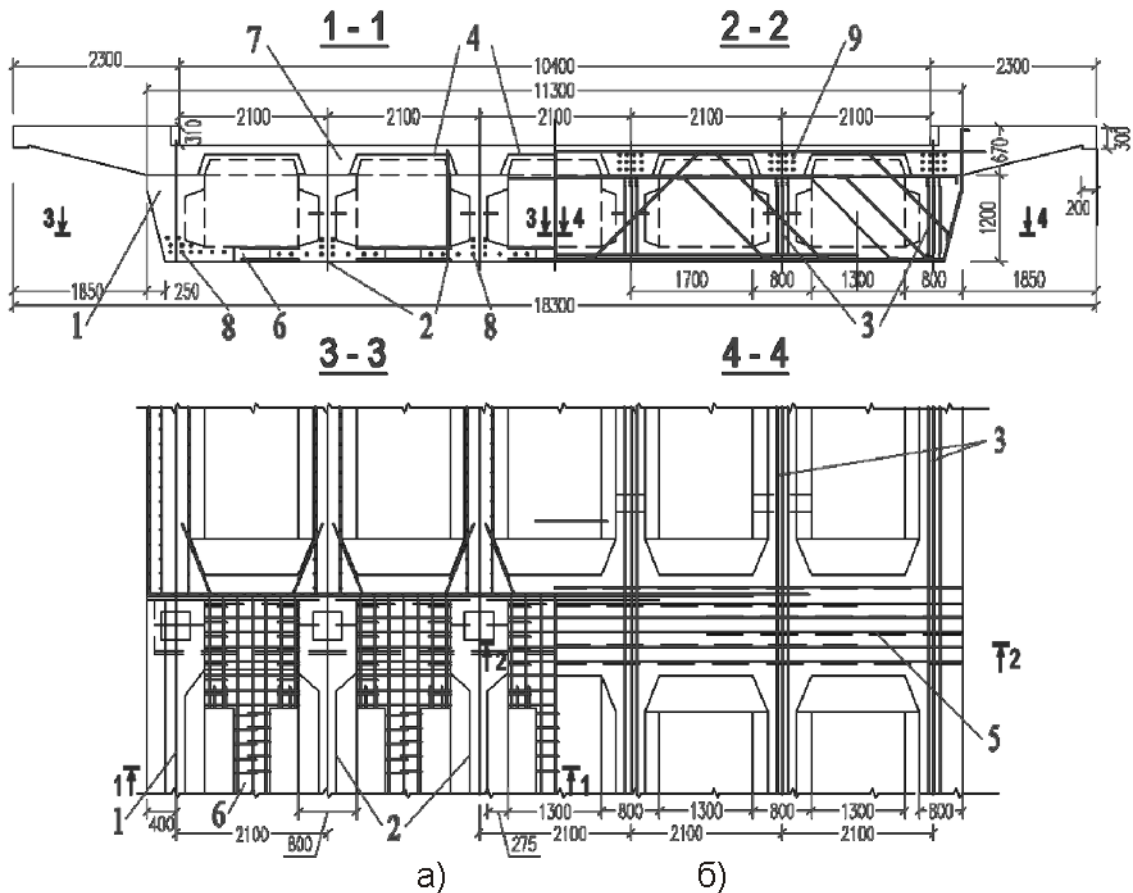
1 – прогонова будова коробчатої форми; 2 – перон; 3 – одностовпчата опора;
4 – ростверк; 5 – буронабивні палі діаметром 1,0 м

Рис. 5. Поперечний переріз естакади в межах терміналу

Збірні балки БС-18 і БК-18 для прогонової будови естакади передбачається виготовляти з бетону класу В40 на заводах за стендовою технологією з натягом напруженої робочої арматури на упори стендів або силових форм. Напружена арматура збірних балок може бути виготовлена із пучків, з застосуванням високоміцного дроту діаметром 5 мм класу ВІІ, К-7, або з окремих стержнів класів АІV і АV. Попередньо напружена арматура застосовується також при монтажі прогонової будови естакади для об'єднання збірних балок БС-18 і БК-18

з монолітними надпорними балками в збірно-монолітну багатопрогонову нерозрізну конструкцію. Конструктивним вирішенням передбачено, що вся надпорна напружувана арматура розташовується рядами між ребрами збірних плит (Рис.6) і проходить по всій довжині над монолітними та частково над збірними балками, обтискуючи їх в стиках, шви між якими заповнено бетоном при замонолічуванні діафрагми збірних балок.

Анкерування напружуваної надпорної арматури здійснюється на упорах, передбачених в збірних і монолітних балках, конструкція яких може залежати від виду напружуваної арматури і методу її натягу. Для пучків і канатів з високоміцного дроту класу ВІІ рекомендується застосовувати силовий метод натягу з допомогою гідродомкратів, а для стержневої арматури класів АІV і АV може бути застосований електротермічний метод [5].



*а — план і переріз в межах монтажного стика; б — план і переріз на опорі;
 1 – крайня збірна балка БК-18; 2 – середні збірні балки БС-18; 3 – монолітні балки;
 4 – ребристі плити; 5 – ригіль в монолітній надпорній частині прогонової будови; 6 – стики
 нижньої плити збірних балок; 7 – монолітна плита проїзної частини; 8 – робоча напружувана
 арматура збірних балок в прогонах; 9 – надпорна напружувана арматура.*

Рис. 6. Фрагмент плану і перерізів прогонової будови

На криволінійних ділянках прогонової будови естакади використовується також і нижня попередньо напружувана арматура, яка розташовується в бетоні замонолічування стиків нижньої плити коробчатого перетину між збірними балками. Після натягу нижня напружувана арматура з'єднується з допомогою анкерів із випусками арматури монолітних ділянок. Перед замонолічуванням стиків плити між збірними балками випуски напружуваної арматури

з нижньої плити з'єднуються з випусками арматури з монолітних балок. Натяг верхньої напруженої арматури передбачено проводити після монтажу збірних ребристих плит. На криволінійних ділянках прогонової будови верхня напружена арматура із пучків або канатів натягується з відгинами в плані в місцях горизонтальних девіаторів, закладених в стиках збірних і монолітних балок. Стержнева напружена арматура на цих ділянках виконується з застосуванням в місцях відгинів спеціальних монтажних стиків.

Характерною особливістю запроєктованої прогонової будови естакади є її обмежена до 1,6 м висота поперечного перерізу, що робить її непрохідною. По довжині прогонова будова поділена на дев'ять ділянок деформаційними швами, які розташовуються в основному у прогонах у місцях монтажних швів, зміни габаритів і примикання криволінійних ділянок до прямолінійних.

В проекті автомобільної естакади передбачено 40 опор прогонової будови, більшість з яких відповідно до величини прогонів розташована з кроком 28,8 м, і тільки в одному прогоні на віддалі 33,0 м, а в крайніх прогонах на в'їзді і двох з'їздах вони зменшені до величини 23,4 м.

Проміжні опори естакади монолітні – одностовпчаті і розташовані по довжині з кроком 28,8 і 33 м., крайні опори запроєктовано аналогічно береговим опорам мостів. Проміжні опори запроєктовано двох типів в залежності від ширини прогонової будови і мають у верхній частині двоконсольну постійну конічну форму висотою 4,0 м, а нижню прямокутну з заокругленням на кінцях відповідно 1,2x2,2 м і 1,2x2,8 м в перерізі, висота якої змінюється в залежності від поздовжнього нахилу естакади. Опори виконуються із бетону класу В30 і армовані арматурою класу АІІ (Рис. 2).

Фундаменти опор естакади запроєктовано з врахуванням гідрогеологічних умов території будівництва, які можна також віднести як і для прогонової будови до складних умов. На території будівництва естакади на глибину до 4,2 м з поверхні землі залягають лесоподібні суглинки, які відносяться до просідних ґрунтів 1-го типу просадки. Основою для фундаментів опор естакади прийнято щільні дрібні піски з прошарками пілуватих пісків.

Особливості конструктивного вирішення прогонової будови естакади в цілому і окремих елементів, їх стиків, а також технології монтажу в різних стадіях з врахуванням застосування прийнятих методів розрахунку вимагало проведення спеціальних експериментальних досліджень. З цією метою було розроблено програму випробування дослідних елементів прогонової будови естакади. Для проведення випробувань одного з найбільш важливих елементів прогонової будови було запроєктовано, виготовлено і випробувано дослідну конструкцію в масштабі 1:2 в вигляді балки монолітної ділянки довжиною 5,7 м і двох частин збірних балок довжиною 3,0 м. Для проведення випробувань дослідної конструкції в стадії монтажу і моделювання передачі на її консолі навантажень від збірних балок естакади був запроєктований і змонтований спеціальний випробувальний стенд. Загальний вид випробувань дослідної конструкції на стенді показано на рис. 7.

Навантаження конструкції зосередженою силою на консолі проводилось ступенями до появи тріщини на опорі і її розкриття до 0,2 мм. На другому етапі проведення випробувань був проведений натяг напруженої надпорної арматури, в результаті якого величина прогину консолі, яка складала при завантаженні 14,8 мм, зменшилось до 50%, а тріщина закрилась повністю.

Для проведення випробувань елементів прогонової будови на кривій була розроблена дослідна конструкція в масштабі 1:2. Загальний вигляд дослідної конструкції прогонової будови естакади на кривій показано на рис. 8.



Рис. 7. Загальний вигляд досліджуваної конструкції балки монолітної ділянки, підготовленої до випробувань на стенді



Рис. 8. Загальний вигляд дослідної конструкції прогонової будови естакади на кривій на випробувальному стенді

Дослідна конструкція естакади на кривій складається із збірної двотаврової балки БС-4,6 довжиною 4,6 м і двох двотаврових балок монолітних надпорних ділянок довжиною по 3 м.

Збірні балки в стадії монтажу вільно обпираються на консолі балок монолітних надпорних ділянок, а після натягу надпорної арматури і замонолічування із збірними плитами проїзної частини жорстко з'єднуються в стиках.

Армування дослідної конструкції запроектовано по аналогії з армуванням збірних балок і балок монолітних надпорних ділянок натурних розмірів прогонової будови естакади на кривій. Напружувана арматура стиків була прийнята із стержнів $\varnothing 16$ класу А500С. В збірній балці напружувана арматура розташована також в нижній полиці двотаврової балки в кількості 2 шт., яка після натягу з'єднується за допомогою анкерів з випусками арматури балок монолітних надпорних ділянок. В верхній зоні балок напружена арматура розташована в проміжку між збірними ребристими плитами проїзної частини в межах монолітної і збірної балок. Проміжок між збірними ребристими плитами проїзної частини після натягу арматури замонолічується одночасно з замонолічуванням плити.

Крім цього проекту автором були розроблені також проектні пропозиції естакади у Львові для складних умов існуючої забудови. Від вул. Винниченка і вул. М. Кривоноса естакада буде проходити з північної сторони центральної історичної частини Львова недалеко від трьох театрів і двох великих готелів і виходити на магістральну вул. В.Чорновола. Це може вирішити транспортну проблему північно-східної частини і доїзду до центру міста. В інший спосіб ця проблема не може бути вирішена через неможливість прокладання внутрішніх кільцевих доріг, оскільки на північно-східній частині міста розташовані три парки: Високий замок, Гай Шевченка і Знесіння. Така міська вулична естакада у Львові може не тільки створити умови для доїзду до центральної частини і ліквідації багатьох заторів на міському транспорті, але й одночасно звільнити три площі і багато вулиць для пішоходів і туристичних груп, а також зменшити шум і загазованість в нижніх поверхах будинків і бути вписаною в середовище.

Література

1. Гнидец Б.Г. Сборные предварительно напряженные неразрезные железобетонные мосты малых пролетов из типовых балок пролетных строений. Вестник Львов политехн. Ин-та. – 1965. – № 7. – С. 17-22.
2. Курьлло А.С. Гнидец Б.Г. Сборные железобетонные конструкции производственных зданий с натяжением арматуры в монтажных стыках. Бетон и железобетон. – 1966. – № 5. – С. 12-18.
3. Гнидец Б.Г. Завадяк П.П. Особенности работы и характер разрушения натуральных конструкций сборно-монолитных неразрезных покрытий и предварительно напряженными стыками. Вестник Львов – политехн. Ин-та. – 1971. – № 51. – С. 13-19.
4. Гнидец Б.Г. Сало В.Ю. Сборно-монолитные неразрезные железобетонные мосты с предварительно напряженными стыками в двух направлениях. Вестник Львов. Политехн. Ин-та. – 1980. – № 145. – С. 17-19.
5. Гнидец Б.Г. Завадяк П.П. Щеглюк М.Р. Изготовление преднапряженных стыков конструкций с электротермическим натяжением и ванной сваркой арматуры. Бетон и железобетон. – 1989. – № 2. – С. 30-31.
6. Гнидец Б.Г. Збірно-монолітні нерозрізні конструкції прогонових будов для будівництва та реконструкції мостів і шляхопроводів. НАН України. Фіз.. мех.. ін-т ім. Г.В. Карпенка. Збірник наукових праць. Вип. 4 Львів: Каменярь. – 2002. – С. 38-43.
7. Гнидец Б.Г. Стики з напруженою арматурою і регулюванням зусиль в збірно-монолітних нерозрізних балкових і рамних мостах. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. Вип. 69. – К., 2004. – С.48-53.
8. Гнидец Б.Г. Збірно-монолітні залізобетонні попередньо-напружені прогонові будови мостів для будівництва методом поздовжнього пасування. Збірник наукових праць "Дороги і мости", – Вип. 6. – К., 2006. – С. 24-32.
9. Гнидец Б.Г., Ониськів Б.М., Васьків Б.М. та ін. "Експериментальне дослідження елементів прогонової будови збірно-монолітної естакади. Вісник Національного університету "Львівська політехніка" № 600 "Теорія і практика будівництва", Львів, 2007, С.57-62.