

## **ТЕХНОЛОГІЯ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОГО НАПРУЖЕННЯ АРМАТУРИ КРИВОЛІНІЙНОЇ ДІЛЯНКИ ДОСЛІДНОЇ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ЕСТАКАДИ**

**Щеглюк М.Р.**

**Гнідець Б.Г.**

*Національний університет «Львівська політехніка»*

---

В складі комплексу міжнародного аеропорту Бориспіль було запроєктовано автомобільну естакаду, призначену для доставки пасажирів до третього поверху нового терміналу на висоту 9,6 м від умовної позначки. Прогонову будову естакади запроєктовано у вигляді збірно-монолітних нерозрізних конструкцій коробчастої форми, розділених по довжині деформаційними швами на окремі ділянки. Конструкцію естакади на кривій ділянці запроєктовано із збірних елементів, об'єднаних попередньо напруженими стиками і монолітними над опорними ділянками.

Нове конструктивне вирішення естакади в цілому і окремих її елементів, їх стиків, а також технології монтажу на різних стадіях вимагало проведення спеціальних експериментальних досліджень. Сюди входять також і випробування дослідної конструкції криволінійної ділянки проговоної будови естакади з попередньо напруженими стиками. В процесі випробувань досліджувалась також технологія виконання попередньо напружених стиків з електротермічним натягом арматури.

Дослідну конструкцію БПК-10,6 естакади на кривій було запроєктовано у вигляді фрагменту в масштабі 1:2, складеного із трьох елементів: із збірної двотаврової балки БС-4.6 довжиною 4,6 м і двох двотаврових балок БМК-3 надопорних ділянок довжиною по 3 м (рис. 1). Збірні балки дослідної конструкції в стадії монтажу вільно опираються на консолі балок надопорних ділянок, а після натягу арматури і замонолічування із збірними плитами проїзної частини жорстко з'єднуються в стиках. Армування дослідної конструкції запроєктовано за аналогією відповідно до армування збірних балок і балок монолітних надопорних ділянок натурних розмірів проговоної будови естакади на кривій.

Напружувану верхню арматуру прийнято із стержнів Ø16 класу А500С. В збірній балці БС-4.6 напружувана арматура розташована також в нижній полиці в кількості 2Ø16 класу АШв, яка після натягу з'єднується за допомогою анкерів з випусками арматури балок БМК-3 надопорних ділянок. В верхній зоні балок напружувана арматура розташована в проміжку між збірними ребристими плитами проїзної частини.

Метою випробувань було дослідження роботи конструкції проговоної будови при створенні попереднього напруження в частині верхньої надопорної арматури, яка розміщується по довжині в межах стиків і надопорних ділянок, а також арматури, розміщеної в нижніх полицях збірних балок БС-4.6. Для попереднього напруження цієї арматури на верхній грані дослідних балок при їх виготовленні були встановлені приварені до анкерних стержнів і поздовжньої арматури металеві упори і випуски арматури знизу. Попереднє напруження надопорної арматури монолітних ділянок при спорудженні проговоної будови естакади передбачено проводити після монтажу збірних балок і плит. Тому при проведенні випробувань дослідної конструкції на цьому етапі згідно з розробленою методикою їх консольні ділянки були закріплені тягами до конструкцій і силової плити стенду.

Для попереднього напруження стержневої арматури був прийнятий електротермічний метод, як найбільш доцільний і ефективний для стержневої арматури в умовах монтажу, з врахуванням особливостей конструктивного вирішення проговоної будови естакади. Відомо, що способи

анкерування напруженої арматури впливають на деякі технологічні і експлуатаційні особливості [1]. Так, наприклад, використання приварених упорних коротунів вимагає високої точності при конструюванні арматурних заготовок, але дозволяє регулювати зусилля в напруженій арматурі та конструкції. При анкеруванні арматури за допомогою гайок або спеціальних муфт названі вище недоліки відсутні та відносно легко можна регулювати зусилля.

Вибір способу анкерування визначає вибір технології електротермічного напруження арматури і накладає свої особливості на роботу напруженої конструкції. Залежно від прийнятої технології і способу закріплення напруженої арматури виконуються всі технологічні операції, починаючи із заготовлення стержнів, електронагрівання, керування процесом нагрівання і визначення величини попереднього напруження. Для дослідних конструкцій прогонової будови естакади був прийнятий комбінований метод анкерування арматури: у нижній зоні нагріта арматура закріплювалась за допомогою шовного зварювання до випусків арматури, а у верхній зоні – за допомогою приварених коротунів на спеціальні упори [2].

Напружена арматура в нижній полиці на кривій ділянці балок складалась з двох стержнів діаметром 16 мм, довжиною 4,04 м, класу А500С (А-Шв). Її напруження здійснювали у наступній послідовності. Заготовлені стержні приварили одним кінцем до випусків робочої арматури балок БМК-3 двома фланговими швами довжиною не менше 100 мм (6·d). Після того один із стержнів підготували до нагрівання і підключили до нагрівної установки. Для досягнення розрахункового напруження 360 МПа, арматуру нагрівали до температури 210 °С. Контроль температури здійснювали за допомогою спеціального термоелектричного перетворювача і автоматичного потенціометра. Після досягнення заданої температури нагріву другий кінець стержня приварили до випуску робочої арматури другої балки БМК-3. Під час приварювання і до досягнення завареним стиком температури 650–700 °С температуру арматури підтримували на заданому рівні шляхом вимикання і вмикання установки при зменшенні температури на 10°С.

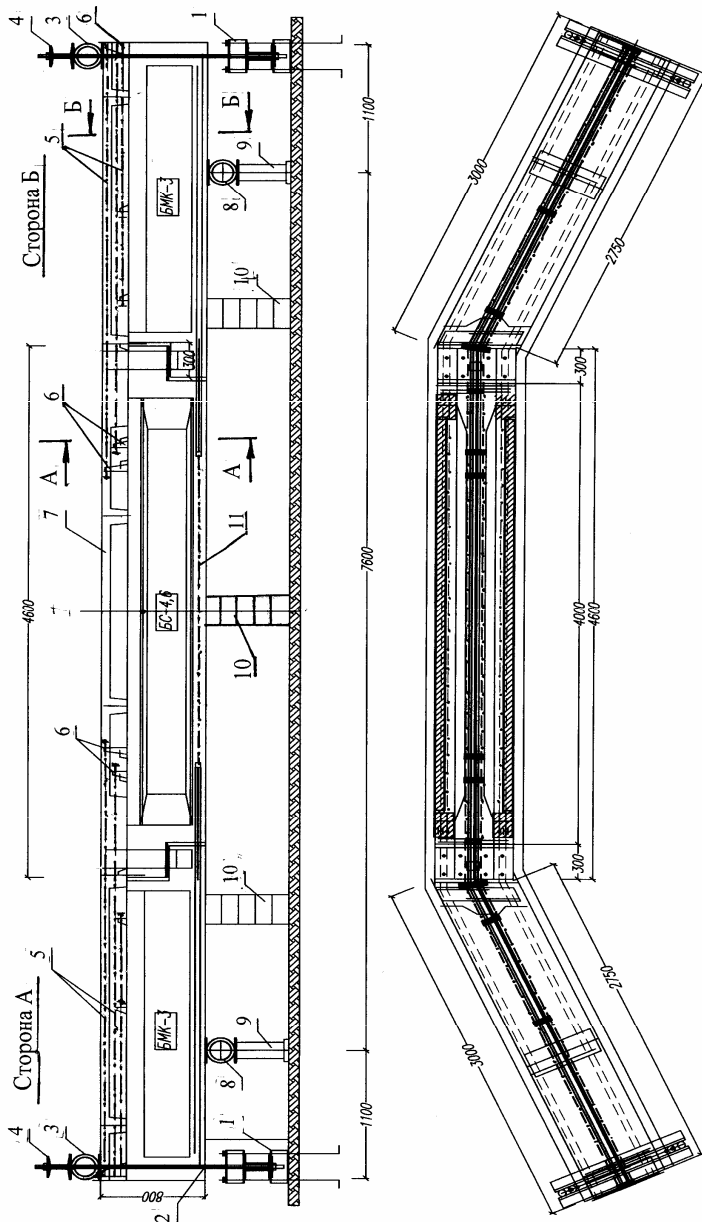
Довжина ділянки арматури, яку нагрівали, становила 3,7 м, а напруга на затискачах нагрівної установки дорівнювала 7,2 В. Середній струм нагріву становив 500 А, і контролювали його за допомогою струмовимірних лещат типу Ц-30.

Після натягу нижньої арматури балки БС-4.6 (рис. 1 і рис. 2) і її замоноличування (на рис. 2 заштриховано) було проведено монтаж по всій довжині дослідної конструкції збірних ребристих плит. Наступним етапом монтажу було напруження верхньої надпорної арматури в межах балок БМК-3 і верхньої непрямої надпорної арматури, яка об'єднує їх в стиках з балкою БС-4.6. Арматуру натягували на упори, які були замоноличені в конструкціях при їх виготовленні. Упорні коротуни на стержнях довжиною не менше 100 мм (6·d) приварювали на місці двома фланговими швами.

**Таблиця 1** – Дані напруження арматури балки та консолей

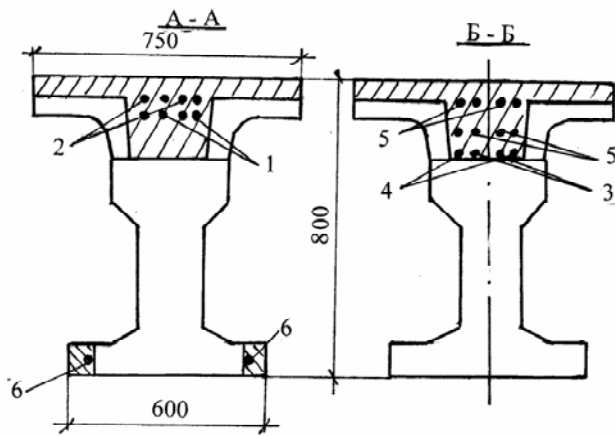
№ п/п	Довжина стержня, м	Віддаль між упорами, м	Температурне видовження, мм	Кількість стержнів	Середній струм нагріву, А	Напруга на затискачах, В
Сторона А						
1	1,26	1,06	2,1	4	500	3,6
2	1,88	1,68	3,4	4	550	3,6
3	2,23	2,03	4,1	2	500	3,6
4	2,85	2,65	5,3	2	550	7,2
5	3,40	3,19	6,4	8	500	7,2

№ п/п	Довжина стержня, м	Віддаль між упорами, м	Температурне видовження, мм	Кількість стержнів	Середній струм нагріву, А	Напруга на затискачах, В
Сторона Б						
1	1,28	1,08	2,2	4	500	3,6
2	1,88	1,68	3,4	4	550	3,6
3	2,26	2,06	4,1	2	500	7,2
4	2,87	2,67	5,3	2	500	7,2
5	3,42	3,22	6,4	8	500	7,2
Нижня арматура						
6	4,24	4,04	8,1	2	500	7,2



- 1 – кріплення конструкції до силової підлоги; 2 – тяги; 3 – верхні кільцеві динамометри; 4 – верхня траверса; 5 – напружувана арматура; 6 – анкерні пристрої; 7 – збірні плити проїзної частини; 8 – нижні кільцеві динамометри; 9 – опори динамометрів; 10 – тимчасові опори; 11 – нижня напружувана арматура.

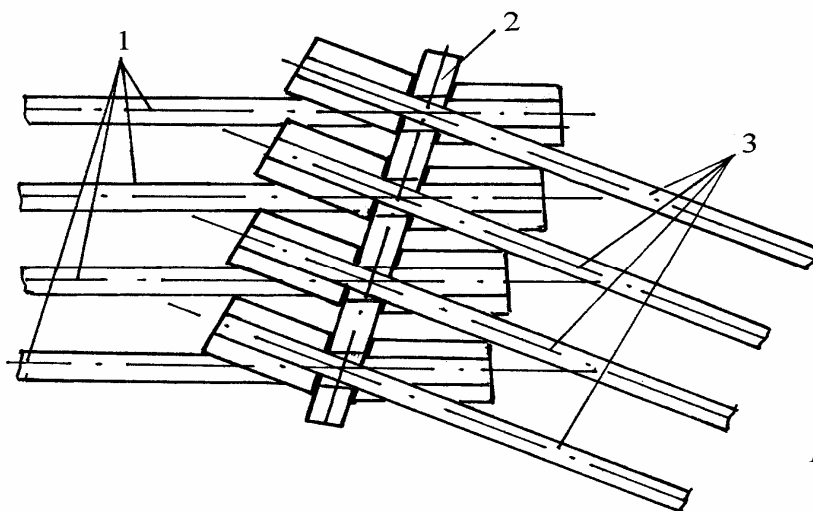
Рис. 1. Схема напруження арматури та випробування дослідної конструкції БПК-10,6 естакади на кривій



1, 2, 3, 4, 5, 6 – напружена арматура  
(номери позицій відповідають номерам  
позицій у таблиці 1)

Рис. 2. Переріз балки БС-4,6 (А-А) та  
консолі БМК-3 (Б-Б)

Спочатку напружували стержні балок БМК-3 (рис. 1), а після цього решту стержнів балок і стиків. Для створення розрахункового напруження 360 МПа і вільного вкладання нагрітих стержнів на упори, їх нагрівали до температури 220-230 °С. Характеристика стержнів та дані їх нагрівання наведені в таблиці 1. Деяка відміна від описаної технології була при напруженні стиків на згині конструкції (рис. 3). Оскільки анкерний пристрій на конструкції був під деяким кутом до арматури, то для повного обпирання упорних коротунів їх робили різновеликими, а краї опорних поверхонь підрізували під заданим кутом у привареному стані за допомогою ручної електропили.



1 – напружувана арматура  
балки БС-4,6;  
2 – анкерний пристрій;  
3 – напружувана арматура  
консолі БМК-3.

Рис. 3. Анкерування арматури  
на згині конструкції

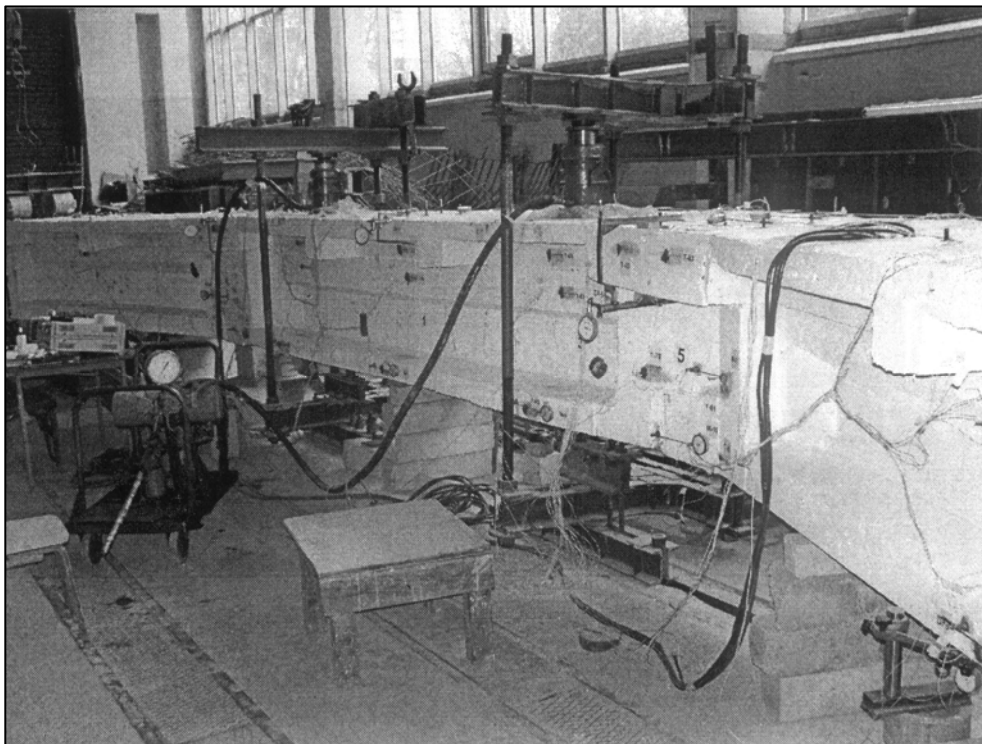
При нагрівання коротких стержнів 1 довжина ділянки, яку нагрівали, була меншою ніж 1 м. Найменша напруга на вторинній обмотці нагрівного трансформатора становила 3,6 В, що викликало би дуже великий струм нагріву, тому стержні нагрівали по два одночасно. Для цього їх з'єднували послідовно короткою перемичкою, слідкуючи за тим, щоб довжина ділянки нагріву в обидвох стержнях була однаковою.

Аналіз роботи дослідної конструкції БПК-10.6 прогонової будови естакади на кривій ділянці за даними зміни моментів, прогинів, співвідношень між величинами моментів при згині і крученні, а також деформацій бетону, підтвердив надійну спільну роботу збірних елементів і бетону замонолічування на всіх етапах завантаження. Експериментальні значення цих величин в цілому узгоджуються з розрахунковими даними. Це також підтвердив характер

утворення і розвитку тріщин при поступовому завантаженні дослідної конструкції двома зосередженими силами від 0 до 220 кН.

### Висновки

1. Експериментальні дослідження, проведені при випробуванні дослідної конструкції БПК-10,6 прогонової будови естакади на кривій ділянці, підтвердили доцільність прийнятого в проекті естакади електротермічного методу натягу арматури і його значні переваги у порівнянні з іншими відомими методами.
2. Напружувана арматура, розміщувана додатково в поздовжніх стиках нижньої плити коробчастого перерізу прогонової будови на кривих ділянках, натяг якої проводився електротермічним методом, дає можливість одночасно створювати зусилля обтиску розтягнутої зони і стиків в прогонах та підвищувати їх тріщиностійкість.
3. Конструктивне вирішення упорів для анкерування напружуваної надпорної арматури у вигляді металевих закладних деталей в збірних елементах забезпечує достатню їх міцність і надійність в стадії натягу арматури.



*Рис. 4. Загальний вигляд випробування дослідної конструкції БПК-10,6 естакади на кривій*

### Література

1. Гнідець Б.Г., Завадяк П.П., Щеглюк М.Р. Залізобетонні конструкції з електротермічним попереднім напруженням. – Київ: Техніка, 1996. – 240 с.
2. Гнідець Б.Г., Щеглюк М.Р., Кавацюк І.Д. Електротермічне попереднє напруження будівельних конструкцій в умовах будівництва. – Львів: „СПОЛОМ”, 2004. – 110 с.