

П. М. КОВАЛЬ (Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури, Київ),
С. В. СТОЯНОВИЧ (ДерждорНДІ ім. М. П. Шульгіна, Київ)

НАПРУЖЕННЯ У ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВАХ МОСТІВ ПРИ ВРАХУВАННІ СТАДІЙНОСТІ РОБОТИ

В статті наведено результати теоретичного вивчення рівнів напружень в збірно-монолітних залізобетонних прогонових будовах мостів з урахуванням і без урахування стадійності роботи. Істотний вплив на різницю деформації з урахуванням стадійності роботи збірно-монолітних прогонових будов мостів визначено для прогонів, що перевищують 12 м.

Ключові слова: міст, залізобетон, арматура, граничний стан

В статье приведены результаты теоретического изучения уровней напряжений в сборно-монолитных железобетонных пролетных строениях мостов с учетом и без учета стадийности работы. Существенное влияние на разницу деформаций с учетом стадийности работы сборно-монолитных пролетных строений мостов определено для пролетов, превышающих 12 м.

Ключевые слова: мост, железобетон, арматура, предельное состояние

The results of theoretical study of the levels of stresses in precast-monolithic bridge spans with and without consideration of stages of their work are presented. A significant influence on difference of the deformations taking into account the work stages of the precast-monolithic bridge spans for spans exceeding 12 m is determined.

Keywords: bridge, concrete, armature, limiting state

Вступ

Завдяки низці переваг збірно-монолітні конструкції знайшли широке застосування як в промисловому та цивільному будівництві, так і в мостобудуванні. Практика вітчизняного та закордонного будівництва доводить доцільність широкого застосування при зведенні автодорожніх та міських мостів збірно-монолітного залізобетону. Основна ідея збірно-монолітного перерізу полягає в тому, що найбільш відповідальні і трудомісткі елементи виготовляють індустріальним шляхом на заводах чи полігонах, а менш складний елемент – плиту, виконують на місці. Збірні елементи при цьому служать за риштування і навіть в багатьох випадках – опалубкою для укладання монолітного бетону. Бетон монолітної частини, після набору міцності зв'язує збірні елементи в єдину робочу систему. Використання принципу збірно-монолітності має за мету забезпечити надійність та довговічність мостових конструкцій, зменшити витрати матеріалів, підвищити економічність у використанні.

В чинних нормах проектування мостів ДБН В.2.3-14:2006 [1] при розрахунку збірно-монолітних конструкцій відсутні рекомендації з врахування відмінностей у фізико-механічних характеристиках збірного та монолітного бетону, стадійність роботи таких конструкцій. Рекомендації та посібники для проектування цивільних і промислових будівель [2-5] не розпо-

всюджуються на проектування мостів. В інструкції [6] розрахунок збірно-монолітних прогонових будов мостів виконується з врахуванням характеристик збірного та монолітного бетону без традиційного зведення до одного матеріалу, враховуються довготривалі процеси при оцінці напружено-деформованого стану конструкції, але не враховується стадійність роботи таких прогонових будов.

Для сталезалізобетонних мостів норми проектування [1] враховують стадійність роботи прогонових будов. За етапами послідовного включення в роботу окремих елементів прогонової будови збірно-монолітні мости подібні до сталезалізобетонних. Виникає логічне питання, чому при їх проектуванні не враховується стадійність роботи комплексного перерізу конструкції.

Імовірно, що при будівництві прогонових будов мостів з відносно невеликими прогонами 6...24 м, які будувались до цього часу, вплив стадійності на роботу збірно-монолітних прогонових будов мостів був невеликий. Але зараз відбувся перехід до будівництва мостів переважно з прогонами 18...33 м., тому варто дослідити, як впливає стадійність роботи на напружено-деформований стан збірно-монолітних прогонових будов мостів.

Мета даних досліджень – визначити, як відрізняються рівні напружень при розрахунку балок прогонової будови збірно-монолітних

прогонових будов мостів при врахуванні стадійності роботи і без її врахування у залежності від довжини прогонів.

Основна частина

Теоретично досліджувалась збірно-монолітна прогонова будова (рис. 1, а) з використанням попередньо напружених мостових

балок типу «3Bet-120» (рис. 1, б), довжиною 9 м, 12 м, 15 м, 18 м, 21 м, 24 м, 27 м, 33 м. Габарит моста по ширині становить $\Gamma-10,5+2\times 0,75$ м. В поперечному напрямку відстань між осями балок становить 1,6 м. Балки об'єднанні між собою для сумісної роботи монолітною плитою проїзної частини товщиною 21 см.

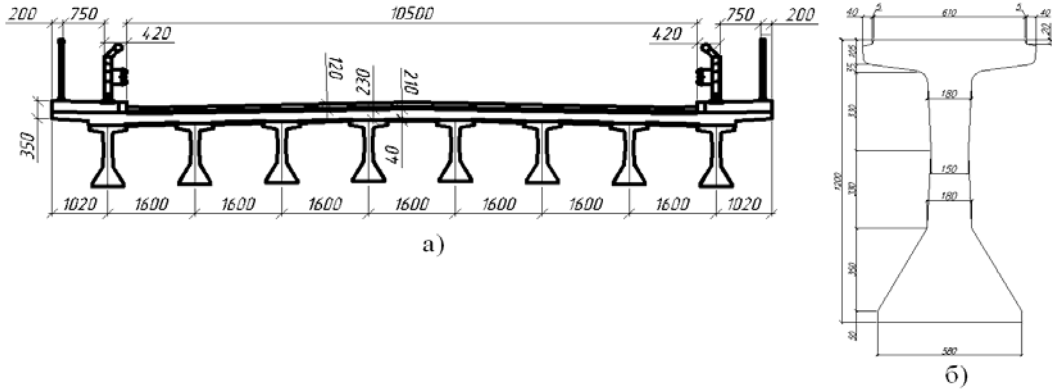


Рис. 1. Поперечні перерізи:

а) – прогонової будови моста; б) – балки типу «3Bet-120»

Армування балки типу «3Bet-120» здійснюється поздовжньою робочою арматурою: попередньо напружені канати типу К7 діаметром 12,8 мм (кількість канатів для відповідного прогону балки див. табл. 1), поздовжньою конструктивною – звичайна арматура $\varnothing 8$ А400С та поперечною арматурою – звичайна арматура $\varnothing 8 \dots 12$ А400С. Клас бетону балок за міцністю на стиск В40. Початкове напруження канатів перед бетонуванням становило 1200 МПа. Балка піддавалася тепловій обробці протягом 16 год. при максимальній температурі 60...65 °С. Передача зусилля на бетон відбувалась при досягненні ним міцності 28 МПа.

Клас монолітного бетону плити проїзної частини на стиск В35.

но зведені поперечні перерізи збірної балки (див. рис. 2, а) та збірної балки об'єднаної з монолітною плитою (див. рис. 2, б).

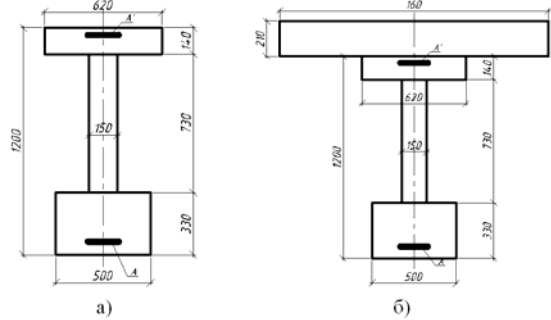


Рис. 2. Зведені перерізи:

а) – збірна балка; б) – збірна балка об'єднана з монолітною плитою

Таблиця 1

Кількість канатів в балках типу «3Bet-120»

І балки, м	9	12	15	18	21	24	27	30	33
Верхні, шт	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Нижні, шт	16	20	23	36	29	33	37	41	45

Розрахунок конструкції проводився з врахуванням та без врахування стадійності її роботи згідно діючих норм [1, 7] та з урахуванням положень, наведених в [2, 3, 6].

Об'єктом для досліджень була обрана середня балка прогонової будови. На рис. 2 наведе-

Визначення внутрішніх зусиль

Значення максимальних згинальних моментів від дії постійного навантаження на найбільш завантажену середню балку для кожного з прогонів подані в табл. 2.

Нормативне тимчасове вертикальне навантаження від автотранспорту згідно [7] приймаємо за двома схемами:

- рівномірно розподілене смугове навантаження від автотранспортних засобів А15;
- колісне чотиривісне зосереджене навантаження НК-100.

Значення згинальних моментів в середині прогону балки від дії постійного навантаження

L прогону, м	8,4	11,4	14,4	17,4	20,4	23,4	26,4	29,4	32,4
Балка + монолітна плита									
Mн, кНм	158,76	292,41	466,56	694,83	936,36	1232,01	1568,16	1944,81	2411,82
Балка + монолітна плита + дорожній одяг									
Mн, кНм	197,74	364,22	581,13	862,11	1166,29	1534,54	1953,23	2422,36	2991,82

Максимальні значення згинальних моментів від дії тимчасового навантаження на найбільш завантажену середню балку для кожного з прогонів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Значення згинальних моментів в середині прогону балки від дії тимчасового навантаження

L прогону, м	8,4	11,4	14,4	17,4	20,4	23,4	26,4	29,4	32,4
Mн, кНм	357,52	510,64	655,69	795,31	934,94	1079,71	1231,22	1426,36	1626,54

Розрахунок конструкції із врахуванням стадійності роботи

Згідно [2, 3] збірно-монолітні конструкції необхідно розраховувати для наступних двох стадій роботи конструкції:

- до набирання монолітним бетоном заданої міцності – на дію власної ваги цього бетону та інших навантажень, що діють на даному етапі спорудженні конструкції;
- після набирання монолітним бетоном заданої міцності – на навантаження, що діють на даному етапі будівництва та при експлуатації конструкції.

Розрахунок напружень збірних балок до набирання монолітним бетоном заданої міцності виконуємо у відповідності норм [1, 2] за формулами:

- для нижньої грані перерізу збірної балки

$$\sigma_1^H = -\frac{N}{A_{bred}} - \frac{N \cdot y_{bred}^H \cdot e_0}{I_{bred}} + \frac{M_1 \cdot y_{bred}^H}{I_{bred}};$$

- для верхньої грані перерізу збірної балки

$$\sigma_1^e = -\frac{N}{A_{bred}} + \frac{N \cdot y_{bred}^e \cdot e_0}{I_{bred}} - \frac{M_1 \cdot y_{bred}^e}{I_{bred}},$$

де N – рівнодіюча зусиль попереднього напруження, A_{bred} – площа перерізу збірної балки, I_{bred} – момент інерції перерізу збірної балки, y_{bred}^H , y_{bred}^e – відстань від центру ваги перерізу збірної балки до нижньої та верхньої граней балки відповідно, e_0 – відстань від центру ваги перерізу балки до рівнодіючої зусиль від попереднього напруження, M_1 – згинальний момент від дії постійного навантаження (власної ваги балки та монолітного бетону).

Напруження від навантаження, прикладеного до набирання монолітним бетоном заданої міцності, зведені в табл. 4.

Таблиця 4

Значення напружень від навантаження (власна вага балки + власна вага монолітного бетону плити), прикладеного до набирання монолітним бетоном заданої міцності

L прогону, м	8,4	11,4	14,4	17,4	20,4	23,4	26,4	29,4	32,4
На верхній грані збірної балки									
σ , МПа	-0,312	-1,14	-2,522	-4,093	-6,219	-8,749	-12,01	-15,54	-19,37
На нижній грані збірної балки									
σ , МПа	-7,19	-8,339	-8,385	-8,339	-7,852	-7,406	-6,17	-5,17	-3,347

де знак «-» – стиск, знак «+» – розтяг

Розрахунок напружень збірної балки після набирання монолітним бетоном заданої міцності виконуємо відповідно [2-6] за формулами:

- для нижньої грані перерізу збірної балки

$$\sigma^H = \sigma_1^H + \frac{M_2 \cdot y_{red}^H}{I_{red}},$$

- для верхньої грані перерізу збірної балки

$$\sigma^S = \sigma_1^S - \frac{M_2 \cdot (y_{red}^S - h_{nl})}{I_{red}},$$

де I_{red} – момент інерції збірно-монолітного

перерізу, y_{red}^H, y_{red}^S – відстань від центру ваги збірно-монолітного перерізу до нижньої та верхньої граней перерізу відповідно, h_{nl} – товщина монолітної плити збірно-монолітного перерізу, M_2 – згинальний момент від дії постійного (власна вага балки, власна вага монолітної плити, власна вага дорожнього одягу) та тимчасового навантажень.

Напруження від навантаження, прикладеного після набирання монолітним бетоном заданої міцності (власна вага балки, монолітної плити, дорожнього одягу, тимчасового навантаження) зведені в табл. 5.

Таблиця 5

Значення напружень від постійного та тимчасового навантаження, прикладеного після набирання монолітним бетоном заданої міцності

L прогону, м	8,4	11,4	14,4	17,4	20,4	23,4	26,4	29,4	32,4
На верхній грані збірної балки									
σ, МПа	-1,04	-2,209	-3,94	-5,86	-8,36	-11,29	-15,02	-19,09	-23,93
На нижній грані збірної балки									
σ, МПа	-5,12	-5,218	-4,43	-3,44	-1,958	-0,481	2,08	4,48	7,463

де знак «-» – стиск, знак «+» – розтяг

Розрахунок конструкції без врахування стабільності роботи

Як було вище згадано, згідно діючих норм проектування мостів [1] при розрахунку конструкцій, у нашому випадку збірно-монолітних прогонових будов, не враховується стабільність роботи. Розрахунок напружень виконується за формулами:

- для нижньої грані перерізу збірної балки

$$\sigma^H = -\frac{N}{A_{red}} - \frac{N \cdot y_{red}^H \cdot e_0}{I_{red}} + \frac{M \cdot y_{red}^H}{I_{red}},$$

- для верхньої грані перерізу збірної балки

$$\sigma^S = -\frac{N}{A_{red}} + \frac{N \cdot y_{red}^S \cdot e_0}{I_{red}} - \frac{M \cdot (y_{red}^S - h_{nl})}{I_{red}},$$

де N – рівнодіюча зусиль попереднього напруження, A_{red} – площа перерізу збірно-монолітного перерізу, I_{red} – момент інерції збірно-монолітного перерізу, e_0 – відстань від центру ваги перерізу до рівнодіючої зусиль від попереднього напруження, y_{red}^H, y_{red}^S – відстань від центру ваги збірно-монолітного перерізу до нижньої та верхньої граней перерізу відповідно, h_{nl} – товщина монолітної плити збірно-монолітного перерізу, M – згинальний момент від дії постійного та тимчасового навантажень.

Отримані наступні значення напружень балок при дії постійних та тимчасових навантажень на конструкцію (табл. 6 та 7).

Таблиця 6

Значення напружень від постійного навантаження

L прогону, м	8,4	11,4	14,4	17,4	20,4	23,4	26,4	29,4	32,4
На верхній грані збірної балки									
σ, МПа	-0,54	-0,841	-1,24	-1,66	-2,25	-2,92	-3,72	-4,63	-5,7
На нижній грані збірної балки									
σ, МПа	-6,71	-7,76	-8,07	-8,26	-7,99	-7,89	-7,23	-6,75	-5,66

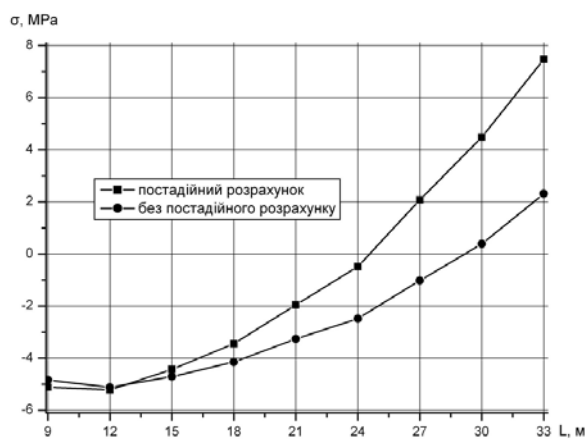
де знак «-» – стиск, знак «+» – розтяг

Значення напружень від тимчасового та постійного навантажень

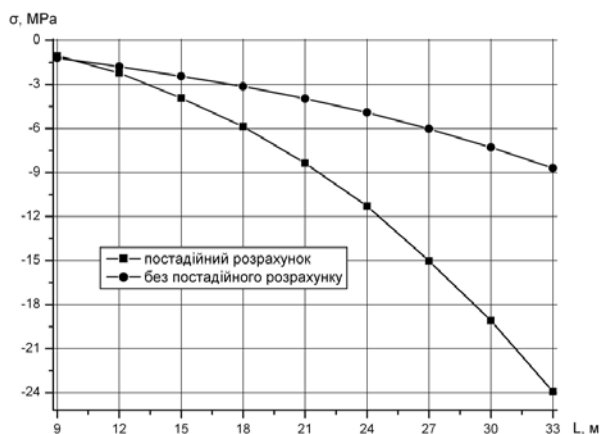
L прогону, м	8,4	11,4	14,4	17,4	20,4	23,4	26,4	29,4	32,4
На верхній грані збірної балки									
σ , МПа	-1,2	-1,78	-2,44	-3,14	-3,97	-4,91	-6,02	-7,29	-8,7
На нижній грані збірної балки									
σ , МПа	-4,83	-5,12	-4,71	-4,16	-3,26	-2,48	-1,02	0,383	2,31

де знак «-» – стиск, знак «+» – розтяг

Згідно отриманих результатів напружень при врахуванні стадійності та без врахування стадійності роботи збірно-монолітних конструкцій було побудовано графіки залежності напружень на нижній та верхній гранях збірної балки при дії постійного та тимчасового навантажень від довжини прогону (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Залежність напружень балки від довжини прогону на:

а) – нижній грані, б) – верхній грані

Висновки

При теоретичних дослідженнях попередньо напруженої балки збірно-монолітної прогонової будови моста в залежності від довжини прогону встановлені відмінності при постадійному та не враховуючи стадійність розрахунку конструкції. Значне збільшення величини напружень, що були отримані при врахуванні стадійності роботи збірно-монолітної конструкції при довжині прогону в діапазоні від 12 м до 33 м. Варто продовжити дані дослідження, щоб розробити рекомендації з врахування стадійності роботи збірно-монолітних прогонових будов мостів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. [Текст]. – Введ. 2007-02-01. – К.: Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
2. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 144 с.
3. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций [Текст]: справочное пособие к СНиП 2.03.01.84. – М.: НИИЖБ, 1991. – 61 с.
4. Проектирование и изготовление сборно-монолитных конструкций [Текст]. – К.: Будівельник, 1982. – 152 с.
5. Рекомендации по проектированию и расчету сборно-монолитных железобетонных конструкций [Текст]. – М.: НИИЖБ, 1978. – 94 с.
6. Інструкція з розрахунку нових типів збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів [Текст]. – К.: НТУ, 2005. – 103 с.
7. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]. – Введ. 2010-03-01. – К. Мін регіон буд. України, 2009. – 66 с.

Надійшла до редколегії 20.04.2011.

Прийнята до друку 29.04.2011.