

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.09:012.35/.014:539.13

М. М. ПОПОВИЧ^{1*}, П. А. ОВЧИННИКОВ², В. І. ВЕРХОЛАЗ³

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (096) 649 32 92, ел. пошта popovich.n.m@ukr.net, ORCID 0000-0003-1790-3110

² Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (099) 452 15 02, ел. пошта pavlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

³ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (093) 233 54 32

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ПРИ СПОРУДЖЕННІ МЕТОДОМ ПОЗДОВЖНЬОГО НАСУВУ

Мета. Метою даної статті є визначення найбільш раціональних схем монтажу в процесі поздовжнього насуву, при яких всі напруження в конструкції будуть допустимими. **Методика.** В якості об'єкту дослідження в роботі використовується типова нерозрізна сталезалізобетонна прогонова будова по схемі 63+84+63 м за типовим проектом серії 3.503.9-62. Для дослідження напруженого стану прогонової будови в програмному комплексі «Midas Civil» були створені комп'ютерні скінченно-елементні моделі різних схем поздовжнього насуву. До розрахунку прийнято сім схем монтажу прогонової будови, які включають в себе поздовжній насув як металокожухів (тільки металевої частини прогонової будови), так і насув змонтованої сталезалізобетонної прогонової будови. **Результати.** Розрахунок насуву сталезалізобетонної прогонової будови довів, що вже на перших стадіях, коли кожухів заводиться в половину першого прогону, в залізобетонній плиті відбувається перевищення значень розрахункового опору бетону на розтяг. Тому дані схеми монтажу використовувати не можна. На практиці рекомендовано спочатку насувати металеву частину прогонової будови, а потім вкладати блоки чи бетонувати монолітну плиту проїзду, що є раціональною схемою поздовжнього насуву вказаних прогонових будов. **Наукова новизна.** Результати дослідження напруженого стану прогонової будови в процесі поздовжнього насуву відмічені науковою новизною для обраної схеми. **Практична значимість.** Доведено, що найраціональнішим методом спорудження є поздовжній насув із використанням аванбека або тимчасової опори.

Ключові слова: метод поздовжнього насуву; метод скінченних елементів; збірна залізобетонна плита; сталезалізобетонна прогонова будова; нерозрізна прогонова будова; металокожухів

Вступ

Сталезалізобетонні прогонові будови є специфічним сучасним видом мостових конструкцій, які мають досить широке поширення [1, 2, 9-14]. Перевагою таких прогонових будов в порівнянні з металевими є збільшення несучої здатності внаслідок об'єднання металевої балки із залізобетонною плитою. Тому при однаковій витраті металу можна перекрити більший прогін.

Для сталезалізобетонних прогонових будов характерні економія сталі, збільшення вертикальної і горизонтальної жорсткості та ряд інших переваг у порівнянні з металевими прогоновими будовами, що забезпечують сумісну роботу залізобетонної проїзної частини і сталевих балок [1, 2].

Залізобетонна плита може бути монолітною або збірною. Кожен з цих варіантів має свої переваги та недоліки. Для бетонування монолітної плити необхідно влаштовувати опалубку, виконувати на місці арматурні роботи та укладання бетону. Це вимагає виконання досить великого обсягу трудомістких робіт і більшого терміну будівництва, ніж при зведенні збірних плит, але забезпечує хороший зв'язок бетону з упорами і повну монолітність плити.

При збірній плиті значно прискорюються темпи будівництва. Однак об'єднання збірної плити з металевими балками вимагає спеціальних конструктивних пристроїв. Основним недоліком є необхідність досягнення однакової міцності бетону плити і бетону ділянок омоноличування [2].

Для спільної роботи залізобетонної плити з металевими балками необхідно створення надійного зв'язку, здатного передавати зсувні зусилля, що виникають між плитою і верхніми поясами металевих балок. Для цього влаштовують спеціальні зв'язувальні елементи, що виконуються у вигляді жорстких або гнучких штирьових металевих упорів.

Монтаж прогонових будов мостів може виконуватися декількома способами [1]:

1) встановлення окремих балок або готових прогонових будов кранами на постійні або тимчасові опори;

2) збірка на помостах, які влаштовуються в прогоні, що монтується; напівнавісним або навісним способами;

3) конструкції, що збираються на березі, подають в прогін шляхом поздовжнього або поперечного насуву;

4) перевезенням на плавучих засобах.

Мета

Поздовжній насув дозволяє одночасно зводити опори і збирати прогонові будови. Насув прогонових будов на готові опори займає мало часу, що дозволяє значно скоротити терміни будівництва. Крім того, можна рівномірно розподілити роботи протягом року, збираючи конструкції на підходах в будь-який час, в тому числі і в період льодоходу або повені. Враховуючи вище викладене, дослідження процесу поздовжнього насуву, а саме напруженого стану прогонової будови в процесі спорудження, є метою наданої статті. Головним завданням дослідження є визначення найбільш раціональних схем монтажу, при яких всі напруження в конструкції будуть допустимими, а трудовитрати на облаштування мінімальними.

Методика

В якості об'єкту дослідження в роботі використовується типова нерозрізна сталезалізобетонна прогонова будова по схемі 63+84+63 м за типовим проектом серії 3.503.9-62 [3-5]. В поперечному перерізі має дві зварні суцільностінчасті головні балки з відстанню між ними 6,4 м, двотаврового перерізу з поясами різного перерізу, що об'єднані системою поперечних та поздовжніх зв'язків, та вертикальною стінкою з постійною висотою, що дорівнює 3160 мм і розташованою по осі прогонової будови поздов-

жню балку (прогін) з прокатного широкополого двотавра 40ШЗ або зварного двотавра з поясами перерізом 300×16 мм і вертикальною стінкою 380×10 мм з універсальної сталі. Поздовжня балка (прогін) опирається на поперечні зв'язки через 5250 мм. Головні балки і прогін об'єднуються за допомогою жорстких упорів із залізобетонною плитою проїзної частини.

Головні балки прогонової будови розбиваються на монтажні блоки довжиною 10,5 і 16,05 м. Довжина кінцевих блоків 16,05 м прийнята з економічних міркувань і тривалому досвіду виготовлення та монтажу прогонових будов. Залізобетонна плита проїзної частини товщиною 14 см запроектована із збірних блоків, кінцеві ділянки із монолітного бетону.

Спочатку, для більш детального дослідження напруженого стану прогонової будови, в програмному комплексі «Midas Civil» були створені, з подальшим завантаженням, комп'ютерні скінчено-елементні моделі [6-8] різних схем поздовжнього насуву.

До розрахунку прийнято сім схем монтажу прогонової будови, які включають в себе поздовжній насув як металокопії (тільки металеві частини прогонової будови), так і насув змонтованої сталезалізобетонної прогонової будови. Наступним кроком є визначення стадій монтажу. У якості найхарактерніших, прийнято стадії під час підведення конструкції до кожної з постійних опор (нумерація опор справа наліво). На кожній стадії визначені максимальні прогини, нормальні напруження та виведені епюри згинальних моментів і поперечних сил.

Результати

За першою схемою виконується поздовжній насув металеві частини прогонової будови. Під час другої стадії, коли довжина консолі конструкції найбільша (рис. 1), виникають перевищення розрахункового опору сталі.

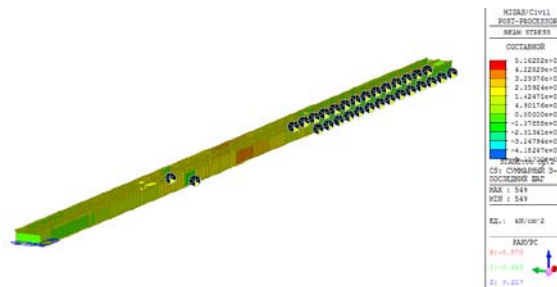


Рис. 1. Ізополя нормальних напружень (63+78,75 м)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Вони становлять 417 МПа в балці та 479 МПа у в'язях. Тому в даній ситуації можлива депланація поперечного перерізу – процес його викривлення у просторі.

Друга схема представляє насув металокопункції прогонової будови з використанням аванбека. Аванбек дозволяє зменшити прогини; напруження (рис. 2) у порівнянні з першою схемою не перевищують розрахункового опору сталі і складають 168 МПа в балці та 307 МПа у в'язях.

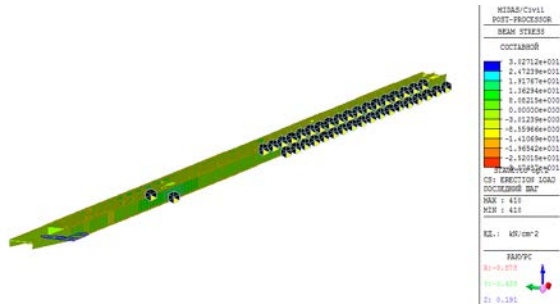


Рис. 2. Ізополя нормальних напружень (63+78,75 м)

За схемою № 3 насувається металокопункція із улаштуванням тимчасової опори в руслі. Максимальні напруження (140 МПа) в балці виникають на першій стадії, при підведенні конструкції до першої опори (рис. 3), та у в'язях на третій стадії – 229 МПа. Перевищення розрахункового опору сталі не відбувається, проте монтаж і демонтаж інвентарних конструкцій вимагає певних обмежень.

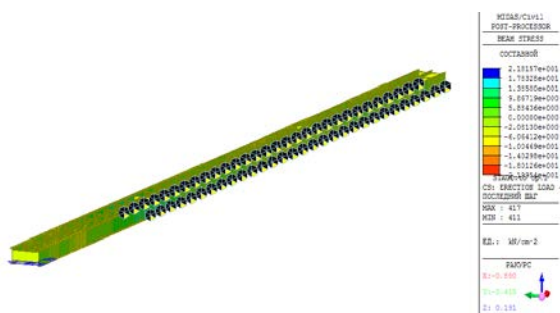


Рис. 3. Ізополя нормальних напружень (57,75 м)

Схема № 4 – насув металокопункції з використанням аванбека та тимчасової опори. Як і в попередній схемі, максимальні навантаження виникають на першій та третій стадіях. Вони не перевищують розрахункового опору сталі та складають 81 МПа в балці і 146 МПа у в'язях відповідно (рис. 4).

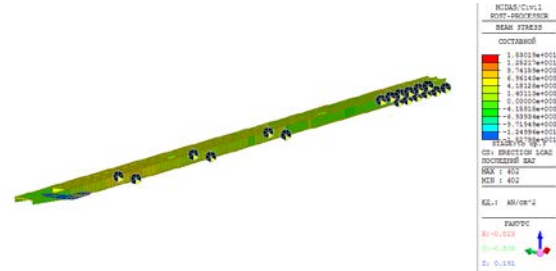


Рис. 4. Ізополя нормальних напружень (63+2×42+57,75 м)

За п'ятою схемою проводиться насув змонтованої сталезалізобетонної прогонової будови. На першій стадії, при підведенні конструкції до першої опори, в плиті відбувається перевищення значень розрахункового опору бетону на розтяг (3,4 МПа для бетону В30), напруження становлять 21 МПа (рис. 5).



Рис. 5. Ізополя нормальних напружень в плиті (57,75 м)

Схема № 6 – насув сталезалізобетонної прогонової будови з улаштуванням аванбека. Максимальні напруження в плиті, що виникають на першій стадії монтажу, менші у порівнянні із насувом за попередньою схемою, проте вони також перевищують значення розрахункового опора бетону на розтяг і становлять 11 МПа (рис. 6).

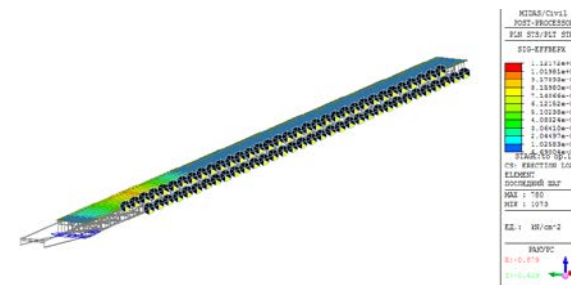


Рис. 6. Ізополя нормальних напружень в плиті (57,75 м)

За схемою № 7 виконується поздовжній насув сталезалізобетонної прогонової будови з

аванбеком та влаштуванням тимчасової опори в руслі. Якщо розглядати другу стадію (рис. 7), коли конструкція знаходиться у найвигіднішому положенні та має найменші значення напружень, в плиті все одно відбувається перевищення значень розрахункового опора бетону на розтяг ($11 \text{ МПа} > 3,4 \text{ МПа}$).

Використання аванбека дозволяє зменшити трудовитрати, напруження, а також прогини металокопункції. На стадії підведення конструкції до опори № 1 (57,75 м) максимальні напруження в балці та прогини складають 81 МПа та 27,5 см (рис. 8) відповідно, в порівнянні зі схемою насуву із тимчасовою опорою – 140 МПа та 51,9 см (рис. 9) відповідно.



Рис. 7. Ізополя нормальних напружень в плиті (63+42+36,75 м)

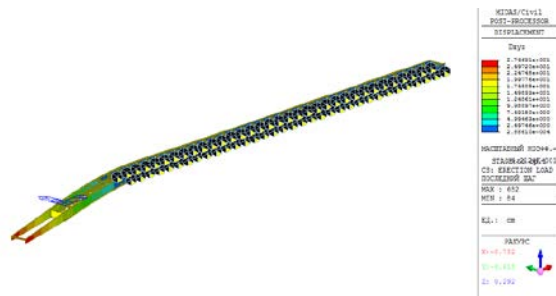


Рис. 8. Ізополя прогинів (57,75 м)

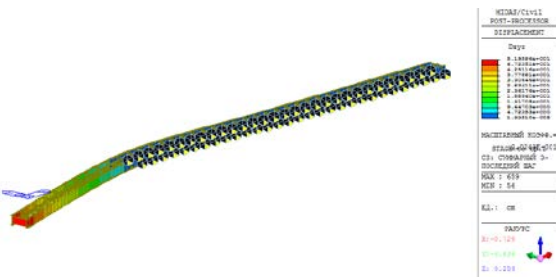


Рис. 9. Ізополя прогинів (57,75 м)

Тому для подальшого розрахунку приймаємо монтаж за схемою № 2 – насув металокопункції прогонової будови із влаштуванням аванбека.

Найбільш раціональний метод необхідно обрати з перших чотирьох схем – поздовжнього насуву металокопункції прогонової будови. При аналізі таблиці 1 видно, що при насуванні металокопункції за схемою № 1 (без проміжної опори та без аванбека) відбувається перевищення розрахункового опору сталі 15ХСНД (345 МПа). У в'язях відбувається депланація поперечного перерізу.

Таблиця 1

Напружений стан металеві частини прогонової будови при поздовжньому насуві

	Характерні стадії, м	Максимальні прогини, см	Максимальні напруження в балці/в зв'язках, МПа
Схема №1	63+78,75	227	417/479
Схема №2	63+78,75	111	168/307
Схема №3	57,75	51,9	140/220
Схема №4	63+2×42+57,75	29,5	80/153

Наукова новизна та практична значимість

Результати дослідження напруженого стану прогонової будови в процесі поздовжнього насуву характеризуються науковою новизною для обраної схеми. Доведено, що найраціональнішим методом спорудження є поздовжній насув із використанням аванбека або тимчасової опори. Однак, проаналізувавши дані схеми окремо, влаштування тимчасової опори вимагає великих трудовитрат у порівнянні з аванбеком, особливо при її значній висоті. Також можуть виникнути проблеми із пропуском суден при судноплавному прогоні. Тому проміжні опори влаштовують тільки при їх незначній висоті та за відсутності аванбека.

Висновки

Розрахунок насуву сталезалізобетонної прогонової будови показав, що вже на перших стадіях, коли конструкція заводиться в половину першого прогону, в залізобетонній плиті відбувається перевищення значень розрахункового опору на розтяг. Тому дані схеми монтажу ви-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

користувати не можна. На практиці рекомендовано спочатку насувати металеву частину прогонової будови, а потім вкладати блоки чи бетонувати монолітну плиту проїзду, що є раціональною схемою поздовжнього насуву вказаних прогонових будов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ефимов, П. П. Проектирование мостов [Текст] / П. П. Ефимов. – Омск : 2006. – 111 с.
2. Шишова, Т. А. Проектирование сталежелезобетонных пролетных строений со сплошностенчатыми главными балками: учебно-методическое пособие [Текст] / Т. А. Шишова, М. А. Телегин. – Омск : СибАДИ, 2012. – 100 с.
3. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – Надано чинності 2011-06-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
5. ДБН В.2.3-26:2010. Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування [Текст]. В 2 ч. – Надано чинності 2011-10-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 104 с. і 195 с.
6. Яременко, О. Ф. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані [Текст] / О. Ф. Яременко, Ю. О. Школа. – Одеса : МПП «Евен», 2010. – 135 с.
7. Китарь, Е. В. Анализ деформаций консоли пролетного строения при продольной надвижке [Электронный ресурс] / Е. В. Китарь, Л. В. Козырева // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2015. – № 2 (10). – Режим доступа: trts.esrae.ru/16-70 – Загл. с экрана.
8. Попович, Н. М. Исследование напряженного состояния пролетного строения с предварительно напряженного железобетона / Н. М. Попович, И. В. Клименко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 137-141.
9. Wulin Li, Strengthening of Composite Steel-Concrete Bridges / Wulin Li, Pedro Albrecht, Hamid Saadatmanesh // Journal of Structural Engineering. – 1995. – Vol. 121. – Issue 12. – P. 1842-1849.
10. Reiner, S. Bridges with Double Composite Action / S. Reiner – SEI (Structural Engineering International) – February 1996. – vol. 6, no. 1. – P. 32-36.
11. Brozzetti, J. Design development of steel-concrete composite bridges in France / J. Brozzetti // Journal of Constructional Steel Research. – 2000. – Vol. 55. – Issues 1-3. – P. 229-243.
12. Shun-ichi Nakamura, New technologies of steel/concrete composite bridges / Shun-ichi Nakamura, Yoshiyuki Momiyama, Tetsuya Hosaka, Koji Homma // Journal of Constructional Steel Research. – 2002. – Vol. 58. – Issue 1. – P. 99-130.
13. Flaga, K. Double composite bridges / K. Flaga, M. Pańtak // Inżynieria i Budownictwo (Engineering and Construction). – 2006. – No. 7-8. – P. 402-407.
14. Pańtak, M. Double composite bridges – the main concept and examples of its implementation / M. Pańtak // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 244-251.

Н. М. ПОПОВИЧ^{1*}, П. А. ОВЧИННИКОВ², В. И. ВЕРХОЛАЗ³

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (096) 649 32 92, эл. почта popovich.n.m@ukr.net, ORCID 0000-0003-1790-3110

² Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (099) 452 15 02, эл. почта ravlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

³ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (093) 233 54 32

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ПРИ СООРУЖЕНИИ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКИ

Цель. Целью данной статьи является определение наиболее рациональных схем монтажа в процессе продольной надвижки, при которых все напряжения в конструкции будут допустимыми. **Методика.** В каче-

стве объекта исследования в работе используется обычное неразрезное сталежелезобетонное пролетное строение по схеме 63+84+63 м по типовому проекту серии 3.503.9-62. Для исследования напряженного состояния пролетного строения в программном комплексе «Midas Civil» были созданы компьютерные конечно-элементные модели различных схем продольной надвижки. К расчету принято семь схем монтажа пролетного строения, которые включают в себя продольную надвижку как металлоконструкции (только металлической части пролетного строения), так и надвижку смонтированного сталежелезобетонного пролетного строения. **Результаты.** Расчет надвижки сталежелезобетонного пролетного строения доказал, что уже на первых стадиях, когда конструкция входит в половину первого прогона, в железобетонной плите происходит превышение значений расчетного сопротивления бетона на растяжение. Поэтому данные схемы монтажа использовать нельзя. На практике рекомендуется сначала двигать металлическую часть пролетного строения, а потом укладывать блоки или бетонировать монолитную плиту проезда, что является рациональной схемой продольной надвижки указанных пролетных строений. **Научная новизна.** Результаты исследования напряженного состояния пролетного строения в процессе продольной надвижки отмечены научной новизной для выбранной схемы. **Практическая значимость.** Доказано, что наиболее рациональным методом сооружения является продольная надвижка с использованием аванбека или временной опоры.

Ключевые слова: метод продольной надвижки; метод конечных элементов; сборная железобетонная плита; сталежелезобетонное пролетное строение; неразрезное пролетное строение; металлоконструкция

M. M. POPOVICH^{1*}, P. A. OVCHYNNYKOV², V. I. VERKHOLAZ³

^{1*} Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 649 32 92, e-mail popovich.n.m@ukr.net, ORCID 0000-0003-1790-3110

² Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 452 15 02, e-mail pavlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

³ Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 233 54 32

RESEARCH OF THE STRESS-TRAIN STATE OF THE SPAN WHILE CONSTRUCTING BY LONGITUDINAL THRUST METHOD

Purpose. The purpose of the given work is to determine the most rational construction schemes during longitudinal thrust such that all of the construction stresses would be allowable. **Methodology.** As an object of study the work considers common continuous composite reinforced concrete span by the scheme 63+84+63 m made according to the model design of 3.503.9-62 series. For the purpose of research of the span's stress state using software package "Midas civil" computer finite element models of different schemes of longitudinal thrust were created. Seven construction schemes were accepted for the calculation that include both longitudinal thrust of metal part of the span and the thrust of constructed composite reinforced concrete span. **Findings.** The calculation of composite reinforced concrete thrust has proved that during the first stages, when the structure reaches the half of the first span, the stress in the concrete slab exceeds designed tensile strength of the concrete. Because of this, given construction schemes can't be used. On practice it is recommended to thrust the metal part first and then to lay blocks or concrete the solid deck, that is the rational scheme of longitudinal thrust for the given spans. **Originality.** The results of the stress-strain state research during the longitudinal thrust can be noted as a scientific novelty for the chosen scheme. **Practical value.** It was shown that the most rational method of construction is the longitudinal thrust when using either launching nose or a temporary support.

Keywords: longitudinal thrust method; finite element method; composite reinforced concrete slab; composite reinforced concrete span; continuous span; metalwork

REFERENCES

1. Yefimov P. P. *Proektirovanie mostov* [Designing of bridges]. Omsk, 2006. 111 p.
2. Shishova T. A., Telegin M. A. *Proektirovanie stalezhelezobetonnykh proletrykh stroeniy so sploshnostenchatymi glavnyimi balkami* [Designing of steel-and-steel span structures with continuous main beams: a teaching aid]. Omsk, SibADI Publ., 2012. 100 p.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

3. DBN V.2.3-14-2006. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyjiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
4. DBN B.2.6-98:2009. *Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia* [State Standard B.2.6-98:2009. Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions], Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2011. 71 p.
5. DBN V.2.3-26-2010. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Stalevi konstruksiyi. Pravyla proektuvannya* [State Standard V.2.3-26-2010. Transport constructions. Bridges and pipes. Steel structures. Design rule]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2010. 104 p. and 195 p.
6. Yaremenko O. F., Shkola Yu. O. *Nesucha zdarnist ta deformatyvnist zalizobetonnykh sterzhnevnykh elementiv v skladnomu napruzhenomu stani* [Bearing ability and deformability of reinforced concrete rod elements in a complex stressed state]. Odesa, MPP «Even» Publ., 2010. 135 p..
7. Kitar Ye. V., Kozyreva L. V. *Analiz deformatsiy konsoli proletnogo stroeniya pri prodolnoy nadvizhke* [Analysis of deformations of the fly-over console with longitudinal slip] – *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitelstve – Technical regulation in transport construction*, 2015, issue 2 (10), Available at: <https://trts.esrae.ru/16-70>.
8. Popovich N. M., Klimenko I. V. *Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya proletnogo stroeniya s predvaritelno napryazhennogo zhelezobetona* [Investigation of the stressed state of a span structure with prestressed reinforced concrete]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 137-141.
9. Li Wulin, Albrecht Pedro, Saadatmanesh Hamid *Strengthening of Composite Steel-Concrete Bridges*. *Journal of Structural Engineering*, 1995, vol. 121, issue 12, pp. 1842-1849.
10. Reiner S. *Bridges with Double Composite Action*. SEI (Structural Engineering International), February, 1996, vol. 6, issue 1. pp. 32–36.
11. Brozzetti J. *Design development of steel-concrete composite bridges in France*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2000, vol. 55, issue 1–3, pp. 229-243.
12. Nakamura Shun-ichi, Momiyama Yoshiyuki, Hosaka Tetsuya, Homma Koji *New technologies of steel /concrete composite bridges/*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2002, vol. 58, issue 1, pp. 99-130.
13. Flaga K., Pańtak M. *Double composite bridges*. *Inżynieria i Budownictwo – Engineering and Construction*, 2006, issue 7-8, pp. 402-407.
14. Pańtak M. *Double composite bridges – the main concept and examples of its implementation*. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 244-251.

Статтю рекомендовано до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф. Й. Й. Лучком (Україна).

Надійшла до редколегії 20.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.