

ЕФЕКТИВНІСТЬ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Балабух Я.А.

Львівський регіональний науково-технічний центр ДерждорНДІ

У своєму розвитку мостобудування проходило різні стадії переважного використання певних матеріалів: дерева, каменю, чавуну, сталі, залізобетону. Як показує багаторічний досвід проектування і будівництва мостів, в ряді випадків найбільш ефективними є конструкції, в яких об'єднуються для спільної роботи різні матеріали.

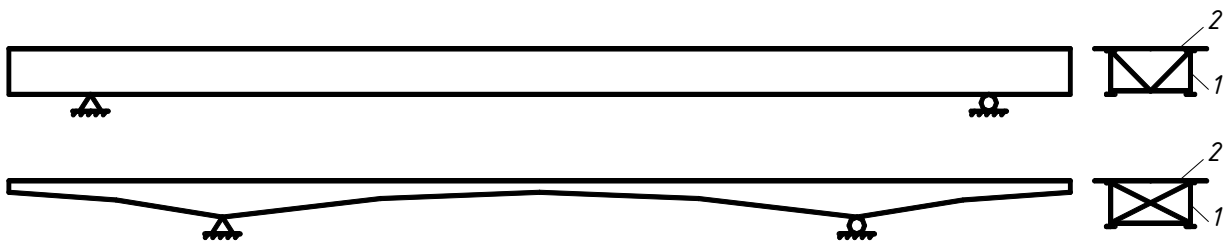
Основний напрямок ефективного мостобудування тісно пов'язаний з економією сталі. Для вирішення цієї задачі паралельно з розширенням використання залізобетону постає питання про оптимальне поєднання бетону і сталі у конструктивних рішеннях мостів.

Згідно з технічними вказівками [1] розрізняють дві групи прогонових будов, в яких сталь замінена залізобетоном. До першої групи відносять прогонові будови, у яких із залізобетону виконана плита проїзної частини (плоска або ребриста), решта елементів – зі сталі. До другої групи відносять ті прогонові будови, у яких, окрім плити проїзної частини, застосовані інші конструкції із залізобетону.

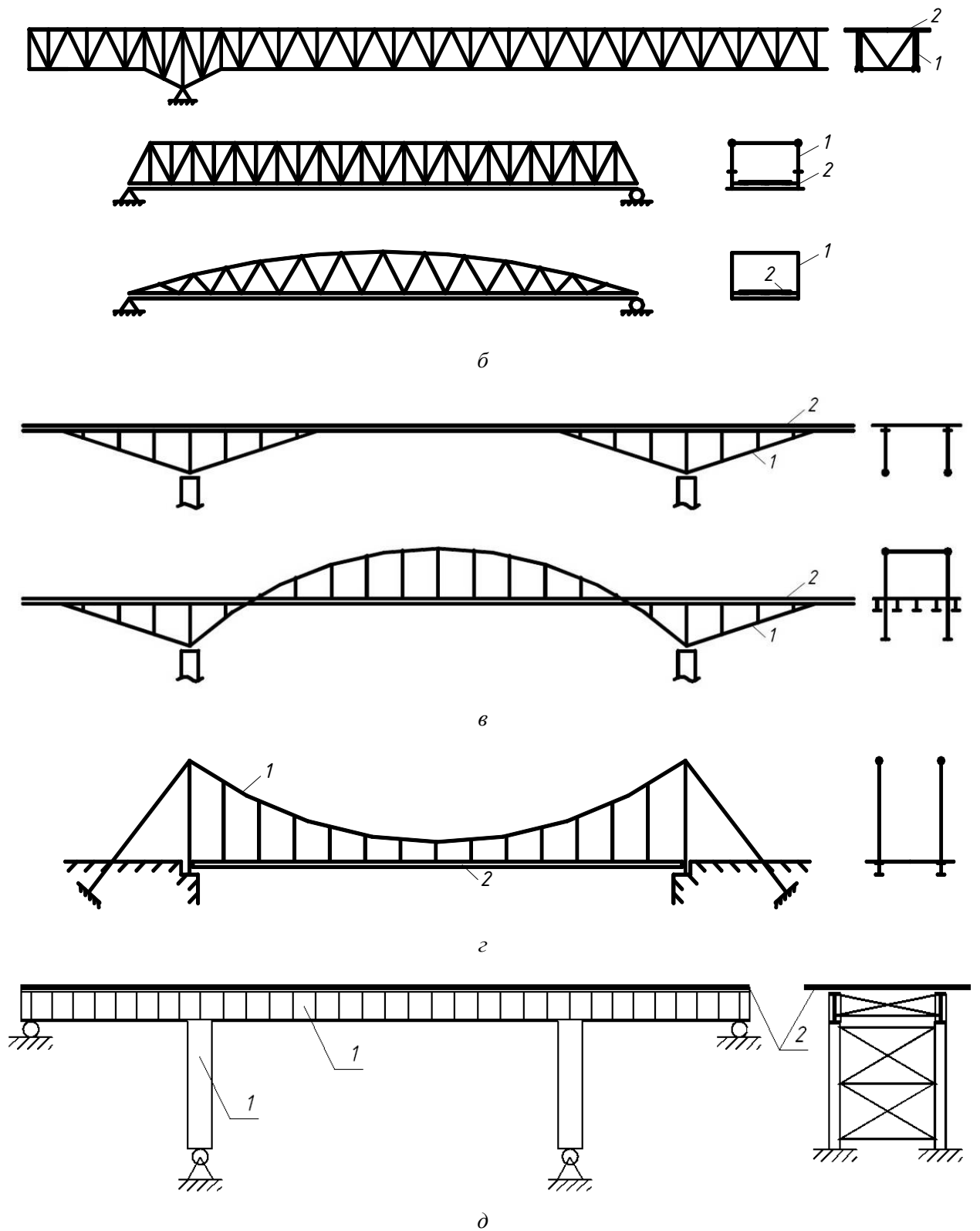
За витратою сталі сталезалізобетонні прогонові будови першої групи близькі до сталевих, а прогонові будови другої групи – до залізобетонних. У міру розвитку та удосконалення сталезалізобетонні прогонові будови мають наближатися за витратою сталі до залізобетонних.

Із статичних схем для сталезалізобетонних прогонових будов найчастіше застосовують балкові розрізні та нерозрізні, та набагато рідше – рамні, аркові та висячі схеми (рис. 1) [2, 3].

Балкові сталезалізобетонні прогонові будови найчастіше мають головні балки із суцільною стінкою з їздою поверху (рис. 2). Із наскрізних сталезалізобетонних конструкцій найбільш розповсюджені ґратчасті комбіновані прогонові будови з жорсткими поясами на рівні проїзної частини та позавузловим обпиранням на них проїзної частини (рис. 3). Характерними для сталезалізобетону різновидами комбінованих систем є підпружні (рис. 1, в) та сучасні висячі або вантові мости (рис. 1, г).

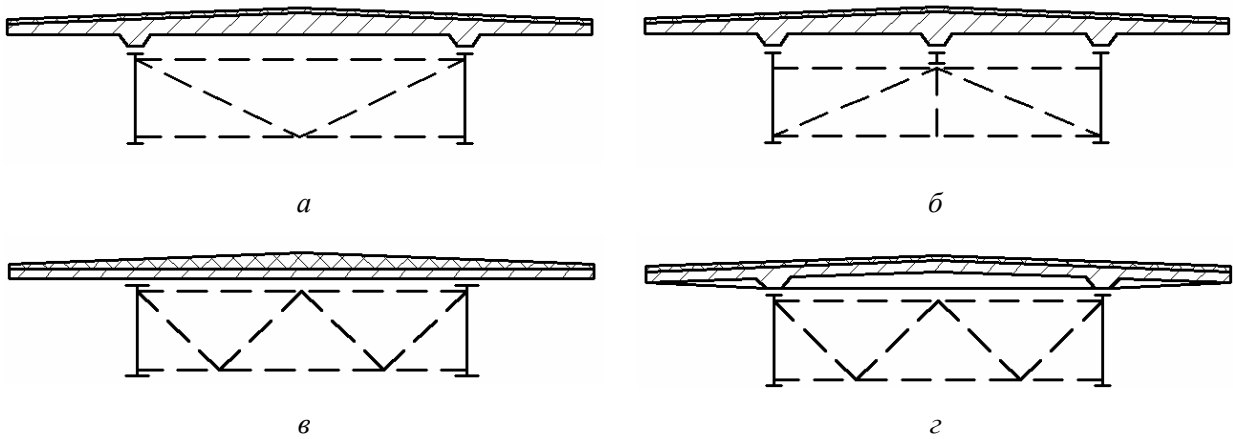


а



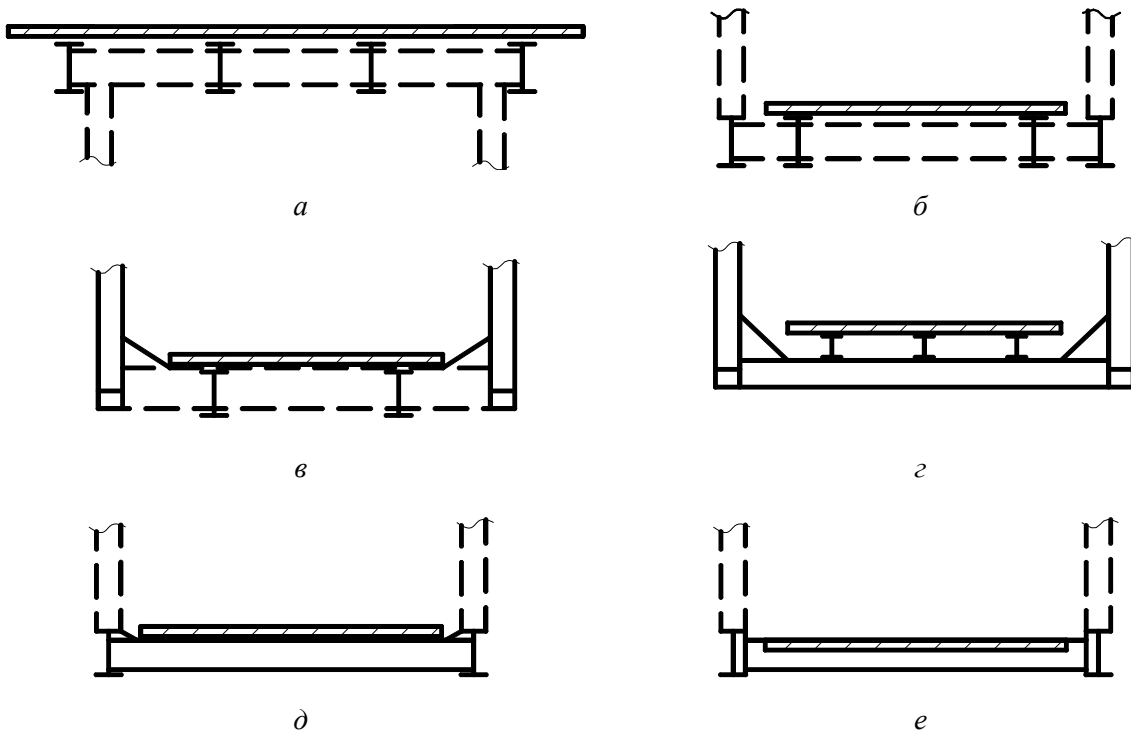
а – балково-розрізні та нерозрізні з їздою поверху; б – наскрізні: гратчасті та сегментні з їздою понизу; в – підпружні та аркові з їздою поверху і посередині; г – вісячі; д – рамні;
1 – сталь, 2 – залізобетон.

Рис. 1. Сталезалізобетонні прогонові будови



*а – плита по головних балках; б – плита по головних і поздовжніх балках;
в – плита з поперечними балками; г – ребриста плита.*

Рис. 2. Схеми проїзних частин сталезалізобетонних прогонових будов із суцільними балками



а, б, в, г – плита по поздовжніх балках або жорстких поясах; д – плита по сталевих поперечних балках; е – ребриста залізобетонна проїзна частина.

Рис. 3. Схеми проїзних частин наскрізних сталезалізобетонних прогонових будов

У зв'язку з тим, що на сьогоднішній день в Україні побудовано в основному балкові сталезалізобетонні мости, а мости рамної, аркової та вантової систем зустрічаються рідше, нижче визначено ефективність мостів тільки для прогонових будов балково-розрізної та балково-нерозрізної систем з їздою поверху та понизу. При цьому для статистичної обробки

використано дані, отримані більш ніж для 70 великих мостів прогоном від 43 до 147 м, побудованих у колишньому СРСР [3-6].

Для порівняння ефективності за головні показники прийнято витрати матеріалів прогонових будов на їх спорудження [7].

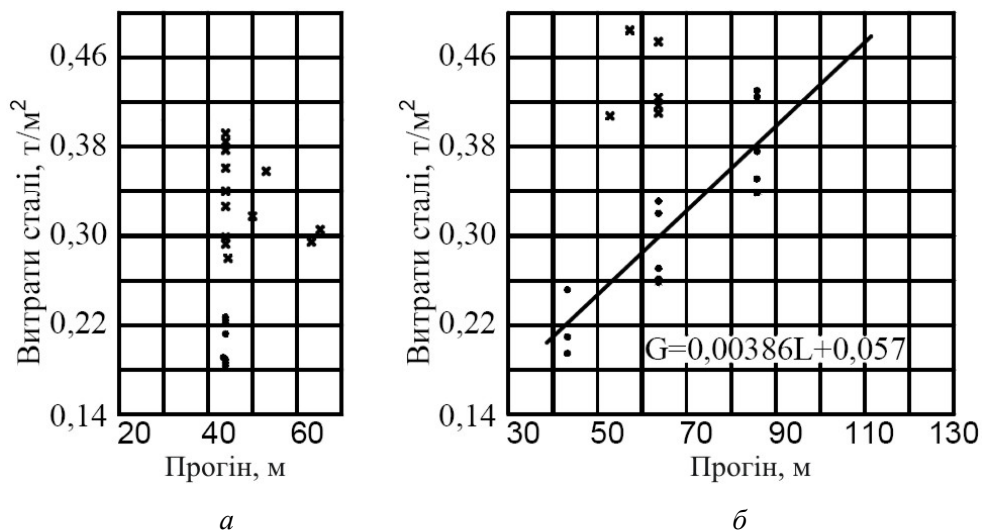
На показники витрат матеріалів впливають: статична схема; розміри прольотів прогонових будов, відстань між головними балками (фермами); конструкції головних балок (ферм), відносна висота балок (ферм), відсутність підсиленних елементів, обрис нижніх і верхніх поясів, ступінь заміни сталі бетоном, розташування проїзної частини (поверху, понизу, посередині); навантаження (тимчасові, постійні) тощо.

Усі зазначені фактори ураховано зведеними коефіцієнтами для конструктивних варіантів прогонових будов, розподілених на групи за їх параметрами:

1. Балково-розрізні суцільного перерізу з їздою поверху при ширині проїзної частини 8,5...10 м та відстані між головними балками 5...6 м.
2. Балково-нерозрізні суцільного перерізу з їздою поверху при ширині проїзної частини 8,5...10 м, коли у поперечному перерізі є 2 балки.
3. Балково-розрізні з їздою понизу при ширині проїзної частини 8,5...10 м і відстані між головними фермами, застосованими як головні балки, 8 м.
4. Балково-нерозрізні з їздою понизу при ширині мосту 8,5...10 м і відстані між головними фермами 8 м.

Основним питанням компонування прогонової будови з їздою поверху є вибір кількості головних балок (ферм) у поперечному перерізі моста.

У сучасний період основним принципом будівництва є вимога економії сталі. Разом з тим, сталезалізобетонні мости найчастіше застосовують при великих прогонах, коли основним принципом проектування є концентрація матеріалу. Зі збільшенням прогонів і зменшенням ширини моста раціональна кількість головних балок зменшується. Тому найекономічнішим стає поперечний переріз з двома головними балками.



• – мости з 2-ма фермами у поперечному перерізі; x – мости з 4-ма балками в поперечному перерізі.

Рис. 4. Витрати сталі у сталезалізобетонних балково-розрізних (а) та балково-нерозрізних (б) прогонових будовах з їздою поверху

Для рівних умов витрати сталі балково-розрізних сталезалізобетонних прогонових будов з їздою поверху з чотирма головними балками у поперечному перерізі перевищують витрати сталі прогонових будов з двома головними балками у поперечному перерізі приблизно на 60...90 %. Зазначимо, що прогонові будови з їздою поверху в основному виконують з балок із суцільною стінкою (див. рис. 2).

Техніко-економічні показники витрат сталі у прогонових будовах сталезалізобетонних мостів з їздою поверху наведені на рис. 4.

Усереднені витрати сталі балково-розрізних сталезалізобетонних прогонових будов з двома головними балками у поперечному перерізі для прогону $L = 43$ м становлять $g = 0,21$, т/м².

Усереднені витрати сталі балково-нерозрізних сталезалізобетонних прогонових будов з їздою поверху та з двома балками у поперечному перерізі змінюється за емпіричною формулою

$$g = 0,00885 L + 0,057, \text{ т/м}^2. \quad (1)$$

Залізобетонна плита з розрахункової точки зору є пластиною, яка працює на місцевий згин і на горизонтальні зусилля уздовж, а у деяких випадках - упоперек осі моста.

Витрати бетону проїзної частини, у основному, залежать від прогону плити та від ступеня заміни сталі залізобетоном. У вибраних для порівняння прогонових будовах ширина плити проїзної частини коливається у межах 5...6 м, що незначно впливає на витратах бетону. Тому витрати бетону на 1 м² проїзної частини приймають постійними: $v = 0,16$ м³/м² – для балково-розрізних і нерозрізних з їздою поверху; $v = 0,15$ м³/м² – для балково-розрізних і нерозрізних з їздою понизу.

Гратчасті об'єднані прогонові будови з їздою поверху з'явилися пізніше об'єднаних прогонових будов із суцільними стінками та отримали менше розповсюдження. Переважний розвиток об'єднаних прогонових будов із суцільними стінками у колишньому СРСР був пов'язаний із застосуванням зварювання, появою потужної монтажної техніки та підвищенням вимог до зовнішнього вигляду мостів. Крім того, забезпечення спільної роботи залізобетонної плити з верхнім поясом головних ферм є більш складною задачею, ніж при суцільних балках. Однак, при великих прогонах достатньої будівельної висоти гратчасті прогонові будови з їздою поверху вимагають менше сталі.

Особливості проїзної частини наскрізних прогонових будов виявляються у тому, що плиту у них не завжди можна опертися безпосередньо на головні ферми. У таких прогонових будовах схеми проїзної частини можна поділити на три групи (рис. 3).

До першої групи слід віднести схеми з обпиранням залізобетонної плити на сталеві жорсткі пояси або поздовжні балки, коли плита працює на місцевий згин у поперечному напрямку (рис. 3, а, б, в, г).

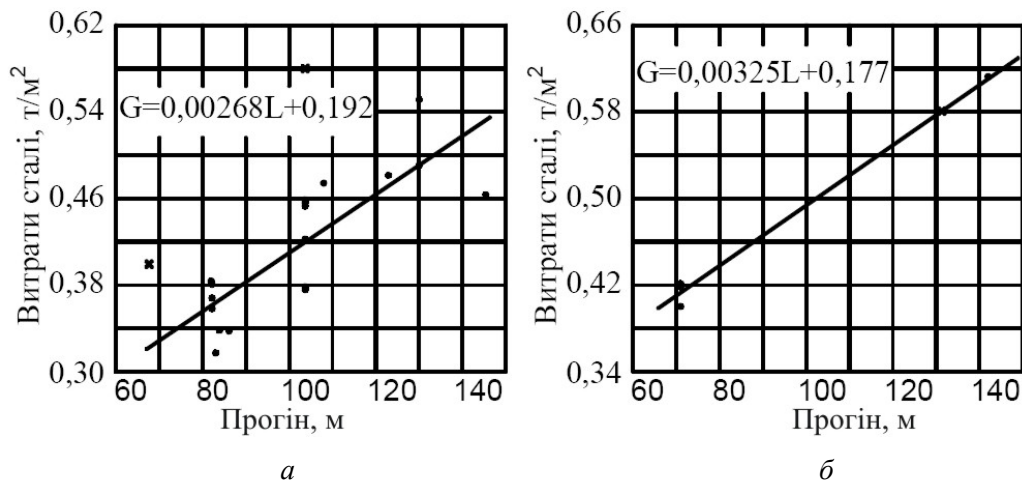
До другої групи відносять схеми з обпиранням залізобетонної плити на сталеві поперечні балки. Плита проїзної частини працює на місцевий згин у поздовжньому напрямку. При збільшенні відстані між поперечними балками плиту можна виконати з поперечними ребрами (рис. 3, д).

До третьої групи відносять схеми з повністю залізобетонною ребристою плитою проїзної частини (рис. 3, е).

На сьогоднішній день найчастіше використовують два основних типа автодорожніх сталезалізобетонних прогонових будов з їздою понизу: сегментні та гратчасті комбіновані схеми з паралельними поясами (рис. 1, б).

За даними М.М. Стрелецького [2, 3] витрати сталі сталезалізобетонних мостів сегментної системи на 16 % менші від у комбінованих систем з паралельними поясами. Однак система з паралельними поясами зручніша від сегментної для навісного складання та поздовжнього насування при декількох прогонах і відрізняється великим ступенем стандартизації елементів.

Техніко-економічні показники балково-розрізних і нерозрізних прогонових будов з їздою понизу наведено на рис. 5.



• – мости з 2-ма фермами у поперечному перерізі; x – мости з 4-ма балками в поперечному перерізі.

Рис. 5. Витрати сталі у сталезалізобетонних балково-розрізних (а) та балково-нерозрізних (б) прогонових будовах з їздою понизу

Конструкцію переважної більшості мостів з їздою понизу виконують у вигляді наскрізних ферм з паралельними поясами.

Залежність витрат металу сталезалізобетонних прогонових будов балково-розрізної системи з їздою понизу від довжини прогонів можна знайти за формулою

$$g = 0,00268 L + 0,192, \text{ т/м}^2, \quad (2)$$

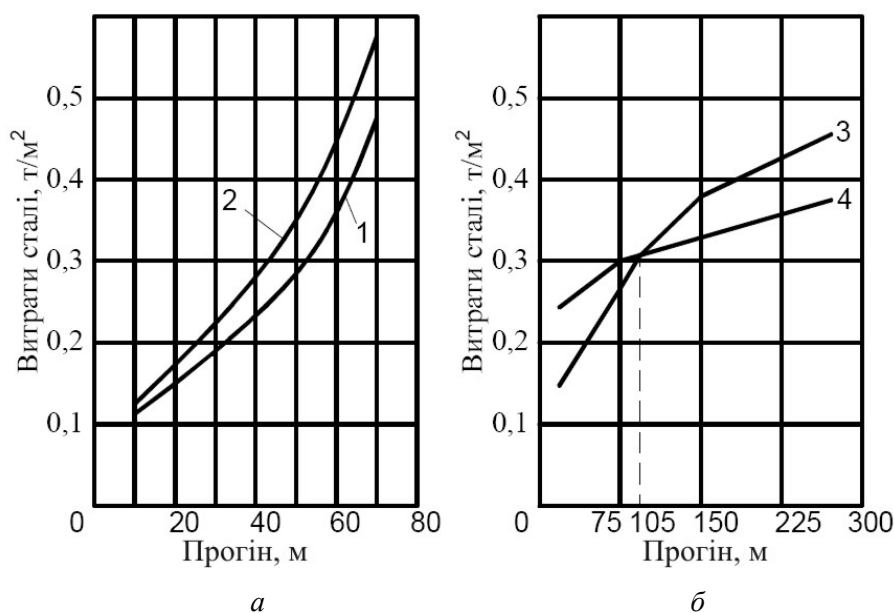
а витрати сталі сталезалізобетонних прогонових будов балково-нерозрізної системи з їздою понизу – за формулою

$$g = 0,00325 L + 0,177, \text{ т/м}^2. \quad (3)$$

Таким чином, за витратами металу балково-нерозрізні конструкції практично мало відрізняються від балково-розрізних. Це, скоріш за все, тому, що за конструктивними міркуваннями неможливо досягти значної економії сталі у нерозрізних мостах за епюрами моментів. З іншого боку, у нерозрізних конструкціях необхідні додаткові витрати сталі на з'єднання окремих прогонів у нерозрізні.

Закінчуючи аналіз ефективності конструктивних рішень сталезалізобетонних мостів, треба відмітити два основних фактори, які більш за все впливають на ефективність зазначених систем (рис. 6). Перший фактор визначає вплив включення плити у роботу головних балок прогонової будови (рис. 6, а) сталезалізобетонного моста на витрати металу [8]. Другий фактор ефективності впливає [2, 3] з порівняння витрат металу автодорожніх сталезалізобетонних прогонових будов з витратами металу у сталевих прогонових будовах з ортотропними плитами.

Закордонні дані (наприклад, США) [9] показують, що за витратами металу автодорожні сталезалізобетонні прогонові будови ефективні до прогону 105 м (рис. 6, б). З урахуванням попереднього напруження великопрогонових сталезалізобетонних прогонових будов високоміцною арматурою прогін, який характеризується близькими витратами сталі у нерозрізних сталезалізобетонних і сталевих ортотропних прогонових будовах є значно більшим і становить, як правило, 140 м [10]. Граничний прогін за приведеною вартістю у колишньому СРСР становив найчастіше 110...120 м. Виходячи із сукупності показників (як зведеної вартості, так і з витрат металу) і з досвіду будівництва мостів у теперішній час сталезалізобетонні автодорожні прогонові будови доцільно використовувати до прогонів 120...130 м, а для більших прогонів – з ортотропною плитою проїзної частини.



1 – залізобетонна плита, включена у роботу головних балок; 2 – плита, не об'єднана з балками;
3 – сталезалізобетонні автодорожні прогонові будови; 4 – сталеві прогонові будови з ортотропними плитами.

Рис. 6. Узагальнені графіки витрат металу на прогонові будови мостів у залежності від наявності включення залізобетонної плити у роботу (а) та для різних видів мостів (б)

Співставлення сталезалізобетонних прогонових будов із залізобетонними становить великі труднощі. Витрати сталі на сталезалізобетонні прогонові будови у 1,5...2 рази вищі від залізобетонних, але витрати бетону на одиницю довжини тут майже не залежать від величини прогону. У той же час як у залізобетонних прогонових будовах витрати бетону збільшується зі збільшенням прогону. Відповідно конкурентноздатність сталезалізобетонних прогонових будов зі збільшенням прогону також збільшується.

При проектуванні автодорожніх і міських мостів прогонами від 160 до 180 м завжди необхідно порівняння варіантів сталезалізобетонної, сталеві ортотропної і залізобетонної прогонових будов та вибір раціонального варіанту на основі аналізу усіх показників і конкретних умов.

В СРСР технічними умовами [1] було заборонено застосування сталезалізобетонних прогонових будов прогоном менше 42 м. Однак, ця заборона не поширювалася на будівництво у важкодоступних умовах.

Так, в Україні важкодоступними районами можна вважати райони Карпат і гірського Криму, де відсутні транспортні та монтажні можливості для використання залізобетонних

прогонових будов. Тут сталезалізобетонні автодорожні мости невеликих прогонів знаходять зростаюче застосування.

Висновки

Сталезалізобетонні мости є ефективними конструкціями, в яких раціонально використовуються переваги як сталі, так і бетону. Економічна ефективність їх використання починається з прогонів 33-42 м і при сучасному розвитку мостобудування обмежується прогонами довжиною 160-180 м. Але у важкодоступних гірських районах, в умовах щільної міської забудови сталезалізобетонні мости є ефективними і при прогонах менше 33 м.

Література

1. Технические указания по проектированию сталежелезобетонных пролётных строений: ВСН 92-63. – М.: Оргтрасстрой, 1963. – 194 с.
2. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные мосты / Стрелецкий Н.Н. – М.: Транспорт, 1965. – 376 с.
3. Стрелецкий Н.Н. Сталежелезобетонные пролётные строения мостов. 2-е изд., перераб. и доп. / Стрелецкий Н.Н. – М.: Транспорт, 1981. – 360 с.
4. Нгуен Ван Тим. Выбор оптимальных конструкций автодорожных и городских мостов в условиях Вьетнама: дис. ... кандидата техн. наук. – К: 1969. – 249 с.
5. Гитман Э.М. Вопросы оптимального проектирования сталежелезобетонных пролётных строений / Гитман Э.М. // Исследование современных конструкций стальных мостов. – 1975. – Вып. 94. – С. 18-39.
6. Маров Б.П. Исследование условий совместной работы железобетонной плиты с металлическими сплошными балками / Маров Б.П. // Тр. НИИЖГ. – 1958. – Вып. 13. – С. 35-62.
7. Указания по сравнению и оценке проектных вариантов средних и больших мостов: ВСН 108-64. – М.: Оргтранстрой, 1964.
8. Гибшман Е.Е. Мосты со стальными балками, объединёнными с железобетонной плитой / Гибшман Е.Е. – М.: Дориздат, 1952. – 86 с.
9. Мосты и трубы: СниП 2.05.03-84*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 200 с.
10. Standard plans for highway bridgts. – Vol. 11. US Department of Transpotation, April, 1968.