УДК 624.21.033 **DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.80**

АВТОДОРОЖНІ ТИМЧАСОВІ ЗБІРНО-РОЗБІРНІ МОСТИ

Бугаєвський С. О., Ненастіна Т. О., Шеховцова Т. О., Штефан О. М., Маций М. Є.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. *Мостові переходи на автомобільних дорогах є найбільш вразливими об'єктами. Відновлення мостів, зруйнованих унаслідок аварій, стихійних лих і під час бойових дій має найважливіше значення для функціонування економіки України та її збройних сил. Організація робіт із відновлення мостів на автомобільних дорогах залишається одним із найскладніших завдань, пов'язаних із значними витратами сил, засобів і часу. Основна вимога, що висувається за таких умов, – відновлення зруйнованих мостів у короткий термін. Застосування комплектів автодорожніх тимчасових збірно-розбірних мостів дає змогу за невеликий термін відновити перерваний рух через водну перешкоду. У статті колективу авторів викладено результати узагальнення та систематизації тимчасових збірно-розбірних мостів різних статичних систем цивільного й військового призначення, що використовують в Україні та в інших країнах світу. Завдання дослідження полягало в ознайомленні широкого кола фахівців-мостовиків з особливостями застосування різних конструкцій автодорожніх тимчасових збірно-розбірних мостів і подальшому моделюванні організаційно-технічних рішень їх використання в умовах воєнної агресії проти України.*

Ключові слова: *тимчасові збірно-розбірні мости, прогонова будова, апарель, опора, фундамент, міст Бейлі.*

Вступ

Тимчасові збірно-розбірні мости – це конструкції мостів, що мають болтові, шарнірні, замкові та інші роз'ємні монтажні з'єднання. Їх можна багаторазово використовувати як інвентарні протягом визначеного терміну служби. Постійні мости зі сталі та залізобетону експлуатують 50–100 років, а тимчасові – значно менше. Термін служби тимчасових мостів залежить від тривалості виконання конкретних завдань, що ставляться перед спорудою:

- облаштування для будівництва капітального мосту – до закінчення його будівництва, тобто 1–5 років;
- розроблення кар'єрів, лісосік, родовищ корисних копалин із обмеженими запасами – 10–20 років;
- пропуск важкого негабаритного навантаження – не більше ніж один рік;
- тимчасове відновлення сполучення через водну перешкоду після руйнування постійного мосту – не більше ніж один рік.

Серед тимчасових збірно-розбірних мостів можна виокремити висоководні, що працюють цілий рік та більше, зокрема в період льодоходу й паводку, та низьководні (короткострокові), що експлуатуються один сезон без пропуску льодоходу й паводку.

У загальному комплексі робіт із розвитку транспортної мережі тимчасовим мостам відводиться досить значна роль.

Аналіз публікацій

Мостові переходи на автомобільних дорогах є найбільш вразливими об'єктами. Відновлення мостів, зруйнованих унаслідок аварій, стихійних лих і під час бойових дій, має найважливіше значення для функціонування економіки України та її збройних сил.

Організація робіт із відновлення мостів на автомобільних дорогах залишається одним із найскладніших завдань, пов'язаних із значними витратами сил, засобів і часу. Основна вимога, що водночас висувається, – відновлення зруйнованих мостів у короткий термін [1–6].

Застосування комплектів уніфікованих автодорожніх тимчасових збірно-розбірних мостів дає змогу за короткий термін відновити перерваний рух через водну перешкоду.

Мета та постановка завдання

Метою досліджень є узагальнення та систематизація тимчасових збірно-розбірних мостів різних статичних систем цивільного й військового призначення, що використовують в Україні та в інших країнах світу.

Завдання дослідження полягає в ознайомлені широкого кола фахівців-мостовиків з особливостями застосування різних конструкцій автодорожніх тимчасових збірно-розбірних мостів і подальшому моделюванні організаційно-технічних рішень їх використання в умовах воєнної агресії проти України.

Виклад основного матеріалу

Автодорожні тимчасові збірно-розбірні мости в процесі виконання свого прямого призначення – забезпечення безпечного руху транспорту, а також за міцністю та надійністю не мають поступатися капітальним мостам. Обмеження можуть бути за швидкістю руху, інтервалами між транспортними одиницями, шириною проїзду та підмостовими габаритами.

Крім того, до тимчасових мостів висуваються *особливі вимоги*:

1) стислі терміни складання та розбирання із застосуванням нескладного обладнання;

2) мінімальні трудові й матеріальні витрати;

3) багаторазове використання конструкцій;

4) транспортабельність елементів прогонових будов і опор під час перевезення їх залізницею та автомобільними дорогами.

Певний запас конструкцій для тимчасового мосту має бути в мостобудівної організації як інвентарне майно.

1. Збірно-розбірні мости для військового призначення, розроблені в Радянському Союзі та російській федерації.

1.1. Збірно-розбірні мости малих прогонів. *Малий автодорожній розбірний міст (МАРМ)* [7] призначений для зведення низьководних тимчасових мостів через невеликі річки завширшки до 100 м і завглибшки до 4 м, зведення шляхопроводів, а також для влаштування естакадних ділянок висоководних і наплавних мостів на автомобільних дорогах (рис. 1).

Міст завдовжки 118,24 м та вантажопідйомністю 50 т збирається 41 військовим за 7–8 год, а шляхопровід – за 4–5 год. Ширина проїзної частини мосту – 4,2 м, прогін – 9,3 м, максимальна висота прогону – 5 м, крок зміни висоти опори – 0,15 м. Вага комплекту – 148 т. Матеріал основних конструкцій – низьколегована сталь 15ХСНД та 10Г2С1Д.

Комплект МАРМ включає: 11 прогонових будов з їздою по верху розрахунковим прогоном 9,3 м і габаритом проїзду 4,2 м; два берегові прогони (апарелі) з розрахунковим прогоном 7,97 м; 10 проміжних опор заввишки від 2 до 5 м; дві берегові опори; монтажне обладнання та пристосування для транспортування. Уся матеріальна частина МАРМ поділяється на групи: прогонових будов; опор; монтажного обладнання; сполучення з висоководними й наплавними мостами; запасних частин; пристосувань для транспортування.

Група прогонових будов містить блоки прогонових будов, апарелі, сполучні талрепи, деформаційні щити, колесовідбійники та перильні огорожі.

Блоки прогонової будови – це просторова зварна конструкція, що складається з двох головних прокатних балок, які є основними опорними елементами блоку, та з проміжних і торцевих балок (рис. 2).

Апарелі призначені для поєднання прогонової будови з берегом (рис. 3). За конструкцією апарель аналогічна блоку прогонової будови й відрізняється від нього лише розмірами за довжиною та оформленням одного кінця.

Сполучні талрепи слугують для поперечного об'єднання блоків прогонових будов. Сполучний талреп складається з муфти з отвором d=30 мм посередині для коміра та двох стяжок.

Деформаційний щит призначений для перекриття ділянки проїзної частини між торцями прогонових будов, що спираються на опору блоків (рис. 4).

Колесовідбійник слугує огорожею проїзної частини мосту для тимчасового рухомого навантаження і є відкритою звареною коробкою з поперечними діафрагмами (рис. 4, *в*). Перильне огородження складається з перильних стійок та перильного заповнення з канату.

Група опор містить проміжні та берегові опори, гнучкі поздовжні гальмівні зв'язки та анкерні палі (улаштування). Опори є плоскими чотиристійковими рамами, призначеними для спирання на них блоків прогонових будов мосту й передачі навантаження далі на ґрунт. Проміжні опори в поперечному напрямку складаються з двох однакових блоків, основними частинами яких є ригелі, стійки, рамки поперечних зв'язків, черевики, розпірки черевиків та штирі (рис. 5).

Стійки опори виконані з труб d=146 мм та мають різну висоту – 4080, 3040 і 2140 мм (рис. 5).

Черевики слугують для розподілу тиску від опори на ґрунт і кріпляться до стійки опори шарнірно, що дає змогу встановити їх з ухилом (рис. 6).

Берегові опори, як і проміжні, у поперечному напрямку складаються з двох однакових блоків (рис. 6, *в*).

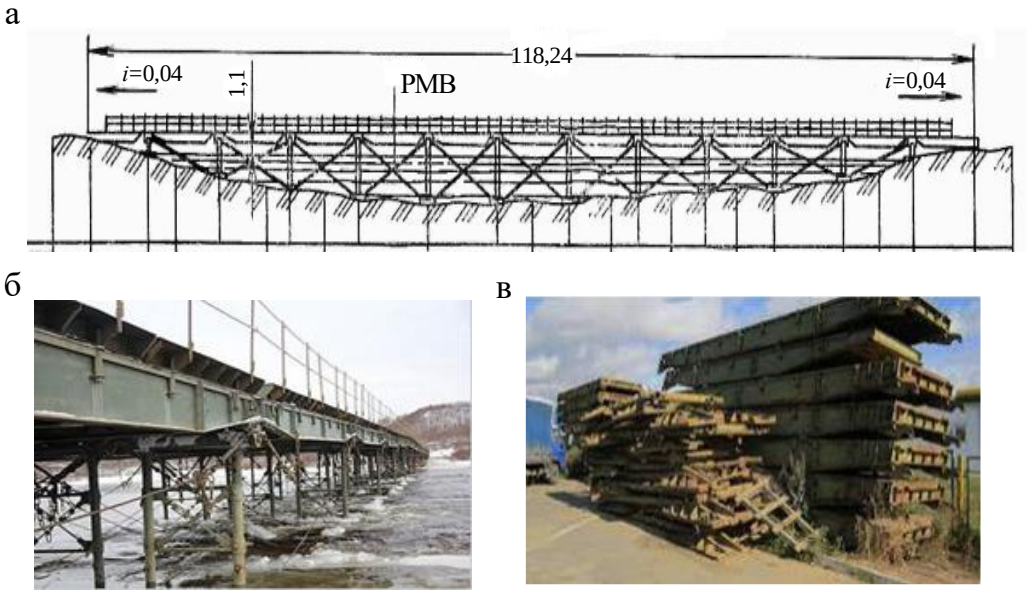

Рис. 1. Міст із комплекту МАРМ: а – схема; б – зовнішній вигляд; в – елементи

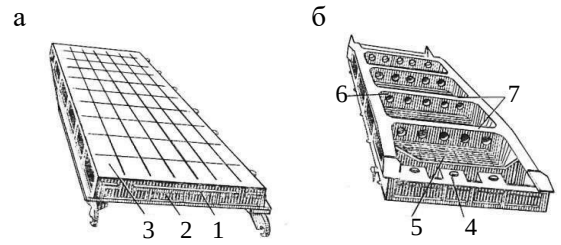

Рис. 2. Блок прогонової будови: а – загальний вигляд; б – вигляд знизу; 1–7 – елементи

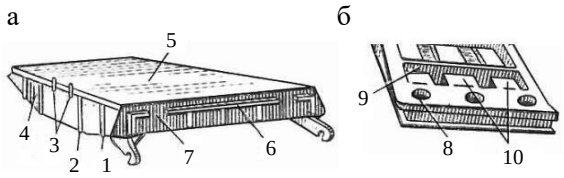

Рис. 3. Апарель: а – загальний вигляд; б – вигляд знизу; 1–9 – елементи

Гнучкі поздовжні гальмівні зв'язки призначені для забезпечення поздовжньої стійкості мосту під час його експлуатації. Анкерні палі призначені для анкерування апарелів, сприйняття поздовжніх зусиль і їх передачі на ґрунт.

Міст малих прогонів (ММП) [7]. Недоліки, виявлені під час багаторічної експлуатації МАРМ, усунуті в процесі розроблення мосту малих прогонів ММП. Міст призначений для перетинання річки завширшки до 170 м і завглибшки до 5 м, зведення шляхопроводів та естакадних ділянок висоководних і комбінованих мостів. Шляхопровід збирається 37 військовими за 9 год (рис. 7, *а*), а міст завдовжки 195 м, габаритом 4,5 м, вантажопідйомністю 80 т збирається 51 військовим за 11 год (рис. 7, *б*). Прогін прогонових будов – 10,0 м, максимальна висота опори – 6,0 м, крок зміни висоти опори – 0,15 м. Маса комплекту – 235 т, марка сталі основних елементів – 10ХСНД та 09Г2С.

Комплект ММП включає: прогонові будови, опори, монтажне обладнання, запасні частини, пристосування для транспортування. Блок прогонової будови є порожнистою зварною конструкцію (рис. 8).

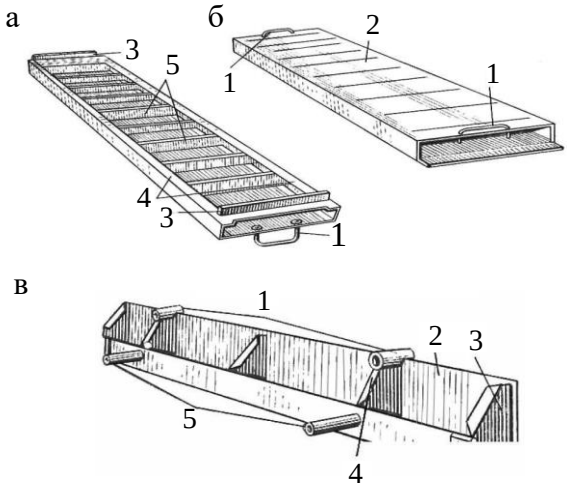

Рис. 4. Елементи блоку прогонової будови: а, б – деформаційний щит; в – колесовідбійник; 1–6 – елементи

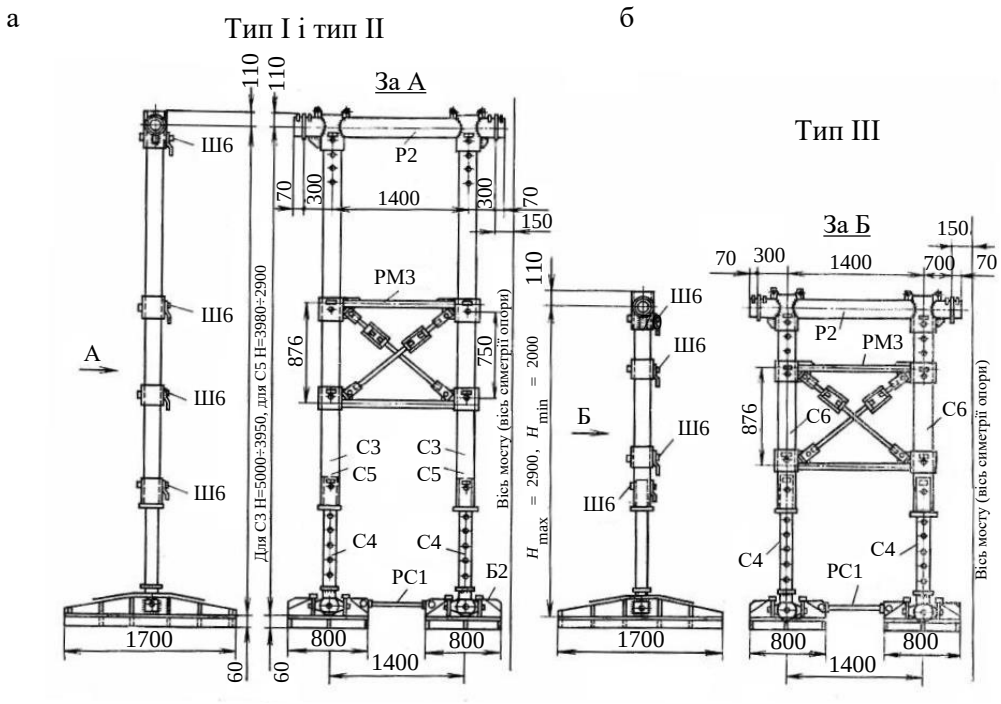

Рис. 5. Блок опор: а, б – типи I–III

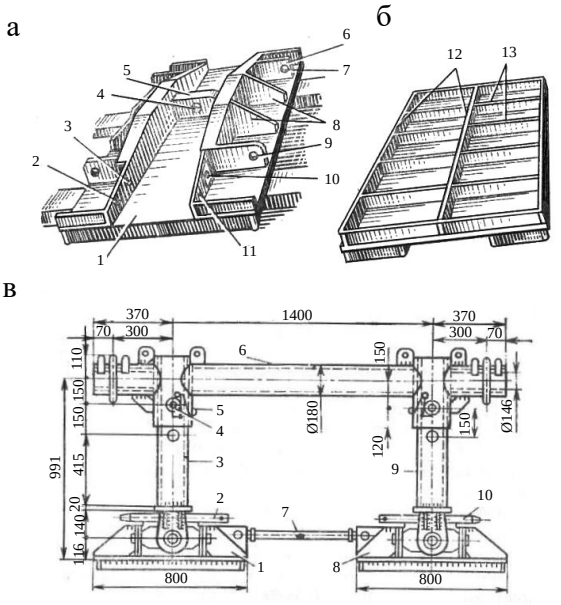

Рис. 6. Елементи групи опор: а, б – черевик опори; в – блок берегової опори; 1–13 – елементи

У процесі монтажу мосту методом поздовжнього насування апарелі слугують для закріплення на них улаштування для монтажу опор.

Проміжні опори є плоскими двостійковими рамами, призначеними для спирання на них блоків прогонових будов і передачі тиску на ґрунт від маси прогонових будов і тимчасового рухомого навантаження (рис. 7, *г*).

Тактичний автодорожній розбірний міст (ТАРМ) [7] призначений для подолання водних перешкод завширшки до 30 м, неглибоких каньйонів та розмивів насипів автомобільних доріг (рис. 9).

Міст завдовжки 43,0 м, габаритом 3,8 м і вантажопідйомністю 40 т збирається вручну 36 військовими за 4 год 10 хв, а з використанням автомобільного крана – 28 військовими за 2 год 50 хв.

Максимальний прогін прогонової будови – 8,46 м, висота опори – 3,0 м, крок зміни висоти опори – 0,155 м. Маса комплекту без монтажного обладнання – 39,0 т.

Прогонова будова відкритого типу з їздою низом складається з двох головних наскрізних ферм, що об'єднуються між собою поперечними балками, поверх яких укладаються поздовжні щити проїзної частини (рис. 9, *б*). По довжині ферми мають 14 середніх і 2 кінцеві секції. На період монтажу ферми прогонової будови об'єднуються за схемою 4,58-4×8,46-4,58 м. Проміжна опора є плоскою двостійковою рамою, зміна висоти опори здійснюється в межах від 0,75 до 3,0 м із кроком зміни 0,15 м (рис. 9, *в*).

1.2. Розбірні мости середніх і великих прогонів. *Важкий розбірний міст (ВРМ)* [7] призначається для зведення нових і відновлення зруйнованих великих висоководних

мостів через значні водні перешкоди на автомобільних дорогах (рис. 10).

Комплект ВРМ містить дві прогонові будови з їздою низом завдовжки по 52,5 м, надбудову проміжної опори заввишки 9,5 м, берегові сполучення й монтажне обладнання.

Головні ферми прогонової будови наскрізні з паралельними поясами та трикутними ґратами, додатковими стійками та підвісками, з відкритими верхніми поясами. Членування прогонової будови лінійне, з'єднання у вузлах багатоболтові. До групи головних ферм належать елементи: пояс, розкіс, опорний вузол, стійка, стикова накладка пояса та кінцевий швелер.

Проїзна частина мосту збирається з поздовжніх щитів металевого настилу, що укладаються на поперечні балки. Кожна поперечна балка складається по довжині з двох частин, що є зварними балками двотаврового перерізу. Колесовідбійник виконано зі штампованих швелерів заввишки 290 мм. Із зовнішнього боку головних ферм розташовуються тротуари й перила.

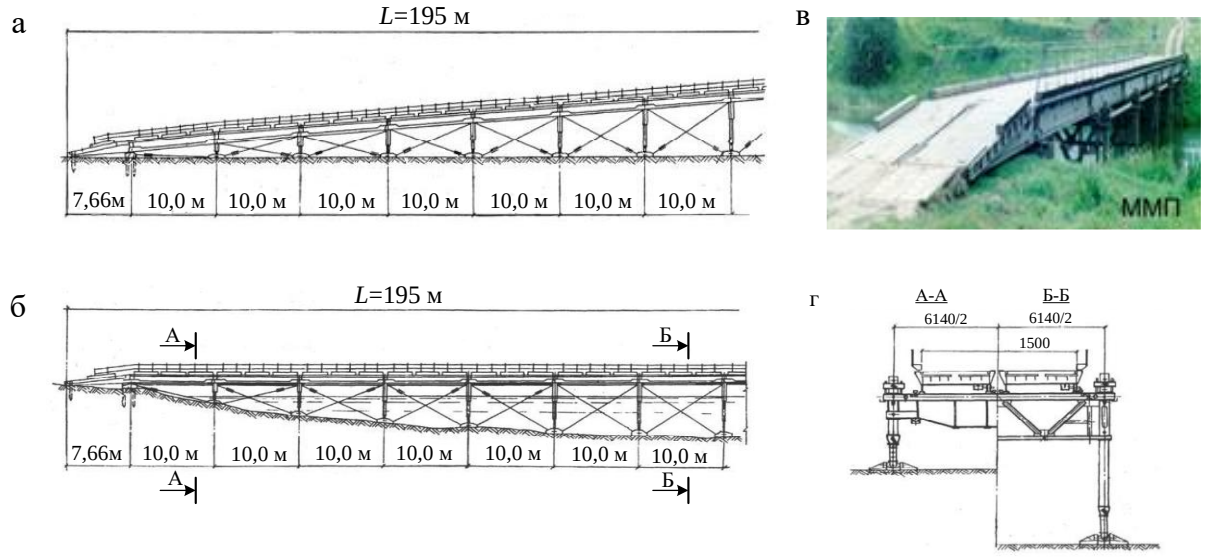

Рис. 7. Міст із комплекту ММП: а – схема мосту; б – схема шляхопроводу; в – зовнішній вигляд; г – конструкція опори

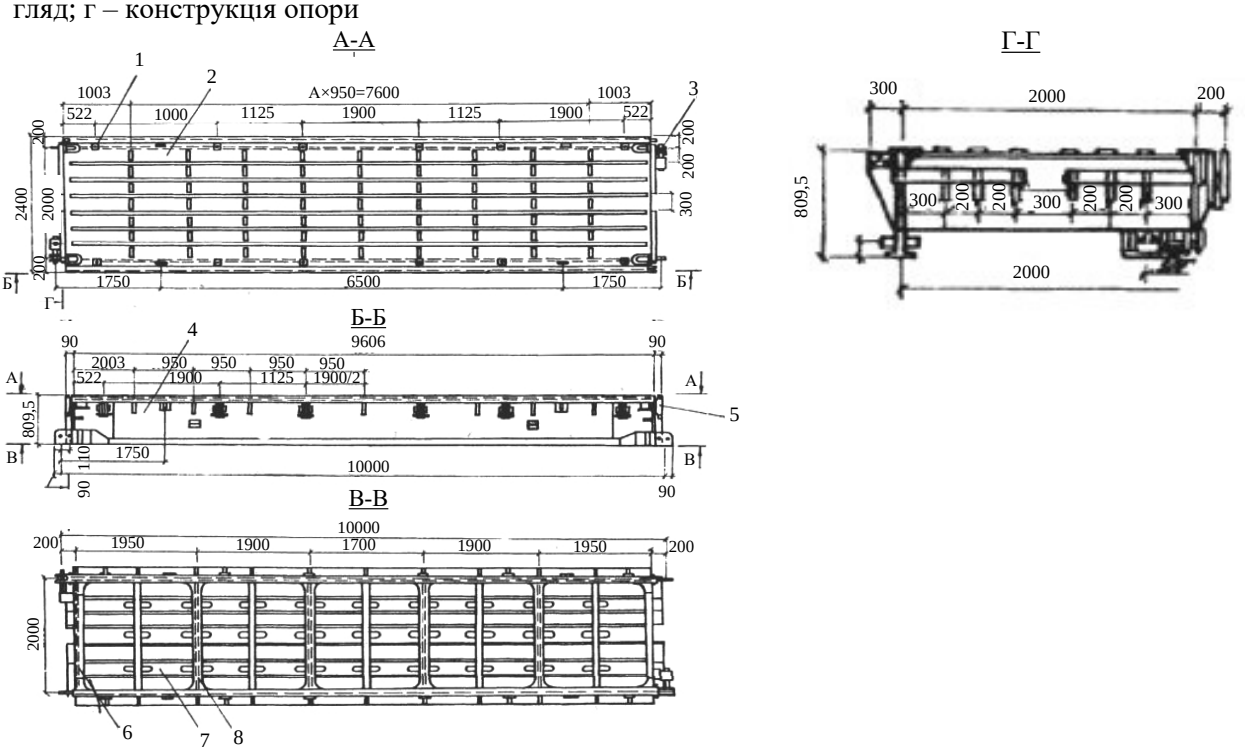

Рис. 8. Блок прогонової будови: 1–8 – елементи

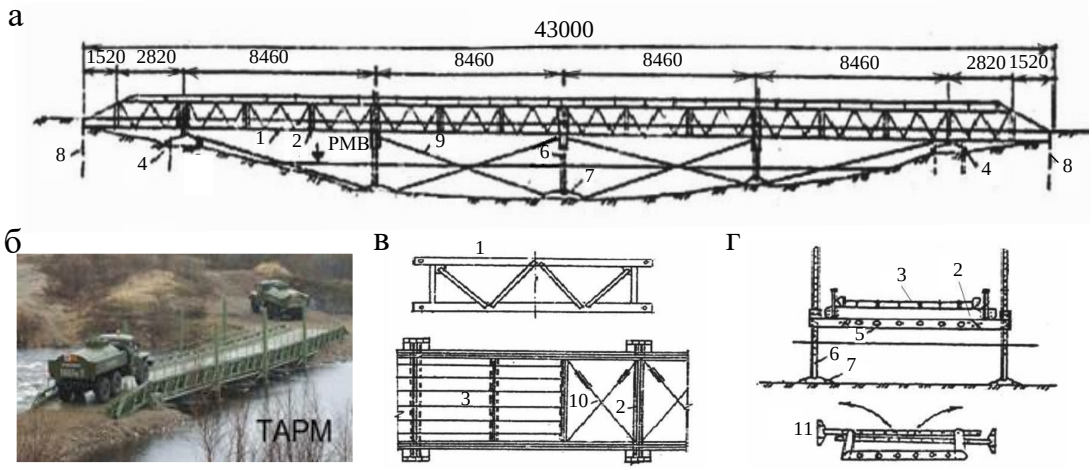

Рис. 9. Міст із комплекту ТАРМ: а – схема мосту; б – зовнішній вигляд; в – прогонові будови; г – опори; 1–11 – елементи

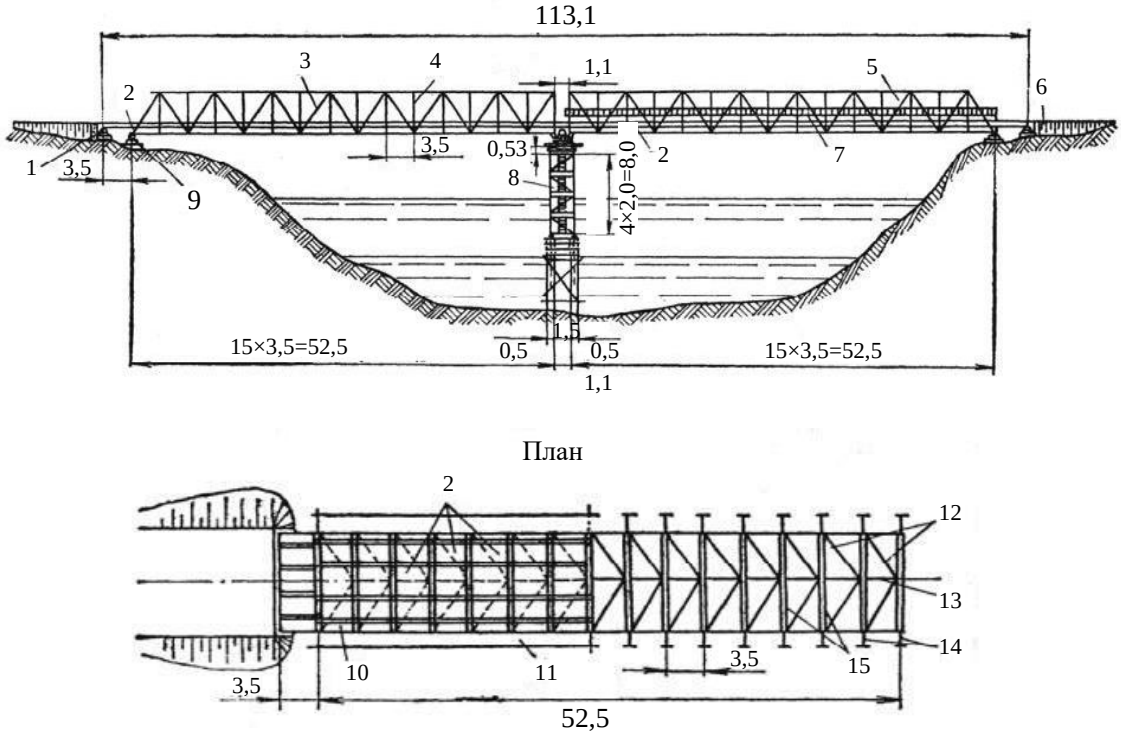

Рис. 10. Схема двопрогонового мосту з комплекту ВРМ: 1 – береговий лежень; 2 – щити настилу; 3 – розкіс; 4 – стійка; 5 – прогонова будова; 6 – насип; 7 – перила; 8 – надбудова проміжної опори; 9 – берегова подушка; 10 – колесовідбійник; 11 – тротуар; 12 – діагональні зв'язки; 13 – розпірка зв'язків; 14 – тротуарні консолі; 15 – поперечні балки

Надбудова проміжної опори призначається для зведення опор заввишки до 10 м. Надбудова є жорсткою просторовою рамою, що встановлюється на частини опор, які збереглися, зруйнованих мостів або на пальовий ростверк. Конструкція та розміри елементів надбудови дозволяють змінити висоту опори через 2 м. Елементи надбудови з'єднуються між собою болтами. Ригелі мають двотаврові перерізи й утворюють верхню та нижню частини надбудови.

Як берегові опори можуть використовуватися клітинні, пальові й масивні опори, що збереглися, а в умовах щільних ґрунтів прогонова будова може спиратися на берегову подушку, покладену безпосередньо на ґрунт.

Аванбек, якщо він не потрібний для насування прогонової будови, може бути використаний для сполучення тимчасового мосту з берегом.

Розбірний металевий міст РММ-4 [7] був розроблений наприкінці 40-х рр. XX ст. для прискореного спорудження нових і відновлення зруйнованих низько- та висоководних мостів (рис. 11, 12).

а б

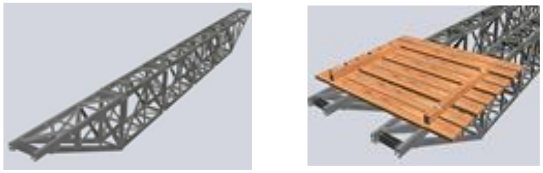

Рис. 11. Прогонова будова РММ-4

З елементів РММ-4 зводяться однопрогонові й багатопрогонові тимчасові мости вантажопідйомністю до 60 т із жорсткими (рис. 13, *а* і *б*) або плавними (рис. 13, *в*) проміжними опорами, що споруджуються з місцевих матеріалів або наявних плавних засобів.

Усі монтажні елементи мосту взаємозамінні, а максимальна маса елемента дорівнює 540 кг.

Складання та встановлення ферм прогонової будови на опори проводиться за допомогою спеціальних монтажних улаштувань, включених у табель мосту.

Час складання та насування однопрогонового мосту завдовжки 22–28 м 37 особами становить: для мосту з двома фермами в поперечному перерізі – 3,5 год; для мосту з трьома фермами в поперечному перерізі 4 год; для мосту з чотирма фермами в поперечному перерізі – 4,5–5 год.

Основними елементами РММ-4 є: головні ферми, проїзна частина, опорні частини та улаштування для збирання ферм і встановлення їх на опори. Головна ферма просторового типу складається із двох зварних плоских ферм. Ґрати ферм трикутні, з додатковими стійками та підвісами. Ферма утворюється з проміжних і кінцевих секцій. До елементів проїзної частини належать: щити настилу, колесовідбійники й перильні стійки. До елементів опор і берегових частин належать: лежні, анкерні коли та сходи. Монтажними улаштуваннями для збирання ферм і встановлення їх на опори є: портальні рами, аванбеки, рами противаги, монтажні ковзанки, траверси, домкрати, талі та лебідки.

Середній автодорожній розбірний міст (САРМ) [1, 7] призначений для зведення нових і відновлення зруйнованих висоководних мостів на автомобільних дорогах за короткий термін (рис. 14).

З елементів САРМ зводять одно- та багатопрогонові мости з прогонами 18,6, 25,6, 32,6 м як розрізної, так і нерозрізної систем під дво- та односмуговий рух із проміжними опорами, що встановлюються на основи, які споруджуються з місцевих матеріалів (рис. 15). Як опори можуть бути використані капітальні й тимчасові опори, що збереглися, а також різні плавні засоби.

Комплект САРМ складається з трьох прогонових будов з їздою верхом розрахунковим прогоном 32,6 м та габаритом проїзду 7,2 м, двох проміжних опор заввишки 8,84 м, монтажного обладнання та улаштувань для транспортування. З комплекту може бути зібрано шість прогонових будов розрахунковим прогоном 32,6 м та габаритом проїзду 4,2 м. Уся матеріальна частина мосту поділяється на групи: прогонові будови, опори, монтажне обладнання, улаштування для транспортування.

Середня секція прогонових будов є зварним просторовим блоком, що складається з двох головних ферм, проїзної частини, зв'язків нижнього пояса і поперечних зв'язків (рис. 15, *в, г*). Кінцева секція відрізняється від середньої меншими розмірами за довжиною та оформленням опорного кінця.

Опори є конструкцією баштового типу. Збираються вони одиночними – для мосту габаритом 4,2 м, або спареними – для габариту 7,2 м. По висоті опори можуть змінюватися через 2 м (рис. 16).

Нижній ригель є основою опори. Надбудови опори складаються з рам, об'єднаних за допомогою розпірок і діагоналей у просторові блоки. Верхній ригель є підферменним майданчиком опори (рис. 16).

До монтажного устаткування належать аванбек, складальні та опорні візки, підйомні стропи, лебідки, домкрати, інструменти.

Модернізований середній автодорожній розбірний міст САРМ-М [7] надходить на оснащення мостових частин дорожніх військ із 1982 р. (рис. 17). Основними конструктивними особливостями мосту САРМ-М є:

- введення в комплект подовженого до 21 м аванбека, що дає змогу скоротити довжину складального майданчика до 25 м;
- нова конструкція берегової опори, що містить нерухому опорну частину;
- інвентарні фундаменти проміжних опор, виконані на металевих гвинтових палях;
- введення зменшеної до 1 м стійки надбудови опори;
- в'їзди на міст, що передбачені з елементів МАРМ і САРМ нової конструкції.

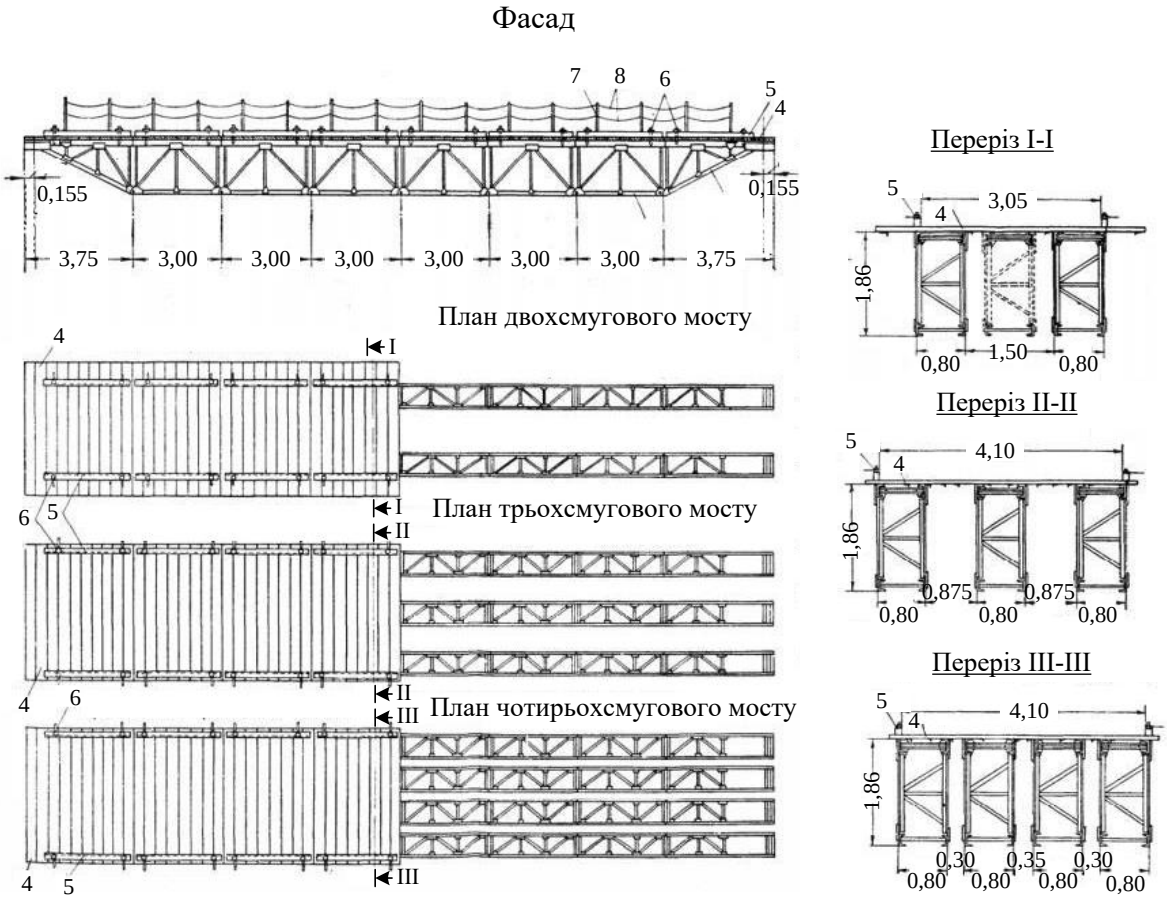

Рис. 12. Збірні схеми прогонової будови: 1 – проміжні секції ферми; 2 – кінцеві секції ферми; 3 – вузловий штир; 4 – щит для настилу; 5 – колесовідбійник; 6 – пажильний болт; 7 – перильна стійка; 8 – перильний канат

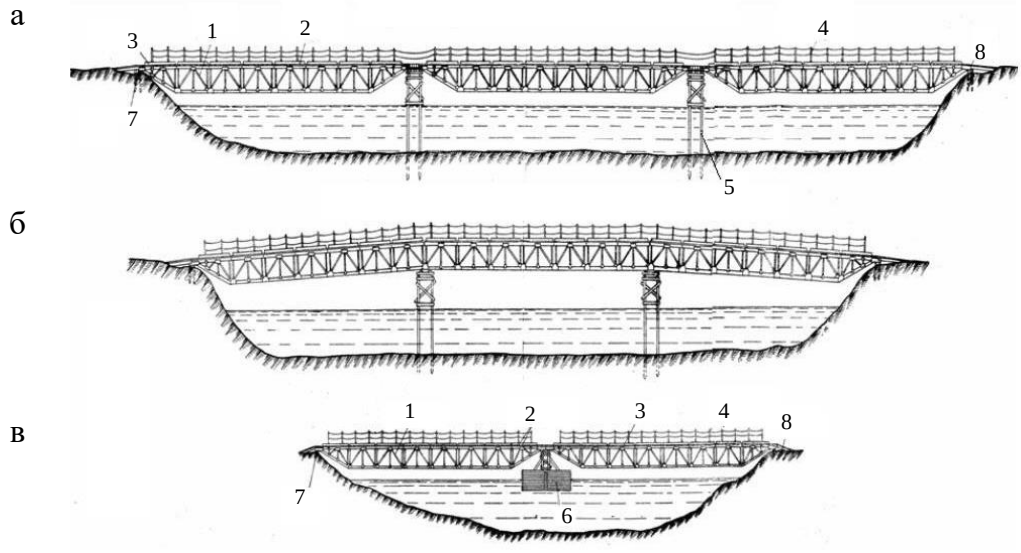

Рис. 13. Схеми мосту із комплекту РММ-4: а, б – на жорстких опорах; в – на плавних опорах: 1 – головні ферми; 2 – щити для настилу; 3 – колесовідбійник; 4 – перильні стійки; 5 – проміжна опора; 6 – проміжна плавна опора; 7 – береговий лежень; 8 – сходи

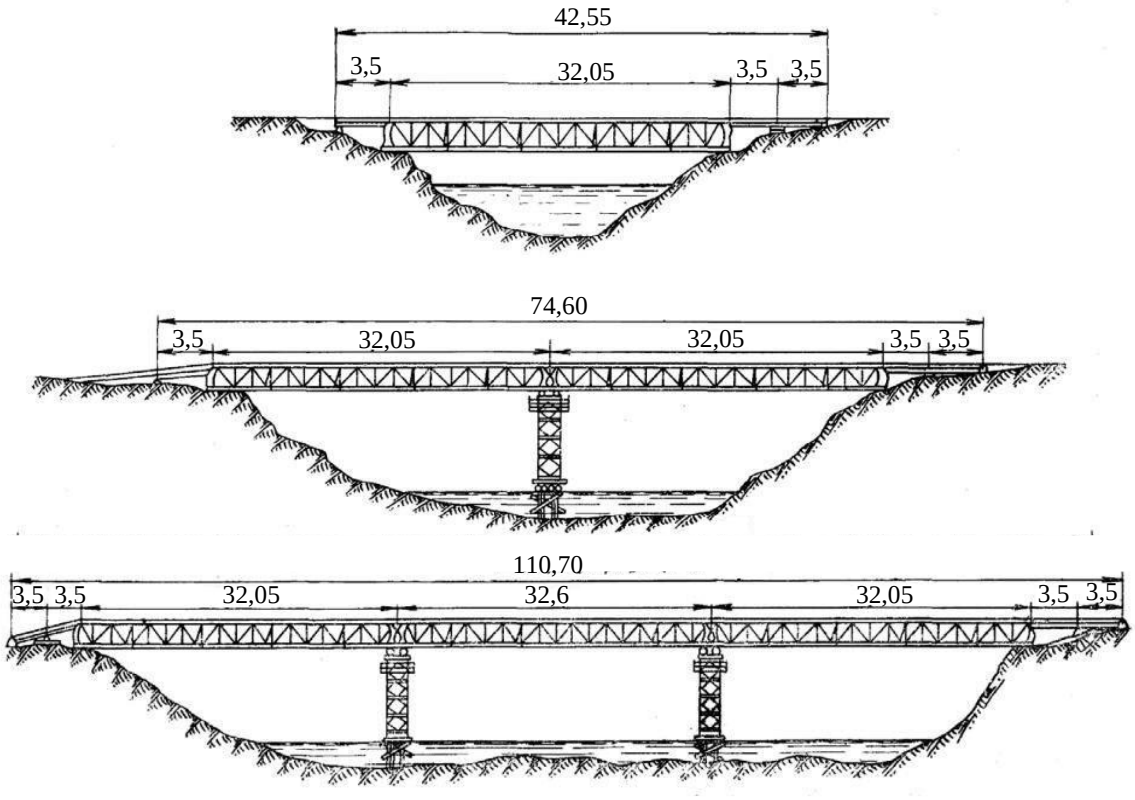

Рис. 14. Схеми мосту із комплекту САРМ

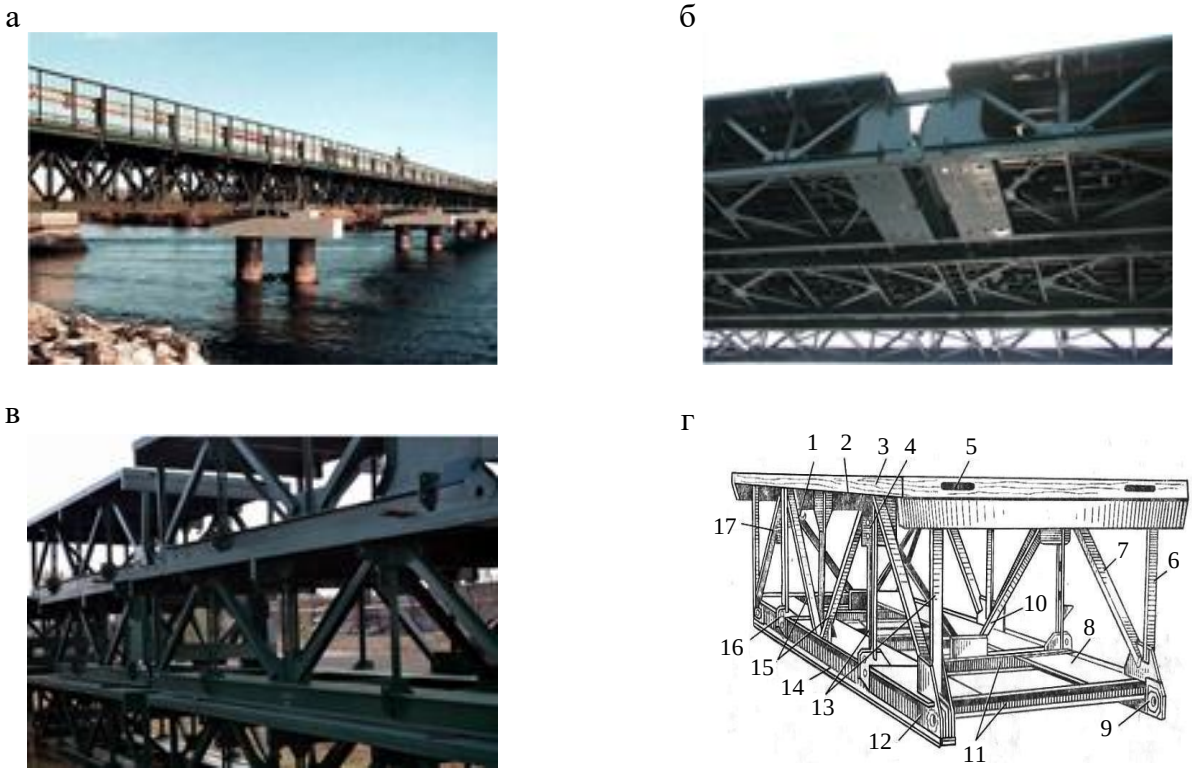

Рис. 15. Міст із комплекту САРМ: а – зовнішній вигляд; б – прогонова будова; в, г – середня секція; 1–16 – елементи

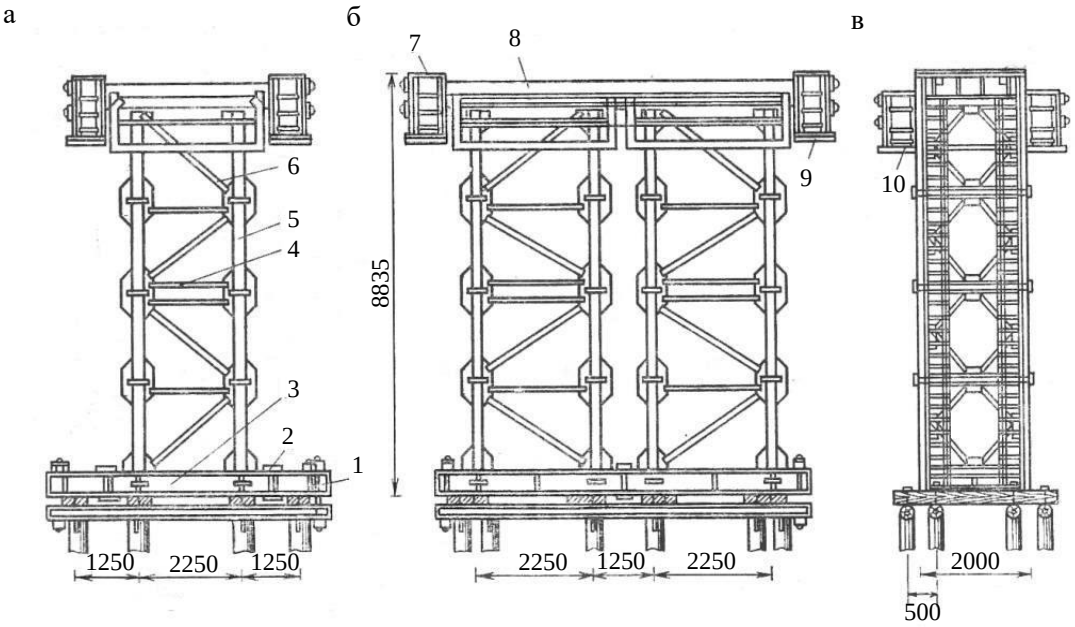

Рис. 16. Проміжні опори: а – одиночна; б – спарена; в – вигляд із боку; 1–10 – елементи

Аванбек подовженої конструкції збирається з трьох секцій: кореневої, середньої та кінцевої (рис. 17, *в*).

Великий автодорожній розбірний міст ВАРМ [7] призначений для будівництва нових і відновлення зруйнованих висоководних мостів на військово-автомобільних дорогах у короткі терміни (рис. 18).

З елементів ВАРМ зводять одно- та багатопрогонові мости з прогонами по 52,5 м розрізної та нерозрізної систем під двошляховий рух із проміжними опорами. Як опори можуть бути також використані капітальні й тимчасові опори, що збереглися.

Комплект ВАРМ складається з двох прогонових будов з їздою низом із розрахунковим прогоном 52,5 м та габаритом проїзної частини 7 м, надбудови проміжної опори 8,84 м, чотирьох берегових в'їздів по 3,5 м, двох комплектів опорних частин, монтажного та такелажного обладнання й улаштувань для транспортування (рис. 18).

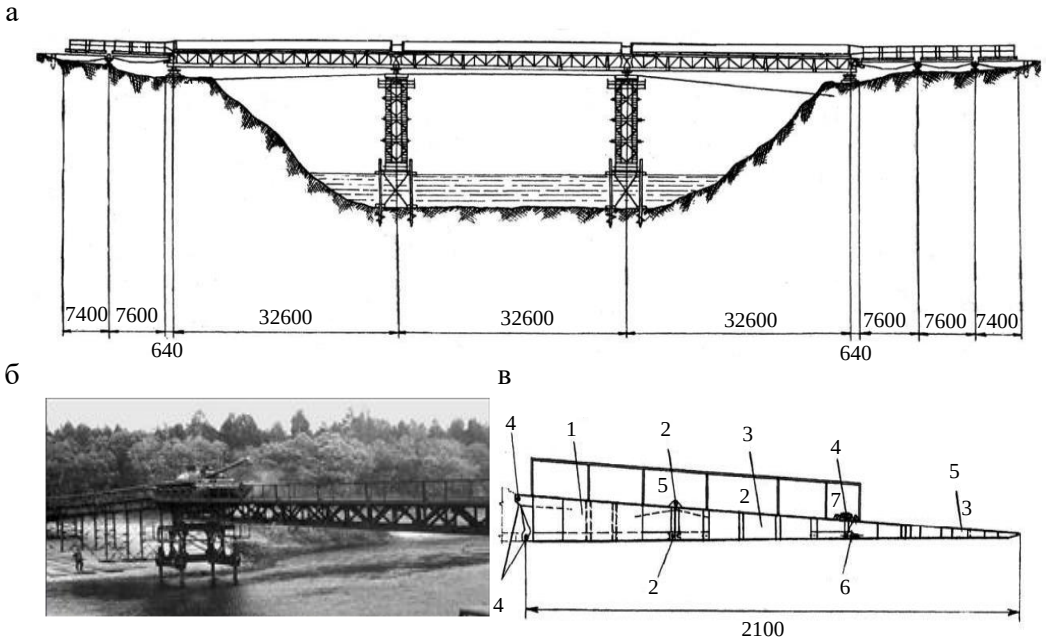

Рис. 17. Міст із комплекту САРМ-М: а – схема; б – зовнішній вигляд; в – схема аванбека; 1–7 – елементи

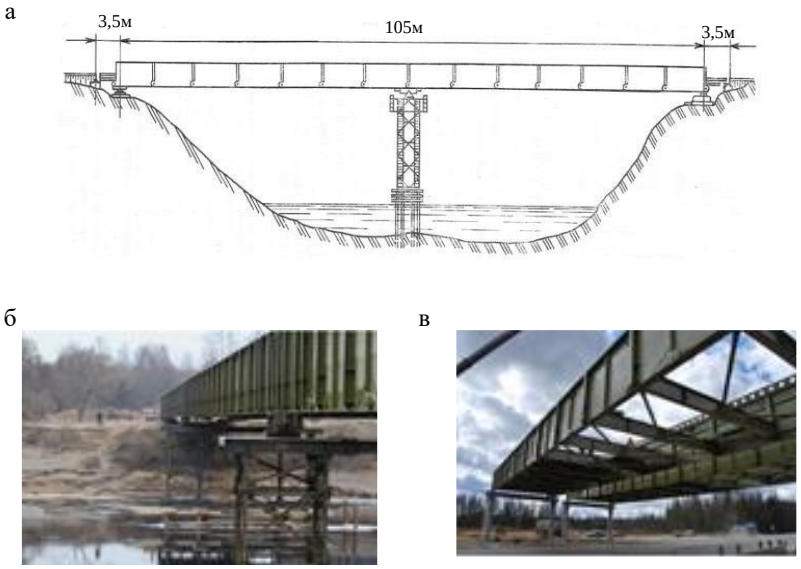

Рис. 18. Міст із комплекту ВАРМ: а – схема; б, в – головні балки прогонової будови

Дві головні балки із суцільною стінкою висотою 2,46 м з їздою низом складають прогонову будову. Кожна головна балка збирається з шести середніх і двох кінцевих секцій, об'єднаних між собою поперечними балками, поверх яких укладаються щити настилу (рис. 19).

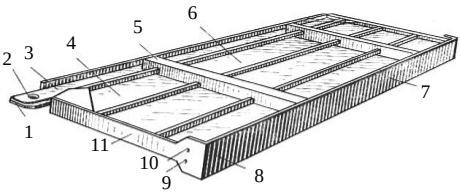

Рис. 19. Середня секція головної балки: 1–11 – елементи

Як берегові опори можуть бути використані масивні опори, що збереглися, а в разі щільних ґрунтів – опорні подушки, що встановлені безпосередньо на ґрунт.

Міст автодорожній вантово-балковий (МВБ) [7] призначений для відновлення та будівництва висоководних мостів через великі водні перепони (рис. 20).

МВБ має п'ять прогонових будов прогоном 42 м, чотири проміжні опори заввишки 10 м, дві берегові опори заввишки 0,5 м, два в'їзди на міст, один комплект вантового посилення прогонової будови, один комплект однобічного тротуару завширшки 0,75 м, монтажне обладнання та ЗІП.

Дорожньо-технічні засоби інженерного озброєння, необхідні для зведення мосту: дві установки загвинчування паль, дві установки палебійні, чотири автокрани вантажопідйомністю 16 т, два автокрани вантажопідйомністю 6,3 т, два пороми вантажопідйомністю 40 т, монтажний пором вантажопідйомністю 50 т, чотири буксирно-моторні катери БМК-130М, дві електростанції ЕСД-30-ВС.

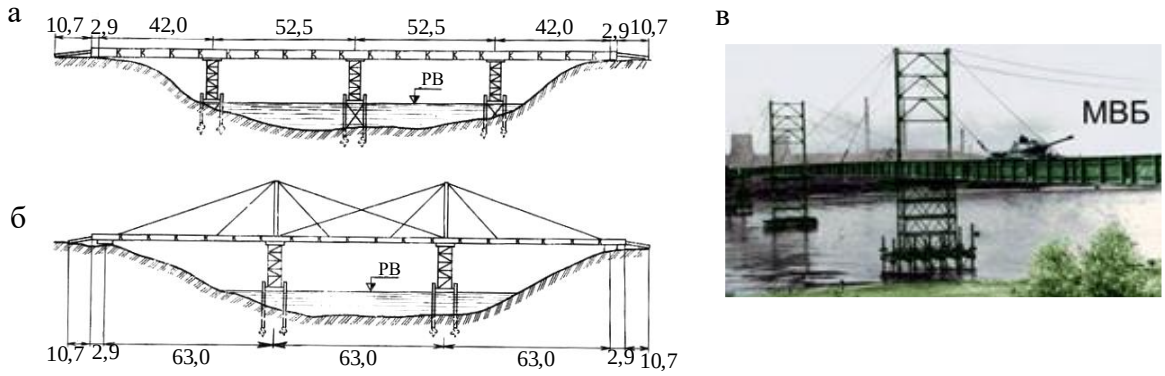

Рис. 20. Міст із комплекту МВБ: а – схема без вантового підсилення; б – схема з вантовим підсиленням; в – зовнішній вигляд

З елементів МВБ зводяться одно- й багатопрогонові мости розрізної та нерозрізної системи під односмуговий рух із проміжними опорами та інвентарними фундаментами на гвинтових або забивних палях, або фундаментами, що споруджуються з місцевих матеріалів (рис. 21).

Комплект МВБ складається з груп: прогонової будови, опор, улаштувань для транспортування, монтажного обладнання, сполучення з берегом, ЗІП.

Прогонова будова з їздою низом відкритого типу збирається з двох головних балок, що складаються з типових секцій і двох кінцевих секцій. Типові секції поєднуються між собою блоками-щитами, кінцеві – поперечними балками (рис. 22). Секції прогонової будови поєднуються між собою за допомогою штирів.

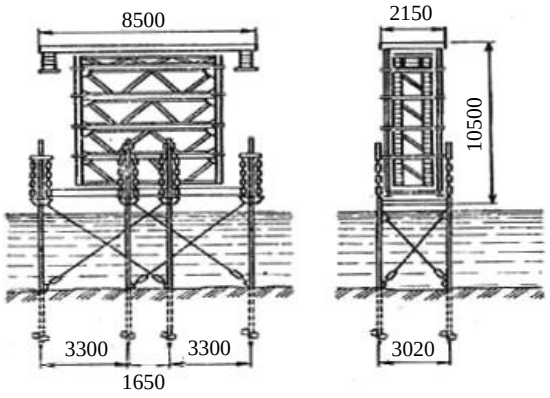

Рис. 21. Схема опор МВБ

Типова секція головної балки є плоским зварним елементом, що складається з верхнього й нижнього поясів вертикальної стінки, стійок жорсткості, поздовжніх ребер жорсткості й торцевих ребер, відрізняється від головної балки БАРМ здебільшого своїми розмірами.

Гірський автодорожній розбірний міст (ГАРМ) [7] призначений для відновлення та будівництва мостів у гірській місцевості, коли обмежені майданчики на берегах (рис. 23).

З елементів ГАРМ можуть збиратися мости з прогонами від 21 до 120 м. Габарит проїзної частини – 4,2 м, вантажопідйомність – 60 т, максимальна довжина мосту – 126 м. Для прогонів від 73,5 до 120 м передбачається рішення у вигляді підвісних двопілонових мостів, висота пілонів – 13 м. За конструкцією прогонові будови – це ферми з їздою верхом будівельною висотою 2,05 м. Для кріплення канатів на березі запроєктовані гвинтові анкери. Для скельних ґрунтів виконані пелюсткові скельні анкери, свердловини яких буряться верстатом вогневого буріння.

Міст збирається на березі автомобільними кранами вантажопідйомністю 10–16 т на майданчику 15×30 м і насувається за допомогою лебідки. Від перекидання під час насування прогонова будова утримується порталом, закріпленим анкерами або за допомогою противаг. Пілони встановлюються після насування, потім натягуються канати й підвіси. Час складання мосту підвісної системи з прогонам 120 м – 15 год.

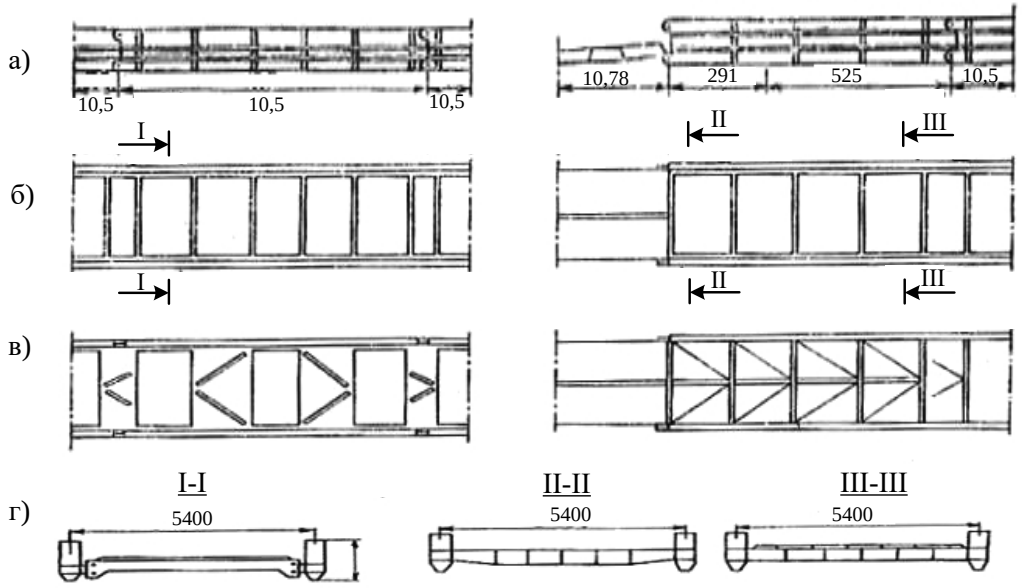

Рис. 22. Схема прогонової будови МВБ: а – вигляд прогонової будови збоку; б, в – план прогонової будови; г – поперечний переріз

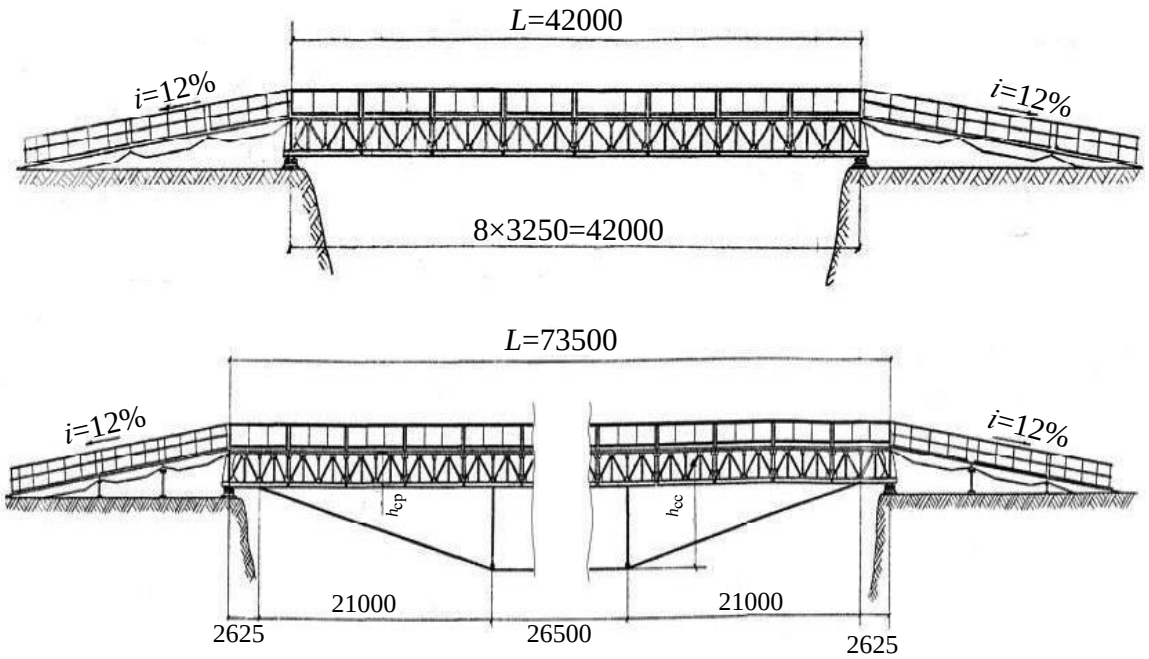

Рис. 23. Схеми мосту з комплекту ГАРМ

Збірно-розбірний міст «Тайпан» [7] є модифікацією збірно-розбірних мостів *Bailey Bridge* із прогонових будов у вигляді металевих ферм з їздою низом (табл. 1).

Для зручності монтажу ферми прогонових будов системи «Тайпан» виконані збірними, складальною одиницею є панель (рис. 24–27). Панель має розмір 3,14×2,00×0,24 м та масу 614 кг, що дозволяє змінювати довжину прогонів кратно 3 м та монтувати її за допомогою засобів малої механізації.

Усі частини панелі виготовляють із прокатних профілів однакового перерізу – квадратних труб, посилених у місцях їх з'єднання, для повноцінної передачі зусилля з однієї панелі в іншу (рис. 27).

2. Збірно-розбірні мости для військового призначення армій країн НАТО.

Bailey Bridge [8] – основний збірно-розбірний міст військ НАТО, розроблений упродовж 1940–1941 рр. фахівцями Великої Британії для використання у військових цілях під час Другої світової війни та широко використовувався британськими, канадськими й американськими військово-інженерними підрозділами. Перевага мосту *Bailey* полягає в можливості збирання без застосування спеціального інструменту або важкого обладнання (рис. 28, *а*).

На основі концепції мосту *Bailey* виникли сучасні модернізовані конструкції збірно-розбірних мостів фірми *Mabey* (Велика Британія) – *Logistic Support Bridge* (LSB – міст логістичної підтримки), фірми *Acrow Bridge* (США) тощо [9, 10] (рис. 28, *б*).

Елементи *Bailey Bridge* передбачають ручне складання прогонових будов вантажопідйомністю до 70 т із застосуванням головних ферм, що складаються з однієї, двох і трьох плоских секцій за шириною і такої самої кількості ярусів за висотою (рис. 29, *б, в*).

Таблиця 1 – Характеристики прогонових будов мосту «Тайпан»

Довжина прогону, м	Маса елементів без ортотропної плити, тс	Маса ортотропної плити, тс	Загальна маса, тс	Маса на погонний метр, тс
12	20,59	9,31	29,90	2,49
18	35,00	13,44	48,44	2,69
24	52,65	17,58	70,23	2,93
33	97,42	23,78	121,20	3,67
42	130,33	29,99	160,31	3,82
51	199,94	36,19	236,13	4,63
60	231,09	42,39	273,48	4,56

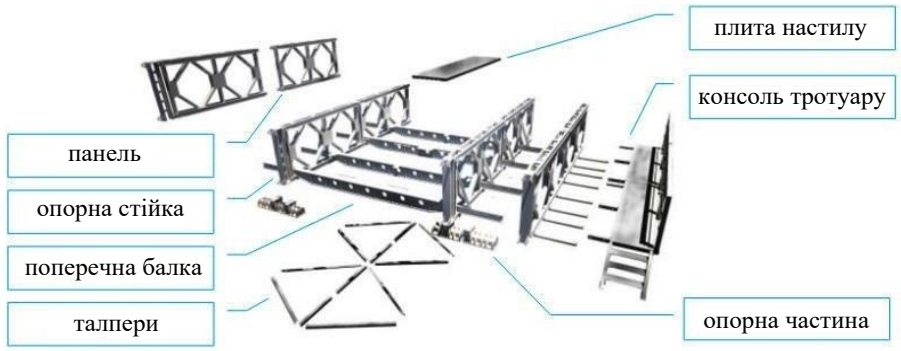

Рис. 24. Загальний вигляд двох секцій прогонової будови мосту «Тайпан»

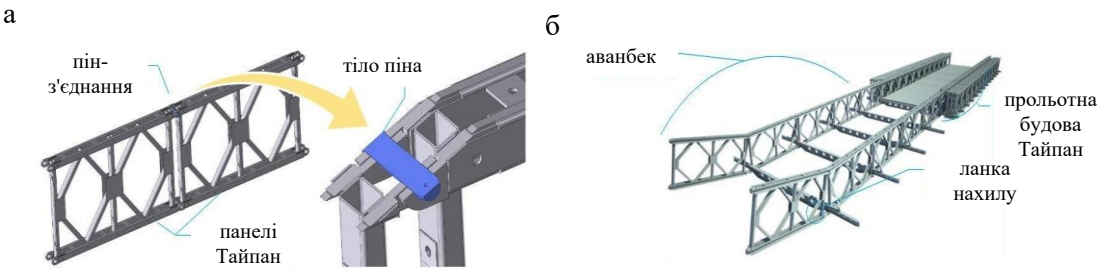

Рис. 25. Пін-з’єднання (а); аванбек мосту «Тайпан» (б)

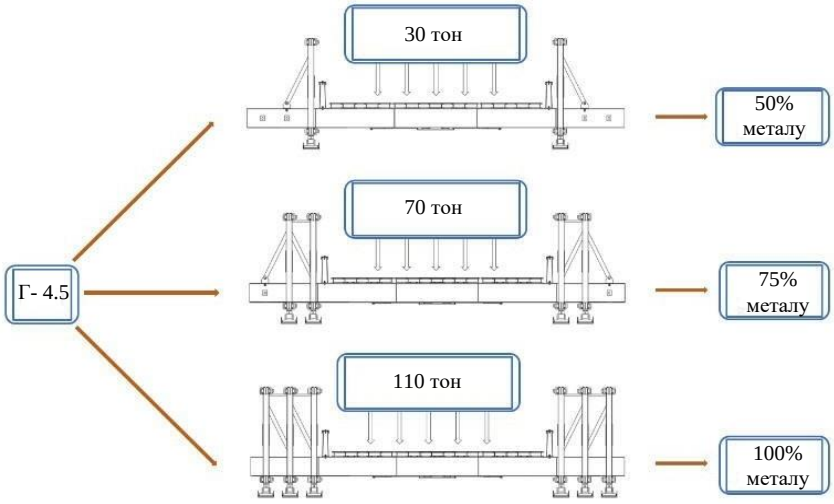

Рис. 26. Модифікація мосту «Тайпан»

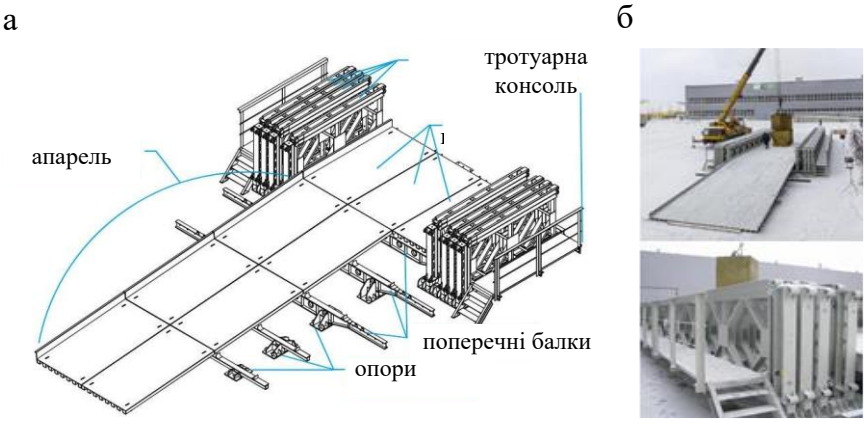

Рис. 27. Апарель мосту «Тайпан»

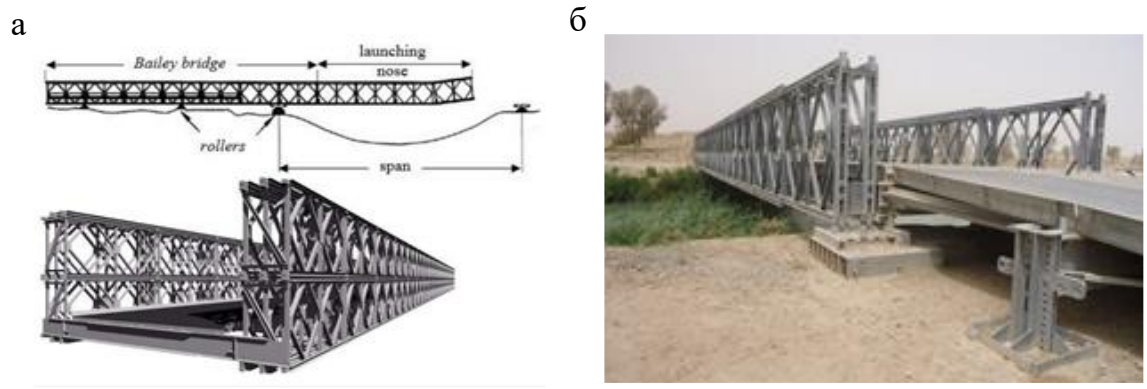

Рис. 28. Конструкції збірно-розбірного мосту: а – *Bailey Bridge*; б – *Logistic Support Bridge*

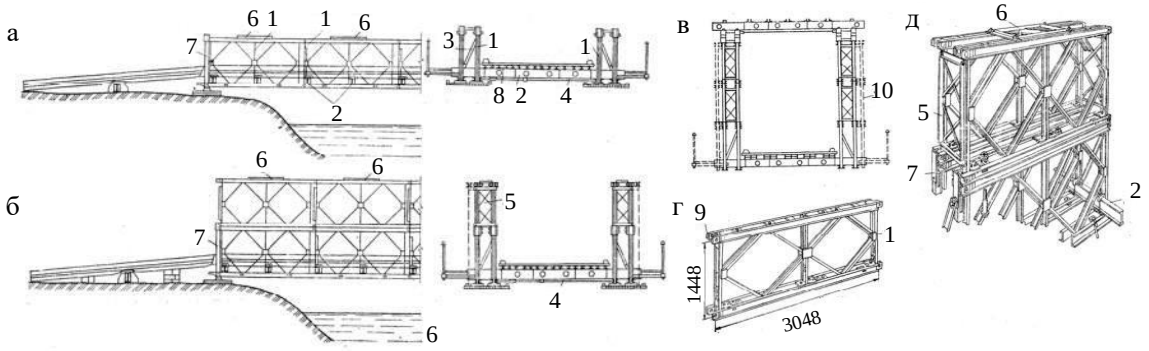

Рис. 29. Конструкції мосту *Bailey*: а – з подвійними фермами; б – двоярусна прогонова будова з подвійними головними фермами; в – триярусна прогонова будова (пунктиром показано встановлення третьої ферми та тротуарів); г – плоска секція головної ферми; д – схема конструкції кінцевої панелі двоярусної ферми; 1 – плоска секція головної ферми; 2 – поперечна балка; 3 – підкіс, що забезпечує стійкість одиночної ферми для малих прогонів; 4 – нижні зв'язки; 5 – плоска рамка поперечного зв'язку ферм; 6 – рамка горизонтальних зв'язків ферм; 7 – кінцева підсилена стійка; 8 – поздовжні балки проїзної частини; 9 – вуха стику поясів; 10 – місце встановлення третьої ферми

У мостах під важкі навантаження кількість поперечних балок подвоюється. З'єднання секцій по довжині одноштирьові, з термічно зміцненої сталі підвищеної якості. Настил проїзної частини дерев'яний або металевий. Аванбек для поздовжнього насування збирається з тих самих елементів, що й прогонова будова. Складання одного прогону завдовжки 40 м під основне навантаження 40 т виконується за 21 год (без зведення опор) командою з 227 військових.

В армії США використовується збірно-розбірний міст Т6 [11, 12], що є модифікацією мосту *Bailey* з легких сплавів з одноярусними фермами, що мають трикутні грати секцій (рис. 30). Довжина секції збільшена до 5 м, висота – до 2,4 м. Проїзна частина суцільнометалева.

Компанія WFEL (Велика Британія) [13], провідний світовий постачальник військових збірно-розбірних мостів, виробляє системи мостів малого й середнього прогону *Medium Girder Bridge* (MGB – середній балковий міст) та *Dry Support Bridge* (DSB – сухий опорний міст).

Однопрогонові мости MGB [11–13] можуть будуватися як одноярусні з прогоном до 9,8 м, подвійного ярусу – до 31,1 м та подвійного ярусу з підсиленням – до 49,4 м (рис. 31).

Різна довжина прогону мосту створюється завдяки зміні кількості відсіків завдовжки 1,83 м та конструкції перетину прогону (рис. 31, *г, д*). Це дає змогу застосовувати MGB під навантаження 60, 30 і 16 т із різними довжинами прогону. Найбільша маса монтажного блоку 245 кг дозволяє виконувати ручне складання прогону 25 особами. Опрацьовано застосування прогонової будови на плавних опорах.

Лише вісім військових і одна спеціальна машина можуть забезпечити транспортний

рух через 46 м перешкоди менше, ніж за 90 хв у разі використання мосту DSB нового покоління [11–13]. DSB є провідним швидкозбірним тактичним військовим мостом такого типу у світі для військових операцій, а також для операцій із надання допомоги під час стихійних лих (рис. 32).

В арміях країн НАТО основними засобами, що застосовуються для обладнання мостів через вузькі перешкоди, є танкові мостоукладальники [11, 12]: у США – мостоукладальник XM104 *Wolverine* на шасі M1 «Абрамс» із прогоном завдовжки 26 м та вантажопідйомністю 70 т (рис. 33, *а, б*), у Німеччині – мостоукладальник *Leguan* на шасі танка «Леопард-2» (рис. 33, *в, г*), у Польщі – мостоукладальник PMC-91M (усі з алюмінієвими мостами типу *Leguan* завдовжки 26 м, завширшки 4,0 м), у Великій Британії – мостоукладальник FV-4205 на шасі танка «Чифтен» із мостом завдовжки 24,4 м.

Рис. 30. Військовий міст Т6 (а–в)

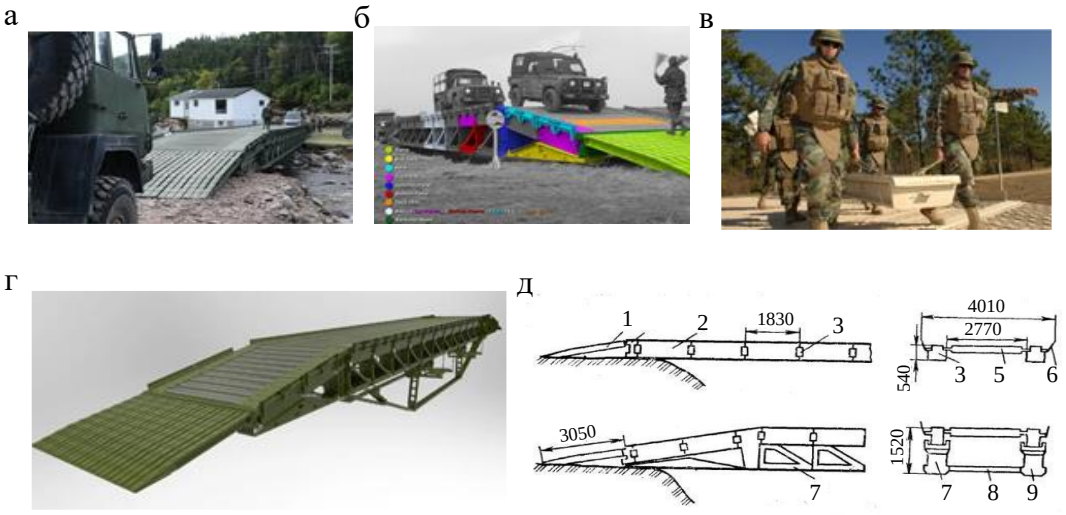

Рис. 31. Військовий міст MGB (а–д): 1 – апарель; 2 – балка берегової опори; 3 – коробчастий блок прогонової будови; 4 – одноштирьовий стик; 5 – блок проїзної частини; 6 – колесовідбійник; 7 – наскрізний блок нижнього ярусу ферми; 8 – горизонтальні зв'язки; 9 – штир стику

Рис. 32. Військовий міст DSB (а–в):

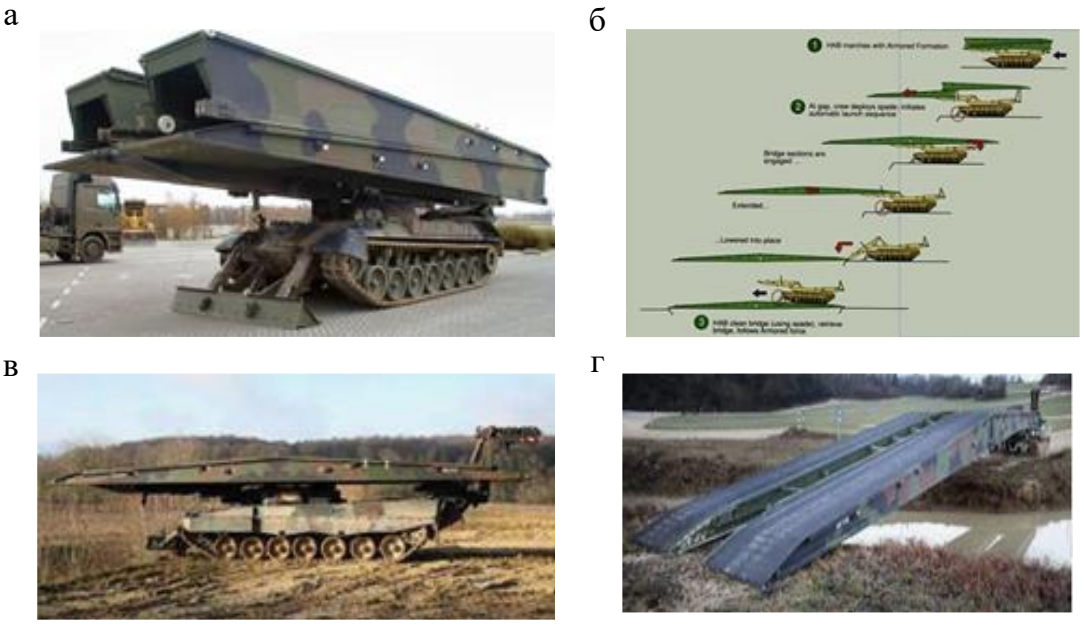

Рис. 33. Механізовані мости НАТО: а, б – танковий мостоукладальник XM104 *Wolverine*; в, г – танковий мостоукладальник *Leguan*

Висновки

У статті викладено результати узагальнення та систематизації досліджень щодо конструкцій і особливостей функціонування збірно-розбірних мостів різних статичних систем цивільного та військового призначення, які використовуються в Україні та в інших країнах світу.

Розглянуто особливості їх застосування як автодорожніх тимчасових збірно-розбірних мостів і описано подальше моделювання організаційно-технічних рішень їх використання в умовах воєнної агресії проти України.

Література

1. Рекомендації щодо конструктивних рішень для відбудови пошкоджених мостів і труб. Київ: ДП ДерждорНДІ, 2022. 167 с.
2. Pipinato Alessio. Innovative Bridge Design Handbook. Construction, Rehabilitation and Maintenance. Second Edition. Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2021. 1048 p.
3. Jim J. Zhao, Demetrios E. Tonias. Bridge Engineering. Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges. Third Edition. McGraw-Hill Publishing, 2012. 545 p.
4. Dan M. Frangopol, Sunyong Kim. Bridge Safety, Maintenance and Management in a Life-cycle Context. First Edition. CRC Press, 2022. 297 p.
5. Fu G. Inspection and Monitoring Techniques for Bridges and Civil Structures. First Edition. CRC Press, 2005. 282 p.
6. Rakshit K. S. Construction, Maintenance, Restoration and Rehabilitation of Highway Bridges. London, New Central Book Agency, 2020. 365 p.
7. Відновлення мостів і труб після пошкодження. Конспект лекцій / С.О. Бугаєвський та ін. Ч. 1, Ч. 2. Кременчук: Novabook, 2023. 169 с., 238 с.
8. FM 5-277. Headquarters Department of the Army Washington, DS, 9 May 1986. Bailey Bridge. 1986. 373 p.
9. Сайт Acrow Building Bridges. URL: https://acrow.com (дата звернення: 13.03.2023).
10. Каталог ViaCon. Мости Acrow. URL: http://viacon.ua/catalogue.html (дата звернення: 13.03.2023).
11. Сайт MilitaryLeak. Breaking Military News And Defense Technology. URL: https://militaryleak.com/ (дата звернення: 15.03.2023).
12. Сайт Armscom. Art of Defense Information. URL: https://www.armscom.net (дата звернення: 14.03.2023).
13. Сайт WFEL Products and Capabilities. URL: https://www.wfel.com/products-and-capabilities (дата звернення: 14.03.2023).

References

1. Rekomendatsii shchodo konstruktyvnykh rishen dlia vidbudovy poshkodzhenykh mostiv i trub. (2022) Kyiv, DP DerzhdorNDI, Publ., 167 p.
2. Alessio, Pipinato. (2021) Innovative Bridge Design Handbook. Construction, Rehabilitation and Maintenance. Second Edition. Elsevier, Butterworth-Heinemann, 1048 p.
3. Jim, J. Zhao, Demetrios, E. Tonias. (2012) Bridge Engineering. Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges. Third Edition. McGraw-Hill Publishing, 545 p.
4. Dan, M. Frangopol, Sunyong, Kim. (2022) Bridge Safety, Maintenance and Management in a

Life-cycle Context. First Edition. CRC Press, 297 p.
5. Fu, G. (2005) Inspection and Monitoring Techniques for Bridges and Civil Structures. First Edition. CRC Press, 282 p.
6. Rakshit, K.S. (2020) Construction, Maintenance, Restoration and Rehabilitation of Highway Bridges. London, New Central Book Agency, 365 p.
7. Buhaievskyi, S.O., Berezhna, K.V., Krasnov, S.M., Buhaievska, Yu.V. (2023) Vidnovlennia mostiv i trub pislia poshkodzhennia. Konspekt lektsii. Ch. 1, Ch. 2. Kremenchuk, 169 p.
8. FM 5-277. Headquarters Department of the Army Washington, DS, 9 May 1986. Bailey Bridge. 1986. 373 p.
9. Sait Acrow Building Bridges. Available at: https://acrow.com (last accessed 13 March 2023).
10. Kataloh ViaCon. Mosty Acrow. Available at: http://viacon.ua/catalogue.html (last accessed 13 March 2023).
11. Sait MilitaryLeak. Breaking Military News And Defense Technology. Available at: https://militaryleak.com/ (last accessed 15 March 2023).
12. Sait Armscom. Art of Defense Information. Available at: https://www.armscom.net (last accessed 14 March 2023).
13. Sait WFEL Products and Capabilities. Available at: https://www.wfel.com/products-and-capabilities (last accessed 14 March 2023).

Бугаєвський Сергій Олександрович, доктор технічних наук, bugaevskiysa@gmail.com, https://orcid.org/0000-0003-2861-0268, тел. +38 050 937 90 16;
Ненастіна Тетяна Олександрівна, доктор технічних наук, nenastina@ukr.net, https://orcid.org/0000-0001-6108-4023, тел. + 38 050 971 94 15;
Шеховцова Тетяна Олексіївна, асистент, khadidsf@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-0924-8526, тел. +38 096 317 93 06;
Штефан Ольга Миколаївна, асистент, shtefanolga84@gmail.com, https://orcid.org/0009-0001-7311-1591, тел. + 38 066 970 15 63;
Маций Михайло Євгенович, аспірант, michael.matsiy@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-7143-4269, тел. + 38 063 047 92 48.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна.

Road Temporary Collapsible Bridges

Abstract. Problem. *Bridge crossings on motorways are the most vulnerable facilities. Restoration of bridges destroyed as a result of accidents, natural disasters and military operations is crucial for the functioning of Ukraine's economy and armed forces. The organisation of bridge reconstruction works on motorways remains one of the most challenging tasks. Reconstruction of bridges involves significant expenditure of effort, money and time. The main requirement is to restore destroyed bridges in a short time. The use of sets of temporary collapsible road bridges allows for the restoration of interrupted traffic across water obstacles in a short time.* ***Goal.*** *The goal of the research is to generalise and systematise temporary collapsible bridges of various static systems for civil and military purposes used in Ukraine and around the world.* ***Methodology*** *Methods of analysis and generalisation are used to systematise road temporary collapsible bridges of various static systems for civil and military purposes used in different countries.* ***Results.*** *The data for the use of temporary road collapsible bridges in Ukraine were obtained. The main characteristics of temporary bridges are: the size of spans, bridge length, carriageway width, load capacity, weight of bridge structures, main bridge elements, assembly time, etc.* ***Originality.*** *He article presents the results of generalisation and systematisation of temporary collapsible bridges of various static systems for civil and military purposes used in Ukraine and around the world.* ***Practical value.*** *The objective of the study was to familiarise a wide range of bridge specialists with the peculiarities of using various designs of temporary collapsible bridges and further modelling of organisational and technical solutions for their use in the context of military aggression against Ukraine.*
Key words: *temporary collapsible bridges, span structure, ramp, support, foundation, Bailey Bridge.*

Buhaievskyi Serhii, Doct. of Science, Department of Bridges, Structures and Building Mechanics named after V.O. Rosiiskiy, bugaevskiysa@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2861-0268, tel. +38 050 937 90 16;
Nenastina Tetiana, Doct. of Science, Department of Chemistry and Chemical Technology, nenastina@ukr.net, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6108-4023, tel. + 38 050 971 94 15;
Shekhovtsova Tetiana, Applicant, Department of Bridges, Structures and Building Mechanics named after V.O. Rosiiskiy, khadidsf@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0924-8526, тел. +38 096 317 93 06;
Shtefan Olha, Applicant, Department of Bridges, Structures and Building Mechanics named after V.O. Rosiiskiy shtefanolga84@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7311-1591, tel. + 38 066 970 15 63;
Matsyi Mykhailo, Researcher, Department of Bridges, Structures and Building Mechanics named after V.O. Rosiiskiy, michael.matsiy@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7143-4269, tel. + 38 063 047 92 48.
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv.