

Т. Ф. ХАРИТОНОВА, В. І. БОРЦОВ (ДІПТ)

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПРОГІННИХ БУДОВ РОЗРАХУНКОВИМ ПРОГОНОМ 110 м СЕРІЇ 3.501.2-139

Розглянуто результати теоретичних досліджень перших шести форм вільних коливань металевих прогінних будов із коробчатими елементами закритого типу і величиною розрахункового прогону 110 м серії 3.501.2-139.

Рассмотрены результаты теоретических исследований первых шести форм свободных колебаний металлических пролетных строений с коробчатыми элементами закрытого типа и величиной расчетного пролета 110 м серии 3.501.2-139.

The paper considers the outcomes of theoretical research of the first six forms of free vibration of metallic span structures with box-like close elements and the design span size of 110 m, of 3.501.2-139 series.

Питання про динамічний вплив рухомих навантажень на прогінні будови мостів привертає увагу понад століття. В останній час робляться нові спроби вивчити окремі сторони цієї проблеми, яка важлива як для проектування нових мостів, так і для правильної постановки справи поточного утримання та експлуатації штучних споруд [1].

Розвиток залізничного транспорту вносить корінні зміни в умови експлуатації залізничних мостів: впроваджуються нові типи локомотивів, вагонів і транспортерів; значно підвищується швидкість руху поїздів; змінюється конструкція залізничної колії. Змінюються і об'єкти динамічного впливу рухомого складу – мости. Широке розповсюдження мають прогінні будови із низьколегованої сталі із зварними коробчатими елементами головних ферм і монтажними з'єднаннями на високоміцних болтах.

Раніше для перекриття прогонів величиною 110 м були запроєктовані прогінні будови типу 690/7 і 690/7к. У 1987 році Діпротрансміст розробив проект прогінних будов серії 3.501.2-139 (інв. № 1293) для залізничних мостів з їздою низом, прогонами 33...110 м, металевих, із зварними елементами замкнутого перерізу з монтажними з'єднаннями на високоміцних болтах у звичайному і північному виконанні. Такі прогінні будови встановлені не тільки на деяких мостах Росії і Казахстану, заплановано встановити їх і на великих мостах України і Білорусії.

Прогінні будови, які виготовлені за типовими проектами інв. № 690/7 і 690/7К, досліджувалися не тільки теоретично, але і експериментально вивчалася їх поведінка під час

руху по ним поїздів різного типу з різними швидкостями [2].

У сучасних умовах впровадження на залізничному транспорті нових типів рухомого складу з підвищеними навантаженнями і швидкісного руху поїздів, дослідження динаміки прогінних будов мостів отримує особливу актуальність. Розглядати взаємодію такої складної системи, як система «прогінна будова + поїзд» неможливо без знання динамічних характеристик вільних коливань безпосередньо не завантаженої прогінної будови.

Нижче розглядаються динамічні характеристики вільних коливань прогінних будівель розрахунковим прогоном 110 м, серії 3.501.2-139.

Прогінні будови з довжиною розрахункового прогону 110 м призначаються для одноколіїних залізничних мостів з їздою низом. Мостове полотно передбачене як на дерев'яних поперечинах, так і на залізобетонних безбаластних плитах БМП. Тротуарні плити і плити сховищ передбачені проектом як із залізобетону, так і металеві.

Головні ферми прогінних будов з довжиною прогонів 88...110 м прийняті висотою 15,0 м. Відстань між осями головних ферм поперек мосту прийнята 5,8 м. До складу головних ферм входять верхні і нижні пояси, а також розкоси коробчатого замкнутого перерізу. Стояки і підвіски мають Н-подібний обрис. Ширина всіх елементів головних ферм 526 мм. Висота поясів головних ферм становить 662 мм, порталних розкосів – 800 мм. Висота проміжних розкосів 450...650 мм, а стояків і підвісок – 380 мм.

Основна конструктивна відміна прогінних будов серії 3.501.2-139 (інв. № 1293) від про-

гінних будов типу 690/7К – герметичні замкнуті елементи поясів і розкосів, що забезпечує можливість відмовитися від захисту їх внутрішніх поверхонь від корозії.

Верхні поздовжні в'язі – хрестової системи з довжиною панелі 5,5 м; елементи нижніх в'язей – таврового перерізу забезпечують включення проїжджої частини в сумісну роботу з нижніми поясами головних ферм.

Портальне заповнення і поперечні в'язі розташовані в площині порталних розкосів і стояків.

До складу проїжджої частини входять поздовжні і поперечні балки висотою 1520 мм, які мають двотавровий переріз.

За конструкцією мостового полотна прогінні будови мають чотири виконання:

- 00 – дерев'яні поперечини і залізобетонні тротуари;
- 01 – дерев'яні поперечини і металеві тротуари;
- 02 – залізобетонні плити БМП і залізобетонні тротуари;
- 03 – залізобетонні плити БМП і металеві тротуари.

Теоретичні дослідження частот і форм вільних просторових коливань провадилися для прогінних будов з розрахунковим прогоном 110 м серії 3.501.2-139 виконання 00.

Для визначення частот і форм вільних просторових коливань прогінних будов використовувався метод скінченних елементів (МСЕ). Під час створення математичної моделі враховувалося, що прогінна будова має поздовжню вісь симетрії. Стосовно симетрії прогінної будови відносно поперечної осі слід зазначити, не зважаючи на те, що сама конструкція будови симетрична, закріплення її кінців різне у зв'язку з чим повну симетрію вважати не можна. На одному кінці прогінна будова має нерухомі опорні частини, які не допускають ніяких переміщень у будь-якому напрямку, а на другому – рухомі опорні частини допускають поздовжні переміщення прогінної будови. Реальна прогінна будова має розподілені по довжині прогону маси, але під час досліджень розподілені по довжині маси, елементи прогінної будови замінялися дискретними масами, величина яких визначалась за «правилом важеля». Передбачалось, що з'єднання елементів у вузлах головних ферм – жорстке.

Дискретні маси в розрахункових схемах розташовувалися в окремих вузлах головних ферм (рис. 1). Для кожної із цих мас враховувалися вертикальні, поздовжні і поперечні горизонтальні сили інерції.

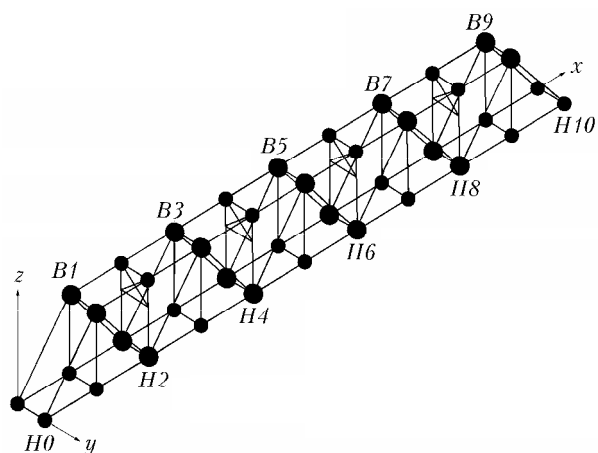


Рис. 1. Розрахункова схема прогінної будови

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по першій формі наведена на рис. 2. Для контурів поперечних перерізів прогінної будови у непарних вузлах вказані нормовані поперечні і поздовжні переміщення. У зв'язку з тим, що поздовжні переміщення надто малі їх величини не наводяться.

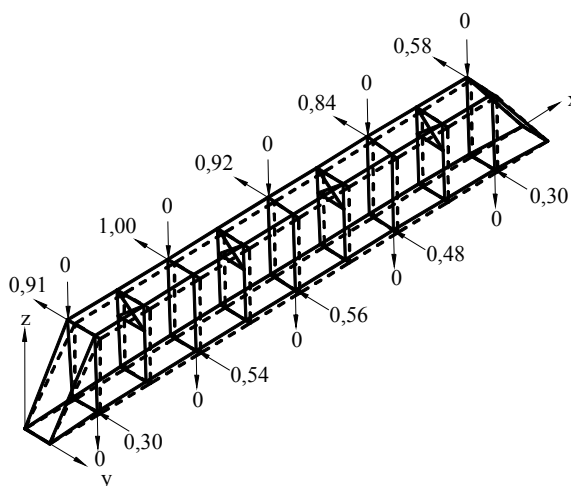


Рис. 2. Перша форма просторових коливань прогінної будови

Вільні просторові коливання прогінної будови по першій формі відбуваються з частотою 1,02 Гц (період коливань 0,980 с). У цьому випадку верхні і нижні вітрові ферми переміщуються синфазно. Слід також відмітити, що верхня вітрова ферма переміщується на величину вдвічі більшу, ніж нижня вітрова ферма.

Вузли нижньої вітрової ферми переміщуються симетрично відносно своєї поперечної осі. Стосовно переміщень верхньої вітрової ферми то переміщення верхніх вузлів порталної рами над рухомою опорною частиною декілька менші, ніж над нерухомою опорною частиною.

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по другій формі наведена на рис. 3.

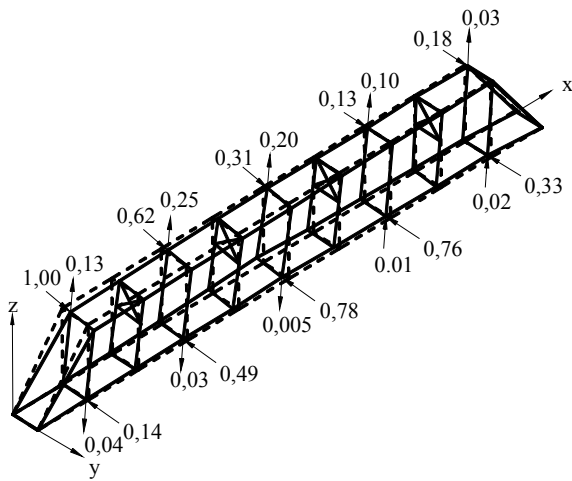


Рис. 3. Друга форма просторових коливань прогінної будови

Вільні просторові коливання прогінної будови по другій формі відбуваються з частотою 1,62 Гц (період коливань 0,617 с). У цьому випадку верхні і нижні вітрові ферми переміщуються антифазно. Слід також відмітити, що в середньому перерізі прогінної будови верхня вітрова ферма переміщується на величину втричі меншу, ніж нижня вітрова ферма.

Портальні вузли верхньої вітрової ферми переміщуються в один бік, але вузол з боку нерухомої частини переміщується набагато більше, ніж вузол з боку рухомої опорної частини. Вертикальні переміщення прогінної будови незначні.

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по третій формі наведена на рис. 4.

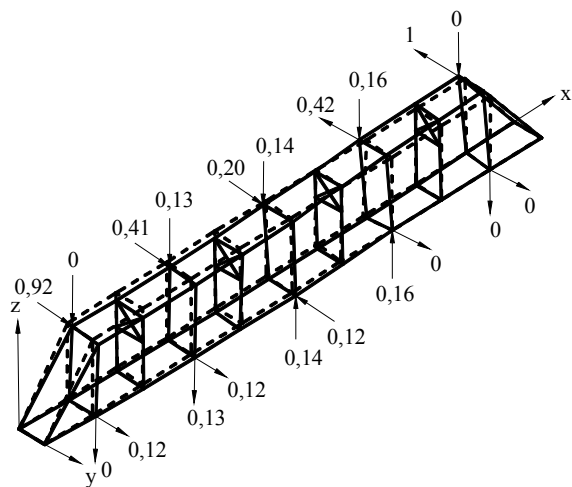


Рис. 4. Третя форма просторових коливань прогінної будови

Вільні просторові коливання прогінної будови по третій формі відбуваються з частотою 2,24 Гц (період коливань 0,446 с). При коливаннях по цій формі порталні вузли верхньої вітрової ферми переміщуються у протилежні боки. Головні ферми прогінної будови переміщуються у вертикальній площині синфазно.

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по четвертій формі наведена на рис. 5.

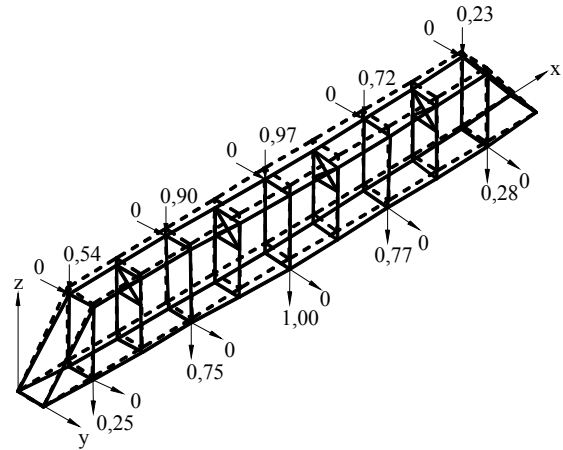


Рис. 5. Четверта форма просторових коливань прогінної будови

Вільні просторові коливання прогінної будови по четвертій формі відбуваються з частотою 2,37 Гц (період коливань 0,422 с). У цьому випадку верхні і нижні головні ферми переміщуються синфазно. Переміщення вузлів ферми в горизонтальній площині практично відсутні.

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по п'ятій формі наведена на рис. 6.

Вільні просторові коливання прогінної будови по п'ятій формі відбуваються з частотою 3,12 Гц (період коливань 0,329 с).

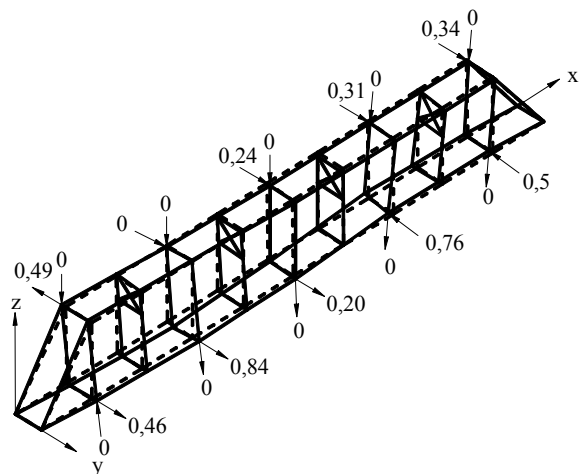


Рис. 6. П'ята форма просторових коливань прогінної будови

Деформація прогінної будови у просторі досить складна: середина верхньої вітрової ферми і порталні вузли з боку рухомої опорної частини переміщуються в один бік, а порталні вузли з боку нерухомої опорної частини – у протилежний. Вузли нижньої вітрової ферми переміщуються по відношенню до вузлів верхньої вітрової ферми антифазно. При коливаннях прогінної будови по цій формі поперечні контури прогінної будови деформуються.

Деформація прогінної будови під час вільних просторових коливань по шостій формі наведена на рис. 7.

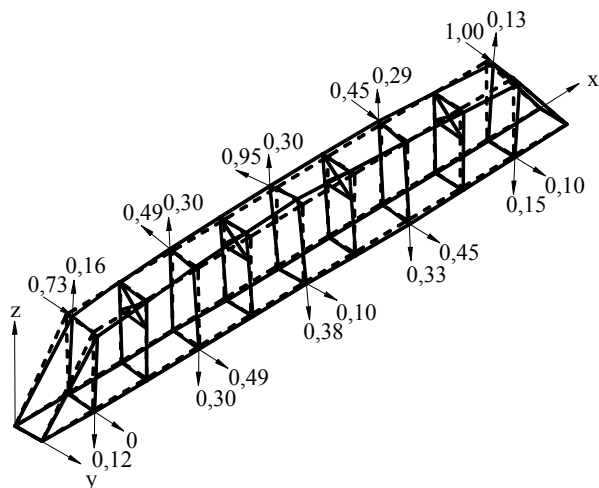


Рис. 7. Шоста форма просторових коливань прогінної будови

Вільні просторові коливання прогінної будови по шостій формі відбуваються з частотою 3,66 Гц (період коливань 0,273 с). У цьому випадку кінцеві вузли верхньої вітрової ферми переміщуються в один бік, а її вузли В3-В7 – у протилежний. Горизонтальні переміщення верхньої вітрової ферми у вузлах В5 і В10 мають майже однакові величини.

Вузли нижньої вітрової ферми по відношенню до вузлів верхньої ферми переміщуються антифазно. У вертикальній площині головні ферми прогінної будови зазнають антифазних переміщень, що призводить до деформації елементів прогінної будови.

Для порівняння динамічних характеристик в таблиці наведені значення частот вільних просторових коливань прогінних будов, які виготовлені за типовими проектами інв. 690/7 (690/7к) і серії 3.501.2-139 виконання 00 (інв. № 1293), підрахованих за однаковими методиками.

Виконані теоретичні розрахунки показують, що частоти коливань прогінних будов серії 3.501.2-139 виконання 00 нижчі, ніж у прогінних будов, які були запроектовані і виготовлені за типовими проектами інв. № 1293.

Слід мати на увазі, що прогінні будови іншого виконання (01, 02 і 03) будуть мати ще нижчі частоти у зв'язку з тим, що вони мають більшу розподілену масу при однаковій жорсткості.

Таблиця

Частоти і періоди вільних просторових коливань

Форма	Інв. № 690/7 і 690/7к				Інв. № 1293, метод МСЕ	
	Метод МСЕ		Експеримент		ν, Гц	T, с
	ν, Гц	T, с	ν, Гц	T, с		
1	1,07	0,934	0,95	1,050	1,02	0,980
2	1,69	0,592	2,02	0,495	1,62	0,617
3	2,42	0,413	–	–	2,24	0,446
4	2,44	0,410	2,35	0,426	2,37	0,422
5	3,04	0,329	–	–	3,12	0,329
6	3,77	0,265	–	–	3,66	0,273

Раніше в роботах [2; 3] відмічалось, що при русі по прогінних будовах інв. № 690/7 і 690/7К порожніх піввагонів спостерігалися просторові коливання системи «міст-поїзд» з досить великими амплітудами. При завантаженні прогінних будов поїздом у зв'язку зі збільшенням загальної маси системи «міст-поїзд» частота коливань зменшується. Під час досліджень було встановлено, що основною причиною виник-

нення просторових коливань прогінних будов під час проходження по мосту поїздів, які сформовані із порожніх піввагонів, є вплив візків піввагонів відносно кузова і бічна качка піввагона внаслідок збігу цих частот з частотами завантаженої прогінної будови [3].

Під час руху по мосту завантажених поїздів різниця між частотами системи і частотами збудження досить значна. У цьому разі зростання

амплітуд просторових коливань прогінних будов серії 3.501.2-139 у порівнянні з прогінними будовами інв. № 690/7К під час проходження по мосту поїздів із завантажених піввагонів або нафтоналивних поїздів чекати не слід.

У випадку завантаження прогінних будов порожніми піввагонами частота системи «міст – поїзд» змінюється незначно.

Під час руху по прогінних будовах серії 3.501.2-139 навантажень у вигляді чотиривісних піввагонів значні амплітуди просторових коливань можуть проявлятися при меншій швидкості руху ніж для прогінних будов інв. № 690/7 або 690/7К.

Максимальний період вільних поперечних горизонтальних коливань, який дорівнює 0,98 с, відповідає вимогам [4], що ставляться до балочних розрізних металевих прогінних будов залізничних мостів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарь М. Г. и др. Динамика железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1965.
2. Борщов В. І. Динамічні випробування прогінної будови типу 690/7к / В. І. Борщов, М. К. Журбенко, Б. Д. Сухоруков. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 1. – Д., 2003.
3. Борщов В. І. Коливання прогінних будов типу 690/7к під час руху по ним поїздів із порожніх піввагонів / В. І. Борщов, М. К. Журбенко, О. С. Распов, Б. Д. Сухоруков. // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 3. – Д., 2003.
4. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2001. –214 с.

Надійшла до редколегії 17.05.04.