

## КОЛИВАННЯ ПРОГІННИХ БУДОВ ТИПУ 690/7К ПІД ЧАС РУХУ ПО НИМ ПОЇЗДІВ ІЗ ПОРОЖНІХ ПІВВАГОНІВ

У роботі розглядається поведінка прогінних будов з розрахунковим прогоном 110 м, виготовлених за типовими проектами 690/7 або 690/7К під час руху по ним поїздів із порожніх піввагонів.

В работе рассматривается поведение пролетных строений с расчетным пролетом 110 м, изготовленных по типовым проектам 690/7 или 690/7К, при движении по ним поездов из порожних полувагонов.

The article considers the behaviour of sectional structures, with 110m rated flight length, manufactured under standard projects 690/7K or 690/7K, at movement of trains made up of empty gondola cars on these structures.

Галузева науково-дослідна лабораторія штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені В. Лазаряна проводила теоретичні і експериментальні дослідження динамічних характеристик металевих прогінних будов з розрахунковим прогоном 110 м, які були виготовлені за типовим проектом інв. № 690/7 під час руху по ним поїздів із порожніх піввагонів. Необхідність у виконанні таких досліджень пов'язана з тим, що службою експлуатації були помічені просторові коливання цих прогінних будов з досить великими амплітудами під час руху по ним поїздів із 100 і більше порожніх піввагонів зі швидкістю, яка перевищувала 60 км/год. Під час руху по мосту графікових вантажних і пасажирських поїздів великі амплітуди просторових коливань не спостерігалися.

Досить великі амплітуди горизонтальних поперечних коливань прогінних будов не впливають на міцність і стійкість споруди, однак приводять до розлаштувань в експлуатаційних пристроях і викликають побоювання у відношенні забезпечення стійкості коліс порожніх піввагонів проти сходу під час їх руху по мосту.

Для експериментальних досліджень був вибраний міст у Казахстані, який мав дві руслові прогінні будови з розрахунковими прогонами по 110 м і дві берегові прогінні будови з суцільними стінками довжиною по 27 м. Руслові прогінні будови з наскрізними фермами з паралельними поясами були виготовлені під навантаження С14 за проектом 690/7к і мали десять панелей довжиною по 11 м при теоретичній висоті головних ферм 15,0 м. Для проведення експериментальних досліджень був сформований спеціальний випробувальний поїзд із 100 порожніх піввагонів.

Метою випробувань було визначення динамічної завантаженості елементів системи «міст–поїзд», а також амплітуд і частот просторових коливань прогінних будов мосту.

Під час проведення випробувань вимірювалися напруження, переміщення і прискорення одночасно на прогінних будовах мосту і на чотиривісних вагонах при різних схемах формування поїзда і різних швидкостях його руху. Крім випробувального поїзда, поведінка прогінних будов реєструвалася і під час руху по мосту графікових вантажних і пасажирських поїздів.

Програмою робіт передбачалося, що поїзда повинні рухатися тільки в одному напрямку по правильній колії і рух по неправильній колії не здійснюється. Згідно з програмою випробувань на прогінних будовах мосту реєструвалися такі величини:

- амплітуди вільних і вимушених поперечних горизонтальних коливань прогінних будов 1–2 і 2–3 у вузлах В5 і Н5;
- амплітуди вільних і вимушених коливань у рівні верхніх поясів у вузлах В9 прогінної будови 1–2 і В1 на прогінній будові 2–3;
- динамічні поперечні горизонтальні переміщення нижніх поясів прогінної будови 1–2 у вузлах Н3, Н5 і Н7 під час вільних і вимушених коливань;
- динамічні переміщення рухомих опорних частин прогінної будови 1–2 на опорі № 2;
- динамічні напруження в елементах опорної діафрагми у вузлі Н10 правої ферми прогінної будови 1–2;
- динамічні прогини обох ферм прогінної будови 1–2 у вузлах Н3, Н5 і Н7.

Схема розміщення приладів на прогінній будові 1–2 наведена на рис. 1.

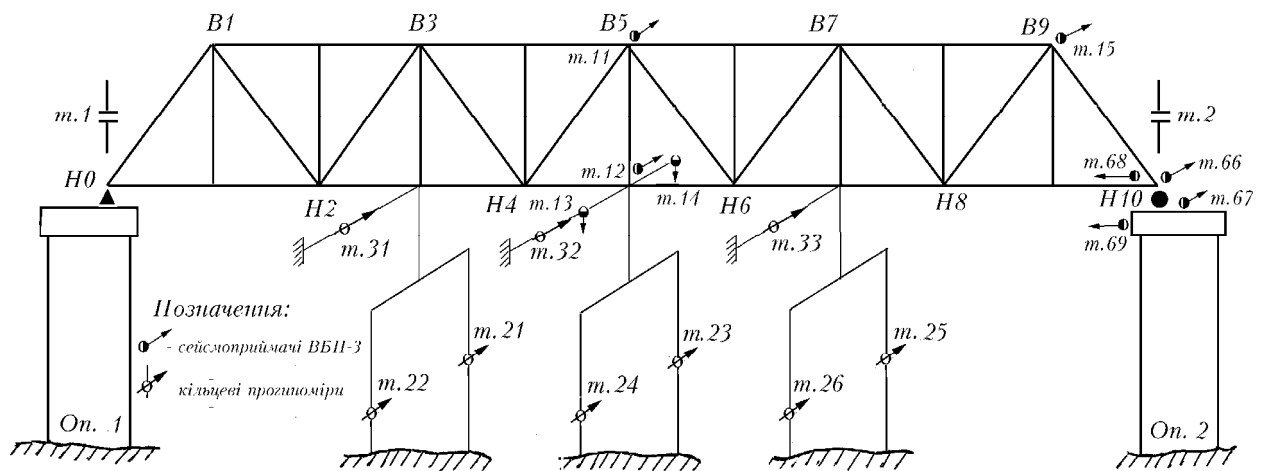


Рис. 1. Схема розміщення сейсмоприймачів та прогиномірів

Динамічні прогини вузлів головних ферм прогінних будов вимірялися за допомогою кільцевих електричних прогиномірів системи ДПТУ [1].

Для визначення амплітуд і частот просторових коливань прогінних будов використовувалися сейсмоприймачі ВБП-3М. Вимірювання прискорень різних елементів прогінних будов здійснювалося за допомогою вібровимірювальної апаратури з датчиками прискорень ДУ-5С-50.

Амплітуди коливань проміжної опори № 2 реєструвалися за допомогою сейсмоприймачів С-5С.

Динамічні напруження в елементах прогінної будови визначалися шляхом вимірювань фібрових деформацій за допомогою тензорезисторів марки 2ПКБ-20х200.

Для визначення моментів проходу рухомого навантаження через прогінну споруду використовувалися магнітні педалі ПМ-56, які встановлювалися біля голівки рейки в опорних перерізах прогінної будови 1–2 і над поперечною балкою П10 прогінної будови 2–3. У цих же місцях встановлювалися і спеціальні датчики для можливості синхронізувати записи коливань прогінних будов і піввагонів випробувального поїзда під час його проходу по мосту.

Під час проведення комплексних випробувань прогінних будов і піввагонів під час їх руху по мосту було проведено 473 досліди, із яких 33 – з випробувальним поїздом за різними схемами його формування.

Швидкість руху випробувального поїзда змінювалася від 43,9 до 91,1 км/год, а графікових поїздів – від 25,6 до 73,2 км/год.

### Вільні коливання

Розміщення приладів на обох прогінних будовах передбачало встановлення ідентичності їх динамічних характеристик.

Для визначення частот прогінних будов виконувалася обробка ділянок реалізацій коливань прогінних будов після сходу поїзда з моста. Оскільки цей процес, як правило, багаточастотний [2; 3], то для визначення частотного складу просторових коливань використовувалися кореляційний і спектральний аналізи, тобто обробка отриманих реалізацій динамічних процесів виконувалася із точки зору теорії випадкових процесів [4].

Обчислення спектральної щільності випадкових процесів виконувалося за методом Кулі-Тьюкі [3]. Для прискорення обчислення використовувалося швидке перетворення Фур'є (БПФ) [3; 5]. Попередньо виконувалася дискретизація реалізацій процесу. Для обчислення частот вільних коливань крок квантування дорівнював 0,018 с, а довжина реалізації становила 40 с.

Із аналізу наведених графіків видно, що частота 0,91 Гц є низшою частотою коливань прогінної будови. У цьому випадку верхня і нижня вітрові ферми прогінної будови переміщуються в один і той же бік на значну величину. Вертикальні переміщення головних ферм у цьому випадку відсутні, а контури поперечних перерізів прогінних будов не деформуються.

Із частотою 1,98 Гц відбуваються коливання «бокової качки» У разі коливань за цією формою верхня і нижня вітрові ферми прогінних будов переміщуються на значну величину в протилежні боки. Головні ферми прогінних будов у вертикальній площині також переміщуються в різних напрямках. У цьому випадку по-

перечні перерізи прогінної будови повертаються навкруги центру коливань, не деформуючись.

### Амплітуди вимушених коливань

Відповідно до програми випробувань амплітуди вертикальних і горизонтальних коливань прогінних будов реєструвалися у одних і тих же вузлах.

Обробка отриманих реалізацій динамічних процесів використовувалася методами математичної статистики [6–8]. Експериментальні дані групувалися в розряди за інтервалами швидкості руху поїзда.

Для кожного розряду знаходилися характеристики розподілення амплітуд коливань прогінної будови і визначалися параметри розподілення відповідно до [9; 10].

Графіки верхніх довірчих границь амплітуд горизонтальних і вертикальних коливань прогінної будови 1–2 наведені на рис. 2 і рис. 3.

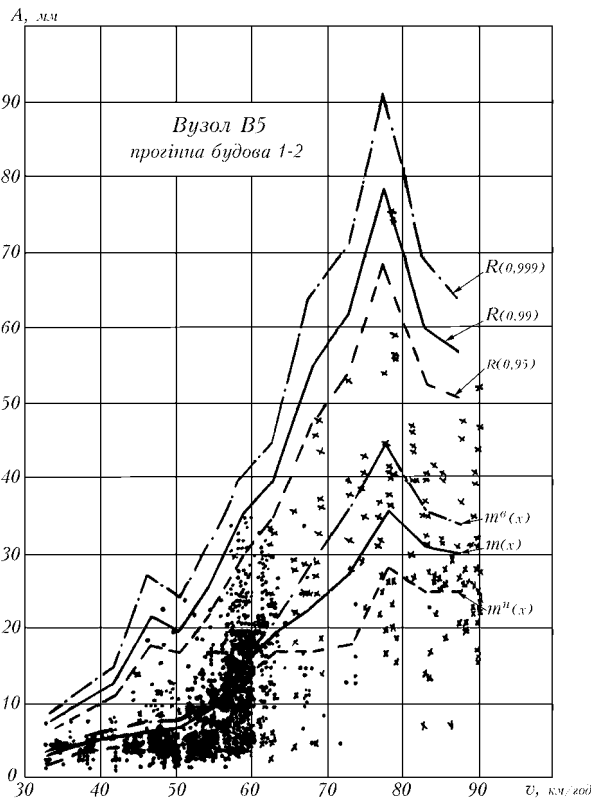


Рис. 2. Графіки довірчих границь амплітуд горизонтальних коливань

На графіку рис. 2 видно, що амплітуди горизонтальних коливань прогінної будови збільшуються із збільшенням швидкості руху поїздів із порожніх піввагонів до 78 км/год, а потім відбувається їх зменшення. Графіки верхніх довірчих границь горизонтальних коливань прогінної будови 2–3 подібні до графіків, що

наведені на рис. 2, але у цьому разі резонансна швидкість під час горизонтальних коливань системи «міст–поїзд» зменшується і становить 72 км/год.

Деяка різниця у величині резонансних швидкостей для прогінних будов 1–2 і 2–3 під час горизонтальних коливань системи, які викликані поїздами із порожніх піввагонів, пояснюється різною поведінкою екіпажів на першій і другій прогінних будовах. У разі збільшення кількості прогінних будов подальше зменшення резонансної швидкості для системи «міст–поїзд» відбуватися не буде.

Графіки верхніх довірчих границь у разі вертикальних коливань прогінної будови 1–2 під час проходження по мосту поїздів із порожніх піввагонів наведені на рис. 3. Для прогінної будови 2–3 графіки мають аналогічний вигляд.

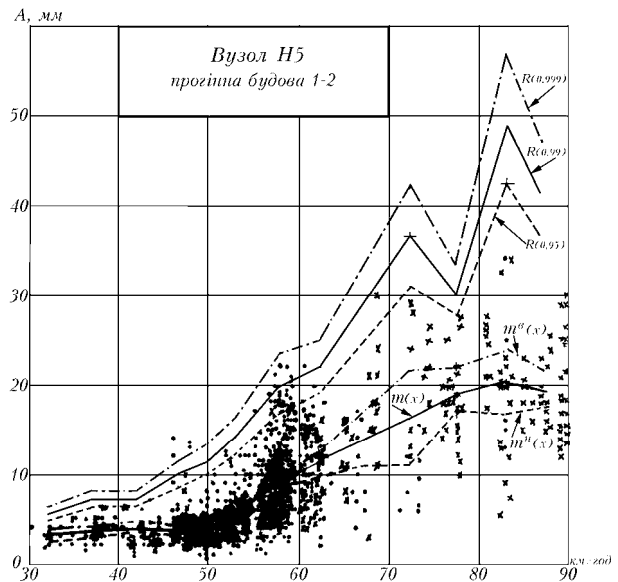


Рис. 3. Графіки довірчих границь амплітуд вертикальних коливань

На рис. 2 і рис. 3 введені такі позначення:  $m(x)$  – математичне сподівання вибірки амплітуд коливань прогінної будови;

$m^e(x)$  – верхня межа математичного сподівання вибірки амплітуд коливань прогінної будови;

$m^h(x)$  – нижня межа математичного сподівання вибірки амплітуд коливань прогінної будови;

$R(0,999)$  – верхня довірна границя генеральної сукупності амплітуд коливань з вірогідністю  $p = 0,999$ ;

$R(0,999)$  – верхня довірча границя генеральної сукупності амплітуд коливань з вірогідністю  $p = 0,99$ ;

$R(0,999)$  – верхня довірча границя генеральної сукупності амплітуд коливань з вірогідністю  $p = 0,95$ ;

У разі зростання швидкостей руху поїздів із порожніх піввагонів амплітуди вертикальних коливань обох прогінних будов зростають до 82 км/год, яка в даному випадку і є резонансною швидкістю.

У разі аналізу графіків слід мати на увазі ту обставину, що на графіках нанесені величини розмахів коливань вузлів прогінних будов у масштабах осцилограми.

### Динамічні прогини

Динамічні прогини прогінних будов вимірялися за допомогою кільцевих прогиномірів ДПТa [1]. Встановлення прогиномірів у різних вузлах прогінних будов дозволило виявити особливості динамічної роботи прогінних будов, виявити форми вільних і вимушених коливань.

Шляхом обробки динамічних прогинів [6; 10] можуть бути визначені динамічні коефіцієнти для головних ферм прогінних будов і після обробки цих величин методами математичної статистики – верхні довірчі границі для них з необхідною вірогідністю, а також виявлені резонансні режими у разі руху по мосту поїздів будь-якого типу. На рис. 4 наведені графіки верхніх довірчих границь динамічних коефіцієнтів, які визначені по прогинах головних ферм, з різною вірогідністю для поїздів із порожніх піввагонів.

На рис. 4 введені такі позначення:

$m(x)$  – математичне сподівання вибірки динамічних коефіцієнтів прогінної будови;

$m^e(x)$  – верхня межа математичного сподівання вибірки динамічних коефіцієнтів прогінної будови;

$m^u(x)$  – нижня межа математичного сподівання вибірки динамічних коефіцієнтів прогінної будови;

$R(0,999)$  – верхня довірча границя генеральної сукупності динамічних коефіцієнтів з вірогідністю  $p = 0,999$ ;

$R(0,999)$  – верхня довірча границя генеральної сукупності динамічних коефіцієнтів з вірогідністю  $p = 0,99$ ;

$R(0,999)$  – верхня довірча границя генеральної сукупності динамічних коефіцієнтів з вірогідністю  $p = 0,95$ .

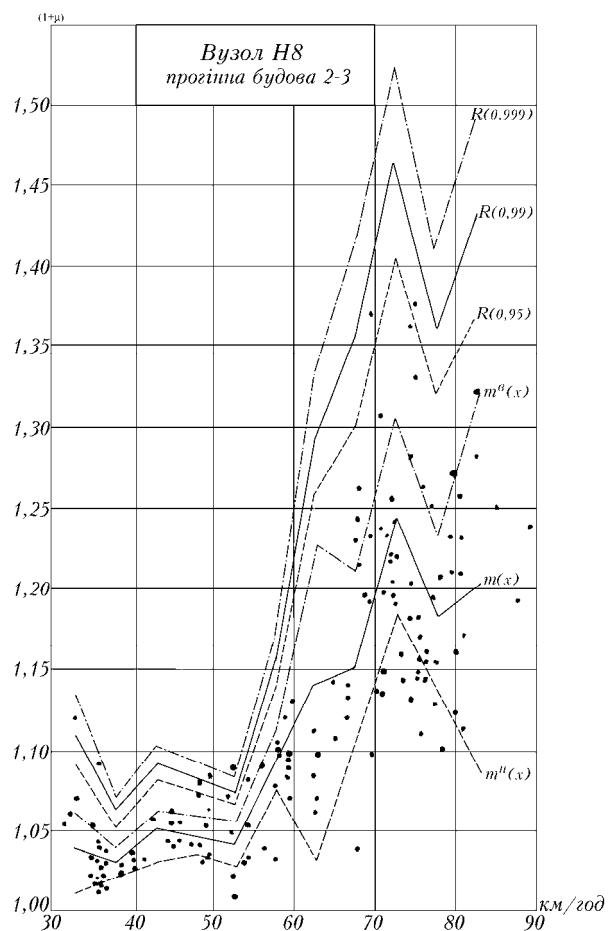


Рис. 4. Графіки довірчих границь динамічних коефіцієнтів

Максимальний динамічний коефіцієнт для головних ферм прогінної будови 2–3 спостерігається під час руху поїздів із порожніх піввагонів зі швидкістю 72 км/год.

Встановлено, що під час руху по мосту поїздів із порожніх піввагонів у системі «міст-поїзд» завжди спостерігаються коливання «бічної качки». Ці коливання характеризуються тим, що в цьому разі ліва і права головні ферми прогінної будови переміщуються у різні боки, а контур поперечного перерізу повертається навкруги центру коливань не деформуючись.

Центр коливань прогінної будови з мостовим полотном на дерев'яних поперечинах під час проходження по мосту поїзда із порожніх піввагонів знаходиться на висоті 4,33 м від осі нижнього поясу прогінної будови, а з мостовим полотном на залізобетонних безбаластних плитах БМП – на висоті 4,06 м над віссю нижнього поясу головної ферми.

Аналіз реалізацій коливань показує, що від моменту входу випробувального поїзда на міст і до його повного сходу основною формою коливань системи «міст–поїзд» є коливання «бічної качки» з частотою 1,91 Гц. Після сходу поїзда з моста прогінні будівлі коливаються зі своєю частотою «бічної качки», яка дорівнює 1,99 Гц.

Аналогічні реалізації отримані і під час проходу по мосту всіх графікових поїздів із порожніх піввагонів. Різниця між ними складається лише у амплітудах коливань.

### Частотний склад вимушених коливань

Під час проходу поїздів по мосту його прогінні будівлі коливаються разом з екіпажами, які знаходяться на них, з різними частотами.

Частина цих частот не залежить від швидкості руху поїздів, деякі з них залежать від швидкості руху поїздів, інші частоти коливань залежать від маси рухомого навантаження, що знаходиться на прогінній будові.

Частотний склад вимушених коливань визначався шляхом спектрального аналізу отриманих реалізацій коливань вузлів головних ферм в горизонтальній і вертикальній площинах. [2; 4; 5]. Попередньо виконувалася дискретизація реалізацій коливань із кроком квантування 0,018 с. Спектральний аналіз реалізацій динамічних процесів проводився по 4096 значенням амплітуд.

Спектральні щільності амплітуд вертикальних і горизонтальних коливань прогінної будови 2–3 під час руху по мосту поїздів із порожніх піввагонів наведені на рис. 5 і рис. 6.

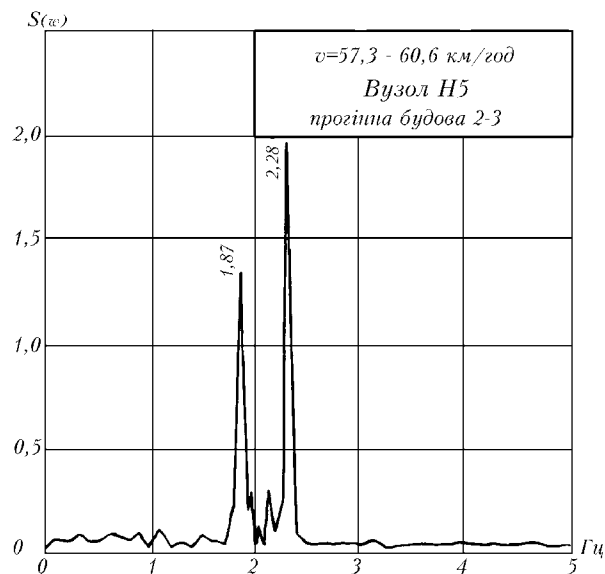


Рис. 5. Графіки спектральної щільності вертикальних коливань

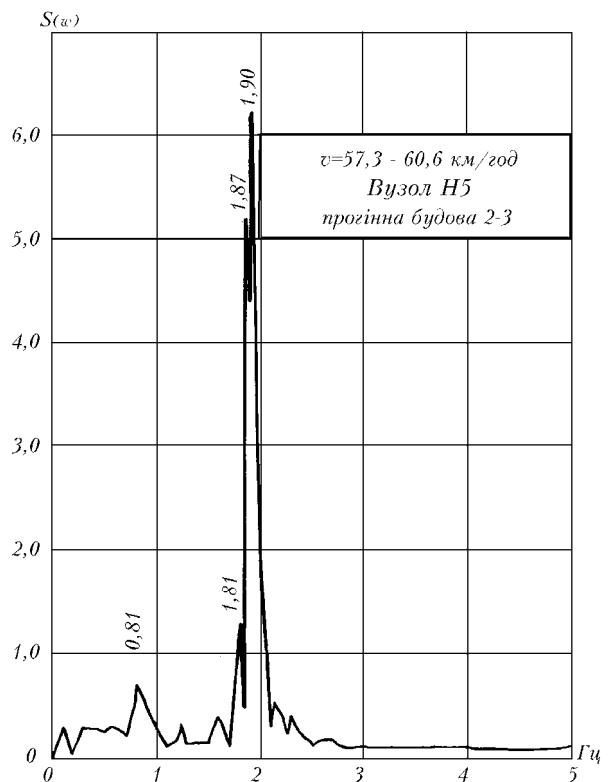


Рис. 6. Графіки спектральної щільності горизонтальних коливань

Для порівняння на рис. 7 наведений графік спектральні щільності амплітуд вертикальних коливань вузла Н5 прогінної будови 1–2 під час руху по мосту того ж самого поїзда із порожніх піввагонів.

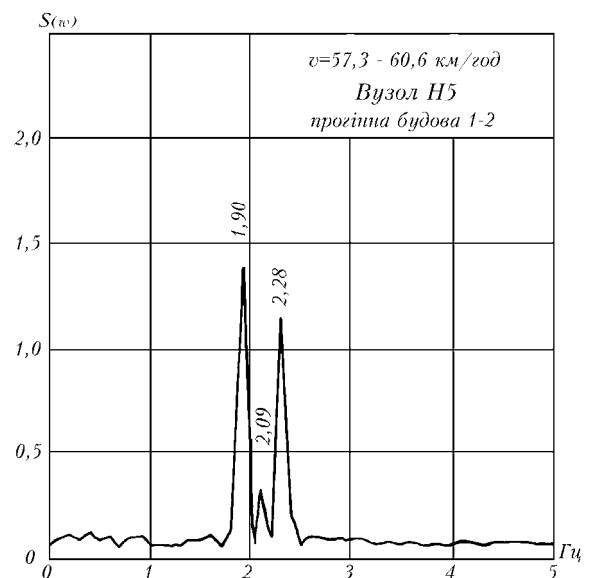


Рис. 7. Графіки спектральної щільності горизонтальних коливань

На цих графіках збільшення долі гармонійної складової спостерігається на ряді частот.

Частота 0,81 Гц відповідає частоті синфазних горизонтальних коливань верхньої і нижньої вітрових ферм, завантаженої піввагонами, прогінної будови.

Із частотою 1,88–1,91 Гц відбуваються коливання «бічного качання» прогінної будови, яка завантажена порожніми піввагонами.

Звертає на себе увагу і той факт, що за даними галузевої науково-дослідної лабораторії штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту з частотою 1,85 Гц відбуваються зміни горизонтальних зусиль в надресорній балці порожнього піввагона, що рухається по мосту, тобто з частотою 1,85 Гц відбуваються коливання виляння візка піввагона відносно його кузова. У зв'язку з цим, під час проходження по мосту порожніх піввагонів навіть з невеликою швидкістю завжди будуть виникати коливання «бічної качки» системи «міст–поїзд». Коливання системи з частотами 1,88–1,91 Гц мають невелику енергію, відбуваються коливання системи з частотами 2,05–2,09 Гц. Ці частоти відповідають синфазним вертикальним коливанням системи «міст–поїзд», однак з частотою 2,06 Гц спостерігаються динамічні добавки вертикальних сил на шийці колісної пари піввагона, тобто спостерігаються коливання «бічної качки» екіпажа.

Значну енергію мають коливання і з частотами 2,28–2,30 Гц. Ці частоти відносяться до групи частот вертикальних коливань системи «міст–поїзд» і є частотами антифазних вертикальних коливань завантаженої прогінної будови. У цьому випадку головні ферми прогінної будови переміщуються в протифазі. Коливання супроводжуються не тільки вертикальними, але і горизонтальними переміщеннями. Контур поперечного перерізу прогінної будівлі в цьому випадку трохи деформується.

Крім цих коливань спостерігаються також і коливання з іншими частотами, які відповідають більш високим частотам коливань вагонів. Особливо часто, крім перелічених вище, на графіках спектральних щільностей проявляється частота 2,36 Гц.

На рис. 8 і рис. 9 наведено графіки спектральних щільностей горизонтальних і вертикальних коливань вузла Н5 прогінної будови 1–2 у разі рівномірного і прискореного рухів порожніх піввагонів по мосту.

У першому випадку рух поїздів відбувався зі швидкістю 65,2–65,4 км/год.

У другому випадку швидкість поїзда при вході на міст дорівнювала 66,4 км/год, а на виході з нього – 69,1 км/год.

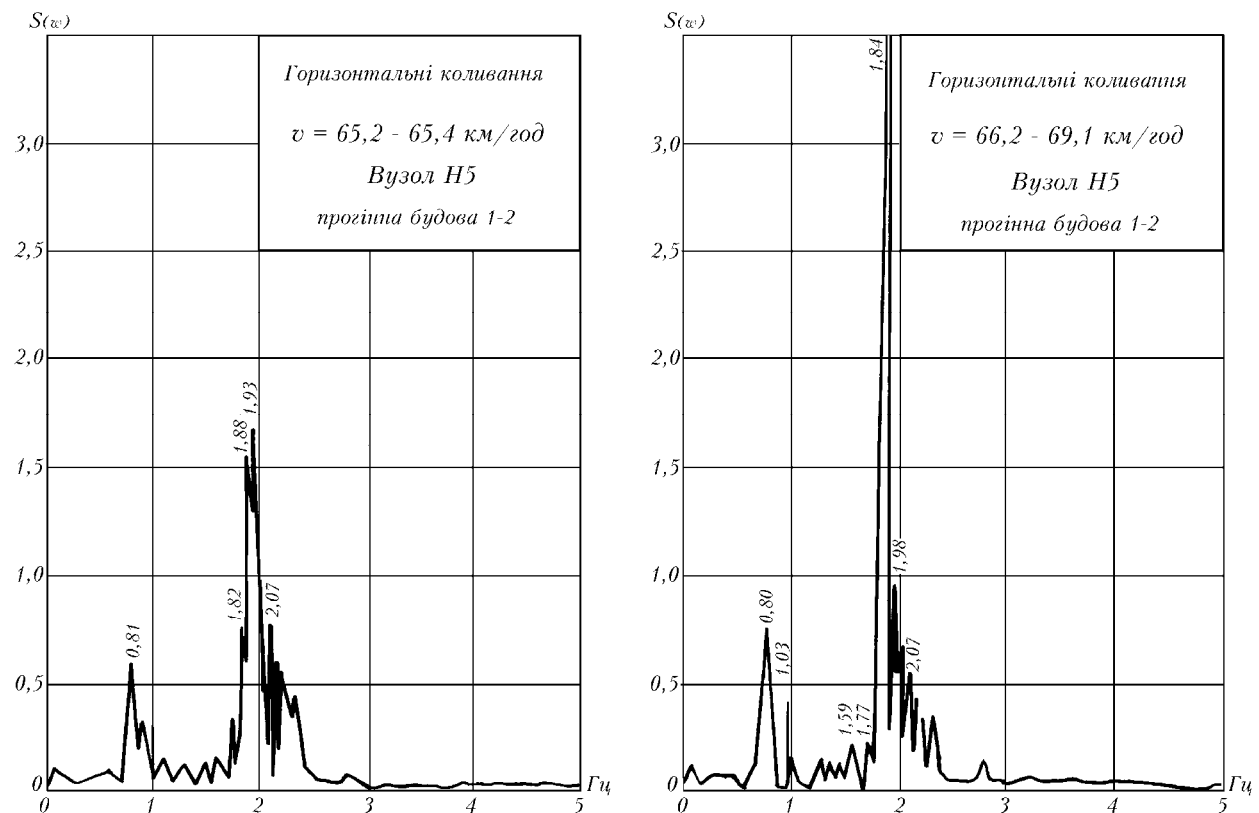


Рис. 8. Графіки спектральних щільностей горизонтальних коливань

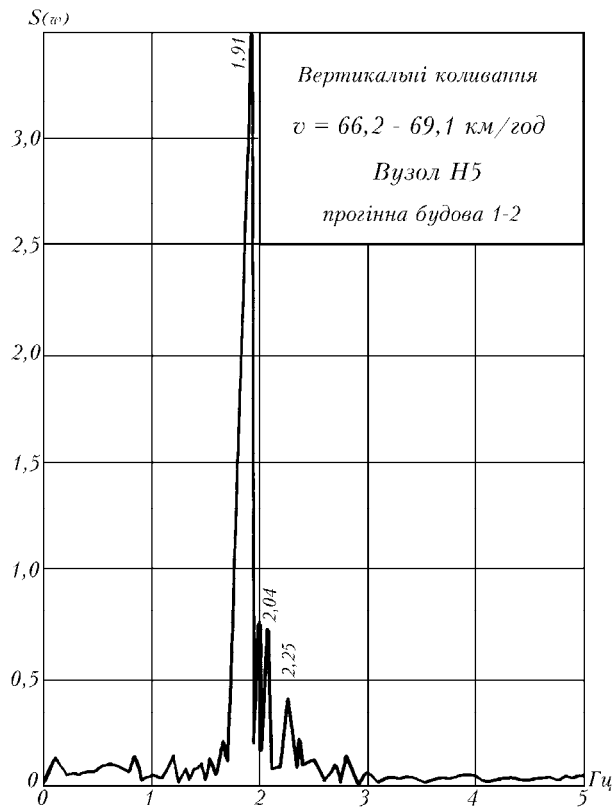
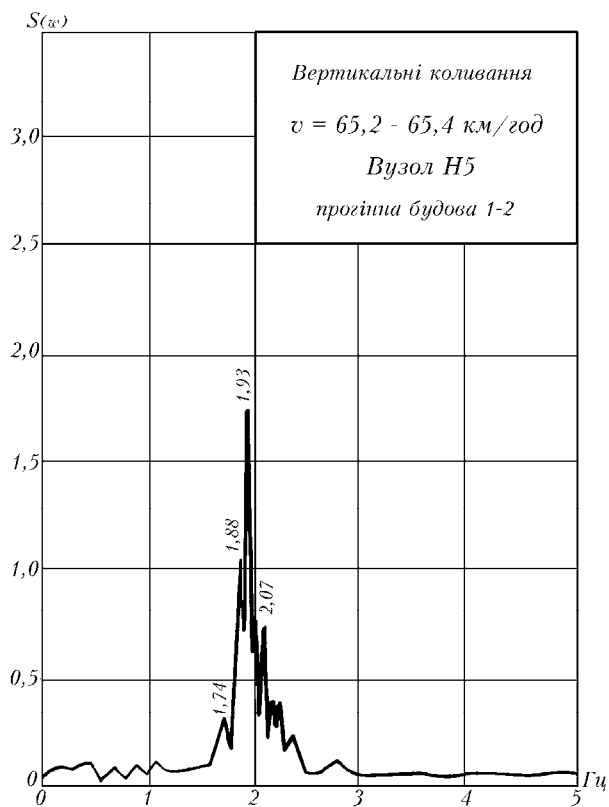


Рис. 9. Графіки спектральних щільностей вертикальних коливань

Аналіз амплітуд коливань прогінних будов під час руху по ним випробувальних поїздів із порожніх піввагонів показав, що вони залежать тільки від швидкості руху поїзда і не залежать від схеми його формування.

### Напруження в опорній діафрагмі

Діафрагма між двома фасонками в опорному вузлі прогінної будови встановлюється конструктивно і не розраховується.

У дійсності в опорній діафрагмі виникають напруження, які викликані роботою балкової клітки під навантаженням від рухомого складу, а також коливань прогінної будови.

Під час проведення випробувань встановлено, що у разі проходження по мосту поїздів в перерізах опорної діафрагми виникають значні напруження. Високі напруження виникають під час проходження вантажних поїздів, однак у цьому випадку коефіцієнт зниження граничних напружень в розрахунках на витривалість дорівнює одиниці.

Найбільше напруження у кутику опорної діафрагми 66,91 МПа зафіксовані під час проходження по мосту випробувального поїзда із швидкістю 82,5 км/год. Під час проходження випробувального поїзда із швидкістю більше 60,0 км/год напруження змінюються з частотою 1,91 Гц. Коефіці-

єнт зниження граничних напружень в розрахунках на витривалість знаходиться в межах 0,61–0,74.

### Коливання руслової опори мосту

У процесі випробувань піввагонів під час їх руху по мосту була звернена увага на той факт, що досить часто виникають поздовжні і поперечні коливання руслової опори.

З метою визначення частот і амплітуд поздовжніх і поперечних коливань руслової опори на її підферментній площадці були встановлені сейсморейсери С-5С.

Обробка отриманих реалізацій коливань опори показала, що поздовжні коливання відбуваються з амплітудою 0,19 мм, а поперечні – 0,35 мм. Як правило, частоти поздовжніх коливань опори 1,91 Гц, 2,05–2,09 Гц або 2,36 Гц.

Поперечні коливання руслової опори спостерігаються з частотою 2,25 Гц або 2,36 Гц.

### Висновки і рекомендації

Внаслідок проведених комплексних випробувань поїздів із порожніх піввагонів при їх русі по мостам з прогінними будовами довжиною 110 м, виготовленими за типовим проектом 690/7, можна зробити ряд висновків.

1. Амплітуди просторових горизонтальних коливань залежать від швидкості руху поїзда і при русі поїзда по мосту із порожніх піввагонів досягають своєї максимальної величини при швидкості 78 км/год для прогінної будови 1–2 і 72 км/год для прогінної будови 2–3. При кількості прогінних будов більше двох подальшого зменшення резонансної швидкості відбуватися не буде.

2. Зростання амплітуд вертикальних коливань прогінних будов відбувається до швидкості 82 км/год при проході по мосту поїздів із порожніх піввагонів. У випадку руху по мосту графікових поїздів із завантажених вагонів зростання амплітуд вертикальних коливань відмічається при швидкості руху поїздів 42 км/год і 68 км/год. Для прогінної будови 2–3 під час проходу по мосту завантажених поїздів резонансна швидкість на 6 км/год менша, ніж для прогінної будови 1–2, тобто вона дорівнює 62 км/год.

3. Прогінні будови мосту 1–2 і 2–3 мають однакові частоти вільних просторових коливань і характеристики затухання.

4. Амплітуди вимушених просторових коливань залежать від швидкості руху поїзда і типу вагонів, з яких він сформований. Для поїздів, що сформовані із порожніх піввагонів, амплітуди просторових коливань системи «міст–поїзд» не залежать від довжини поїзда, тому що максимальні амплітуди коливань спостерігаються під час проходу через середини прогінних будов, як правило, 38-го, 65-го і 79-го вагонів поїзда.

У деяких випадках можливі великі амплітуди коливань під час проходу через середину прогінної будови двадцятого – двадцять третього вагонів.

5. Під час проведення комплексних випробувань залежність амплітуд просторових коливань від схеми формування випробувального поїзда не встановлено.

6. Коливання системи «міст–поїзд» нічим не відрізняються одні від одних як під час руху по мосту з однаковою швидкістю випробувального поїзда або графікових поїздів, сформованих із порожніх піввагонів.

7. При русі випробувального поїзда просторові коливання прогінних будов змінюються так як і при русі по мосту графікових поїздів, які також сформовані із порожніх піввагонів.

Максимальні амплітуди горизонтальних коливань прогінної будови 1–2 спостерігаються під час проходу по мосту випробувального поїзда із швидкістю 78 км/год, а прогінної будови

2–3 – при русі випробувального поїзда із швидкістю 72 км/год.

Амплітуди вертикальних коливань обох прогінних будов зростають до швидкості руху випробувального поїзда 82 км/год.

8. При завантаженні прогінних будов поїздом у зв'язку із збільшенням загальної маси системи «міст–поїзд» частота коливань зменшується.

У випадку завантаження прогінних будов порожніми піввагонами частота системи змінюється незначно. Суттєво змінюється частота системи під час проходу по прогінним будовам завантажених піввагонів або нафтоналивних поїздів.

Частота бокової качки завантаженої прогінної будови при русі по мосту порожніх піввагонів встановлюється рівною 1,88–1,91 Гц, однак із близькою частотою (1,85 Гц) відбуваються коливання виляння візків піввагона відносно його кузова.

Вертикальні коливання системи «міст–поїзд» під час проходу по мосту порожніх піввагонів відбуваються з частотою 2,05–2,09 Гц, але з частотою 2,06 Гц змінюються і динамічні добавки вертикальних сил на шийки колісних пар піввагонів (бічне качання піввагонів), що також приводить до розгойдування системи.

Основною причиною виникнення просторових коливань прогінних будов під час проходу по мосту поїздів, які сформовані із порожніх піввагонів, є виляння візків піввагонів відносно кузова і бічна качка піввагона внаслідок збігу цих частот з частотами прогінної будови, завантаженої піввагонами.

При русі по мосту завантажених поїздів різниця між частотами системи і частотами збудження досить значна. Так, наприклад, під час руху по мосту завантажених піввагонів частота бічної качки системи «міст–поїзд» знижується до 1,45 Гц.

9. Частотний склад просторових коливань у деякій мірі залежить від швидкості руху поїзда (частота входу вагонів на прогін, частоти, що залежать від горизонтальних та вертикальних нерівностей колії), але не залежать від схеми формування випробувального поїзда.

10. Частотний склад просторових коливань системи під час проходу по мосту графікових поїздів із порожніх піввагонів нічим не відрізняються від частотного складу коливань системи «міст–поїзд» при русі по мосту випробувального поїзда із такою ж швидкістю.

11. Під час проходу по мосту однорідних поїздів із вагонів іншого типу частотний склад



коливань системи декілька відрізняється від частотного складу коливань системи під дією порожніх піввагонів і енергія коливань значно нижча.

12. У діафрагмах опорних вузлів прогінної будови під час проходження поїздів виникають значні напруження. Найбільші напруження в процесі випробувань зареєстровані під час проходження по мосту поїздів із порожніх піввагонів із швидкостями, що близькі до резонансних. Зміна цих напружень відбувається з частотою бічної качки системи «міст–поїзд». З точки зору утомлюваної міцності порожні піввагони, які рухаються по мосту із швидкістю понад 60 км/год, є навантаженням.

13. У горизонтальній площині прогінна будова під час руху поїзда коливається за складною формою.

Під час випробувань зареєстровано, що при вході на міст поїзда із порожніх піввагонів з великою швидкістю, чверть прогінних будов переміщуються в один бік, а його середина – у протилежний.

У вертикальній площині одна із головних ферм переміщується вниз, а друга – вгору, тобто відбуваються коливання «бічної качки».

Залежність форм просторових коливань прогінної будови при русі по ньому випробувального поїзда від схеми формування поїзда не встановлено.

14. Математична модель, яка представляє екіпаж двомасовою системою, що зазнає гармонічного збудження з частотою бічної качки завантаженої прогінної будови, не може бути використана навіть для оціночних розрахунків стійкості руху піввагонів по мосту, тому що зовсім не відображає процеси, які відбуваються в системі «міст–поїзд».

При теоретичному дослідженні стійкості руху піввагонів по мосту необхідно використовувати багатомасову модель вагона і враховувати сили взаємодії колеса і рейок колії.

15. Прогінні будови, які виготовлені за типовими проектами 690/7 і 690/7К, мають низьку крутильну жорсткість і крім того, дві його частотні характеристики співпадають з частотами збудження, яке і приводить до підвищених амплітуд просторових коливань системи.

Для зменшення амплітуд коливань системи «міст–поїзд» необхідно змінити частотні характеристики завантаженої прогонової будови.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарь М. Г. и др. Динамика железнодорожных мостов. – М.: Транспорт, 1965.
2. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике. – М.: Госстройиздат, 1965.
3. Бендат Д., Пирсом А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1974.
4. Пугачев Е. С. Теория случайных функций. – М., Физмат, 1960.
5. Марпл.-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
6. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971.
7. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1970.
8. Румшисский Л. З. Элементы теории вероятностей. – М.: Наука, 1970.
9. Свешников А. В. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968.
10. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972.

Надійшла до редколегії 07.05.03.