

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНАЦІЙНИХ ЕПЮР ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ФАКТОРІВ У КОНСТРУКЦІЯХ МОСТІВ

Метод комбінаційних епюр використовується для уточнення значень деформаційних або силових факторів в конструкціях автодорожніх мостів, запроектованих під багатосмуговий рух автомобілів.

Метод комбинационных эпюр используется для уточнения значений деформационных или силовых факторов в конструкциях автодорожных мостов, запроектированных под многополосное движение автомобилей.

The method of combinational profiles is used for refining the values of deformational and force factors in the designs of automobile bridges, intended for multi-lane road traffic.

### Вступ

Розрахунки динаміки займають окреме місце в розділах класичної будівельної механіки штучних споруд. Проте до недавнього часу, не дивлячись на бурхливий розвиток електронно-обчислювальної техніки, значна частина динамічних розрахунків мостових конструкцій, особливо регламентованих діючими нормами за звичним порядком розрахунку, остається не переглянутаю з точки зору нових підходів до проектування, хоча комп'ютерна інженерна база пропонує для цього достатньо широкий спектр програмних інструментів. У ситуації, що склалася, не можуть бути повністю реалізовані економічні підходи до конструювання нових і експлуатації старих будівельних матеріалів, елементів будівель і споруд, застосування машин і механізмів тощо. Нехтуючи сучасним комп'ютерним моделюванням і спрямовуючи розрахунки до збільшення запасів міцності несучих елементів, інженер віддаляється від доцільності застосування тих чи інших методів проектування.

### Класична теорія розрахунку мостів

Загальна теорія врахування динамічного навантаження на будівельну конструкцію виглядає таким чином:

- фіксування конкретного перерізу несучого елемента розрахункової схеми;
- введення як навантаження одиничної зосередженої сили і визначення траєкторії її руху;
- побудова графіка лінії впливу для обраного перерізу.

Для простих конструкцій припущення їх розрахункових схем (однопрогонова балка, рама, розрізна ферма тощо) не суттєво впли-

ватимуть на результат розрахунку. Розрахункове зусилля отримують шляхом множення значення розрахункового силового фактора на відповідну ординату лінії впливу чи площу її ділянки (рис. 1).

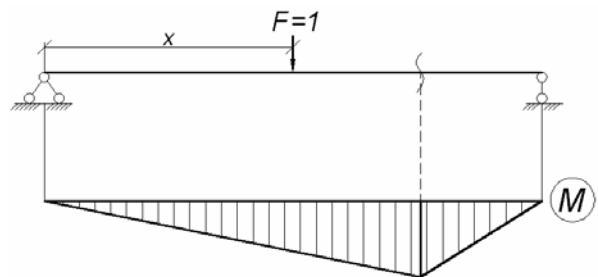


Рис. 1. Лінія впливу згинального моменту в балці

Однак для складних мостових конструкцій, особливо для багатопрогонних нерозрізних балок, вантових та висячих мостів, які належать до класу високонелінійних споруд, подібні спрощення не припустимі.

Більш того, для споруд, які постійно отримують короткострокові імпульси, важливим є поняття комбінації навантаження. У випадку мостів ці комбінації регламентуються нормами [1; 2].

Як правило, для мостів основним тимчасовим навантаженням прийнято вважати вагу транспорту, який рухається по прогонових будовах. У випадку автодорожнього моста, запроектованого під багатосмуговий рух кількох колон автомобілів, нормами встановлюються правила розташування колон поперек проїжджої частини моста згідно з обраним габаритом, а довжину смуги вздовж моста проектувальник має розрахувати власноруч з отриманням максимальних силових та деформаційних факторів у вузлах системи (рис. 2).

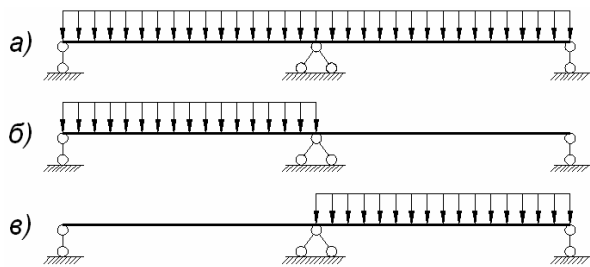


Рис. 2. Варіанти завантаження прогонової будови

У мостах різних конструктивних схем різні схеми завантаження прогонових будов тимчасовим навантаженням будуть викликати різні зусилля. У таких випадках проектувальник або користується загальними принципами розрахунків, або розраховує всі можливі варіанти завантаження.

Ці обидві ситуації пов'язані з витратою значного часу для розрахунку складних конструкцій, а інженер не має технічної можливості врахувати невідгідніше положення навантаження. У таких випадках, як правило, використовують метод скінченних елементів або подібний йому (наприклад, метод скінченних смуг).

### Використання МСЕ для визначення зусиль

Метод скінченних елементів протягом багатьох років зарекомендував себе як потужний універсальний апарат розрахунку будівельних конструкцій. Довіра до нього дозволила інженерам з усього світу об'єднувати зусилля у проектах для створення програмних комплексів широкого застосування.

У сучасній постановці питання про розрахунок конструкції методом скінченних елементів набуває значення термін «модель», на відміну від класичного розрахунку, де реальній системі протиставлялася розрахункова схема (рис. 3). Модель МСЕ – це в загальному випадку просторова об'ємна конструкція, яка відображає не тільки основні властивості реального об'єкту (як розрахункова схема), а й додаткові: властивості конкретного матеріалу, наявність та характер розташування дрібних деталей, просторова конфігурація навантаження тощо.

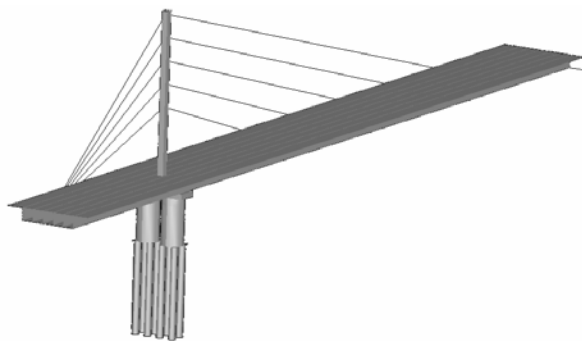


Рис. 3. Модель вантового моста у програмі Robot

Основним недоліком багатьох програмних пакетів, створених на базі МСЕ, є неможливість динамічного розрахунку споруди від кількох рухомих типів навантаження. Значним досягненням, звичайно, є введення як навантаження транспортної моделі (системи зв'язаних сил), проте кілька таких моделей задіяти часто не вдається (програма Robot Millennium). Комбінації ж постійного навантаження, до яких можна віднести цілий ряд другорядних тимчасових навантажень (лід, навал судів, сніг, вітер) підтримуються подібними системами в необмеженому обсязі.

У цьому аспекті доречним для проектування інженерних систем, до складу розрахунків яких надходять комбінації рухомих навантажень (особливо це стосується конструкцій автодорожніх мостів зі значною шириною проїжджої частини), можна вважати спосіб комбінаційних епюр, який дозволяє визначити екстремальні (максимальні, мінімальні) силові або деформаційні фактори системи з подальшим використанням їх значень в перевірках за обома граничними станами.

### Принцип комбінаційних епюр

У розрахунках складної моделі автодорожнього моста вздовж його проїжджої частини одночасно можуть розташовуватися до восьми смуг автомобілів. Це означає, що у розрахунковій схемі необхідно одночасно врахувати до восьми смуг рівномірно розподіленого навантаження на окремих ділянках прогонових будов за умови виникнення в перерізах несучих конструкцій екстремальних значень силових факторів. У класичній «плоскій» постановці це завдання вирішити майже неможливо.

Апарат МСЕ, який є головним «посередником» при побудові комбінаційних епюр, дозволяє швидко визначити одразу кінцеві величини силових факторів для обраних вузлів системи, не «завантажуючи» інженера проміжними розрахунками з визначення ординат відповідної лінії впливу. Більш того, сучасні програмні пакети, які використовують МСЕ (наприклад, Robot Millennium), автоматично визначають максимальні і мінімальні значення силових факторів по всіх вузлах системи, які зводяться до результуючої таблиці.

Отже, на першому етапі побудови комбінаційних епюр визначаються екстремальні значення для кожного вузла системи від кожного окремого типу рухомого навантаження (максимум і мінімум). Ці значення інженеру необхідно звести до окремої таблиці для подальшого визначення комбінаційного фактора. Схематично це виглядає таким чином (табл.).

Таблиця

Приклад таблиці порівняння зусиль

№ вузла	Екстремальні значення зусилля, кН			
	лінія впливу 1	лінія впливу 2	лінія впливу 3	лінія впливу 4
1	345,6	-138,2	0	218,9
	167,2	-267,3	300,1	-12,6
2	0	-287,8	321,2	-197,4
	119,5	-366,6	213,8	197,4
3	-183,6	-13	147,2	0
	0	69,0	-99,1	132,2
4	272,2	78,2	245,3	187,2
	188,6	-34,0	243,9	19,7

Необхідно приділити особливу увагу знаку відповідного зусилля, який може змінюватися залежно від того, яка в даний момент ділянка розрахункової моделі завантажена рухомим навантаженням.

Другим етапом побудови комбінаційних епюр є власне алгебраїчне додавання відповідних значень силових чи деформаційних факторів системи в кожному вузлі та побудова графічної інформації. Універсальність методу полягає в тому, що значення силових факторів, які надходять до табл. 1, вже є екстремальними для окремого типу навантаження, а отже, не виключений випадок, коли всі вони займуть найневигодніше положення для конкретного вузла системи. Ця обставина пояснює необхідність додавання значень зусиль, яка іноді ігнорується в класичному розрахунку. Звичайно, необхідно уважно слідкувати за реальним характером змодельованого навантаження і контролювати випадки, коли кілька типів навантаження не можуть виникнути одночасно або їх врахування заборонено діючими нормами.

Якщо уважно придивитись до таблиці, то стає зрозумілим, що алгебраїчне додавання зусиль по вузлах системи не надасть екстремального значення в цілому. Тому врахування того чи іншого типу навантаження, навіть в умовах можливості його виникнення, не завжди доцільне. Інженер повинен власноруч перевіряти, за яких саме типів навантаження в конкретному вузлі виникає екстремальний фактор.

Графічна інформація для відображення комбінаційної епюри будується за загальними правилами побудови епюр (рис. 4), але за однієї умови. Користуючись даними комбінаційної епюри, необхідно постійно пам'ятати, що це лише теоретичний графік і кожна його ордината відображає екстремальний стан системи, який може виникну-

ти тільки для конкретного вузла. Для іншого вузла розраховане екстремальне значення може виникнути тільки в іншій комбінації навантажень.

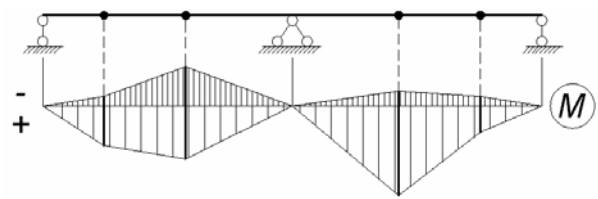


Рис. 4. Приклад комбінаційної епюри

Це суттєво впливає на характер розрахунків і використання значень ординат комбінаційних епюр в розрахунках. Наприклад, необхідно використати екстремальні значення зусиль у вузлах системи «А» та «Б» (рис. 5).



Рис. 5. Вузли теоретичної конструкції

Для цього необхідно ускладнити розрахунки, а саме, провести їх двічі. Перший раз слід ввести в розрахунок екстремальне значення зусилля для вузла «А» (визначене за допомогою комбінаційної епюри), а для вузла «Б» залишити те значення, яке відповідає екстремальній комбінації вузла «А», яке звичайно, не буде екстремальним. Вдруге розрахунок повторюється, але екстремального значення тепер набуває зусилля у вузлі «Б».

### Висновок

Використання методу комбінаційних епюр пов'язане з рядом труднощів, по-перше, в аспекті комп'ютерного моделювання. Однак сучасні вимоги, які ставляться до методів розрахунку, аналізу та конструювання інженерних систем зобов'язують проектувальника в повному обсязі використовувати нові технології, якісні, передові і високоточні засоби для відтворення реальних будівельних об'єктів в електронних моделях. Ця методика застосовується, в основному, для розрахунків складних мостових конструкцій, але її бази можуть бути закладені в розрахунки багатьох інших споруд транспортного, цивільного й промислового будівництва.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.05.03-84\*. Мосты и трубы.
2. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.
3. Петропавловский А. А. Вантовые мосты / Петропавловский, Е. И. Крыльцов. – М: Транспорт, 1985.

Надійшла до редколегії 15.06.2005.