

КРИТЕРІЇ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВАХ

**О. В. Вишев, Ю. О. Градиський, кандидати технічних наук
Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка
e-mail: kafDTSLK@gmail.com**

Анотація. Сейсмічна активність земної поверхні приносить величезні збитки і супроводжується людськими жертвами. У той же час, успіхи застосування антисейсмічних заходів слід вважати більш ніж скромними. Причина полягає у відсутності чіткої стратегії й алгоритму розробки антисейсмічних заходів. У зв'язку з цим необхідно, насамперед, уточнити основні поняття і виробити загальні підходи до проблеми. В будівельних конструкціях виникають два види навантажень – корисні (або технологічні) і шкідливі (або паразитні). Корисні навантаження для більшості будинків і споруд являють собою вагу цих самих будинків і споруд. Ці навантаження практично постійні. Навантаження паразитного характеру викликані сейсмічними впливами.

При сейсмічному впливові на об'єкт захисту діють постійні корисні навантаження (в основному, у вигляді його ваги), і циклічні шкідливі (паразитні) навантаження, які залежать від маси, жорсткості й інших параметрів об'єкта. Запропоновано користуватися двома критеріями, що встановлюють ступінь вразливості конструкції при сейсмічному впливові. Один з них являє собою допустиму величину прискорення, другий – питому міцність. Запропонована авторами методика дозволить більш обґрунтовано підійти до прогнозування наслідків такої надзвичайної ситуації як сейсмічна активність.

Ключові слова: *пластичність, критерій, матеріал, тріщина, параметр*

Постановка проблеми. Відповідно до концепції наукового забезпечення діяльності Державної служби надзвичайних ситуацій України від 2012 року, одним з пріоритетних напрямків діяльності служби є розробка прогнозно-моделюючих систем і комплексів для прогнозування загрози і виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру.

Тому критеріальна оцінка сейсмічної активності, її наслідків, оцінка сейсмостійкості будинків і конструкцій – актуальна, практично

значима науково-технічна проблема, розв'язок якої дозволить захищати населення, будинки і споруди, конструкції від наслідків сейсмічного впливу.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз літературних джерел [1–7], інтернету та останніх досягнень сейсмології показують, що дана науково-технічна проблема в такій постановці вирішується вперше, тому містить елементи наукової новизни.

Отже, **метою** даних **досліджень** є розробка двокритеріальної оцінки сейсмостійкості будинків, споруд, конструкцій, що комплексно встановлює їх ступінь вразливості при сейсмічному впливі.

Результати досліджень. Сейсмічна активність земної поверхні приносить величезні збитки і супроводжується людськими жертвами. У той же час, успіхи застосування антисейсмічних заходів слід вважати більш ніж скромними. Причина полягає у відсутності чіткої стратегії й алгоритму розробки антисейсмічних заходів. Тому необхідно уточнити основні поняття і виробити загальні підходи до проблеми.

Оскільки всі руйнування пов'язані з виникаючими навантаженнями, спробуємо відтворити процес виникнення цих навантажень. При цьому треба підкреслити, що слід розглядати два види навантажень – корисні (або технологічні) і шкідливі (або паразитні) [1]. Корисні навантаження для більшості будинків і споруд являють собою вагу цих самих будинків і споруд. Ці навантаження практично постійні.

Звернемося тепер до навантажень паразитного характеру. Це навантаження, викликані сейсмічними впливами. Сейсмічні впливи проявляються в різних зонах (називаних активними зонами) [2]. Причиною сейсмічного впливу є руйнування, що відбувається в земній корі, де довго накопичувалася енергія і розвивалися деформації.

Джерелом появи паразитних навантажень, в тому числі навантажень руйнуючого рівня, є енергія пружної деформації, накопичена в масиві земної мантії, що вивільняється при внутрішніх руйнуваннях.

Ця енергія викликає в певному об'ємі коливання різної інтенсивності та напрямків.

Найбільший інтерес представляють коливання земної поверхні, на якій розташовані практично вага будинку і споруди.

Відомо, що за винятком малої ділянки, що містить епіцентр землетрусу, в іншій зоні активності зберігаються тільки горизонтальні коливання ґрунту, причому їх інтенсивність знижується з видаленням від епіцентру.

Ці коливання викликають інерційні навантаження в спорудах.

В першому наближенні (якісна оцінка міцності споруд при сейсмічному впливові), можна записати умову міцності об'єктів захисту:

$$m a \leq [P]. \quad (1)$$

У цій формулі: m – маса об'єкта (який вважається монолітним тілом); a – прискорення цього монолітного тіла; $[P]$ – навантаження, що допускається, для об'єкта, що захищається.

Формула (1) констатує, що навантаження, які генеруються в пружних системах (будинках і спорудах), мають інерційне походження, тобто залежать від маси тіла і його прискорення. Ці навантаження не повинні перевищувати допустимі для даної пружної системи. Потрібно мати на увазі, що до виникнення сейсмічного впливу система також мала характеристику, яку називали допустимою, але така сила мала вертикальний напрямок. Це навантаження є корисним або технологічним; його особливість в тому, що воно діє завжди, в тому числі і з появою паразитного навантаження інерційного походження. Тому перевірка міцності об'єктів повинна виконуватися з врахуванням обох видів навантажень. Важливо повернутися до питання про напрямок інерційної сили. Це є напрямок, орієнтований довільно в горизонтальній площині.

Таким чином, об'єкт надзвичайної ситуації під час сейсмічної активності є під впливом двох видів навантажень: вертикальна постійна і горизонтальна періодична. Об'єкти (будинки і споруди) сприймають складне навантаження (що нагадує позацентровий стиск). Як і при позацентровому стиску, є одна (умовно центрально прикладена) стискаюча сила. Різниця в тому, що згинальний момент створюється не цією силою, а навантаженням, нормальним до поздовжньої осі будинку або споруди. Тому величина згинального моменту не постійна у всіх перетинах, а змінюється залежно від часу і від положення перетину. При цьому максимальний згинальний момент завжди буде в нижньому перетині (на рівні фундаменту або опор іншого типу).

Оскільки переважна більшість будинків і споруд виготовлені з крихких будівельних матеріалів (природний камінь, бетон, цегла, розчин і т.д.), то має сенс для даного будинку (з його розмірами і матеріалом) знайти таке прискорення (на рівні ґрунту), при якому в небезпечному перерізі (тобто на рівні фундаменту) з'являються розтягувальні напруження [3]. Цей критерій може бути позначений як $[a_p]$. Виходячи з принципу д'Аламбера, для замкненої технотронної системи можна записати:

$$m[a_p] = \sum_{i=1}^n \bar{F}_i + \sum_{i=1}^n \bar{N}_i + \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i + \sum_{i=1}^n \bar{F}_{ki}, \quad (2)$$

де: $\sum_{i=1}^n \bar{F}_i$ – геометрична сума всіх зовнішніх сил, що діють на замкнену технотронну систему (об'єкт); $\sum_{i=1}^n \bar{N}_i$ – геометрична сума всіх внутрішніх сил, що діють всередині системи (об'єкта); $\sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i$ – геометрична сума всіх інерційних сил системи (об'єкта); $\sum_{i=1}^n \bar{F}_{ki}$ – геометрична сума всіх сил Коріоліса, якщо система (об'єкт) інерційна.

Звідси:

$$m[a_p] = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{F}_i + \sum_{i=1}^n \bar{N}_i + \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i + \sum_{i=1}^n \bar{F}_{ki}}{m}. \quad (3)$$

Величина цього прискорення є інженерною характеристикою даного будинку (його якісною характеристикою антисейсмічності). Ця характеристика відображає також ступінь вразливості даного об'єкта. Крім того дана характеристика вказує на напрямок подальшого вдосконалювання кожної конкретної споруди. Чим вище споруда (наприклад, димар) тим меншим буде прискорення, що допускається. Можна подібне завдання розв'язати і в іншій постановці – для даної місцевості, де встановлений найбільший рівень інтенсивності сейсмічних проявів, встановити гранично припустиму висоту труб, виготовлених по різних технологіях, а також граничну поверховість будинків у різному виконанні.

На цьому підході може бути встановлений єдиний критерій вразливості об'єкта (наближений, але разом з тим універсальний) [4]. Наявність подібного критерію дозволить також вирішувати завдання по оптимальному проектуванню споруд з врахуванням реально існуючих для них сейсмічних небезпек.

Запропонований критерій це критерій, оснований на зміні розрахункової схеми при сейсмічному впливі. Він неважко розраховується і перевіряється, але не враховує гнучкості і піддатливості об'єкта при різних варіантах навантаження. Надалі він може уточнюватися для дійсно пружних систем, що знижують прискорення, що діє на реальний об'єкт, в порівнянні з прискоренням, що є граничним для жорстких (абсолютно жорстких) споруд. Описаний вище критерій оснований на аналізі напруженого стану в небезпечному перерізі споруди. Це звичне завдання розрахунків на міцність, його можна вважати близьким до класичного.

Особливість аналізу на міцність полягає в тому, що при сейсмічних впливах потрібно дуже обережно ставитися до збільшення міцності об'єктів, що захищаються.

Якщо міцності досягається за рахунок збільшення маси m і одночасного підвищення жорсткості c , то таке зміцнення не поліпшить сейсмостійкості, тому що це зміцнення спровокує відповідне збільшення навантажень [6, 7].

Варіант зміцнення має сенс тільки тоді, коли він не супроводжується збільшенням маси і жорсткості. В цьому плані бажано мати ще один критерій – відносну міцність, зміна якої однозначно і пропорційно впливає на сейсмостійкість.

Відносна міцність може бути оцінена як відношення еквівалентних напружень у небезпечному перерізі об'єкта при сейсмічному впливі $\sigma_{ЕКВ}$ до межі міцності матеріалу об'єкта σ_B :

$$K(c, m) = \frac{\sigma_{ЕКВ}}{\sigma_B}. \quad (4)$$

Умова відносної міцності при цьому прийме вигляд:

$$(\sum_{i=1}^n \bar{F}_i + \sum_{i=1}^n \bar{N}_i + \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i + \sum_{i=1}^n \bar{F}_{ki}) K(c, m) \leq [P]. \quad (5)$$

Зіставляючи (2) і (5), знаходимо зв'язок між критеріями $[a_p]$ і $K(c, m)$:

$$[a_p] = \frac{(\sum_{i=1}^n \bar{F}_i + \sum_{i=1}^n \bar{N}_i + \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i + \sum_{i=1}^n \bar{F}_{ki}) K(c, m)}{m}. \quad (6)$$

Наявність двох критеріїв – за формою об'єкта і по матеріалу об'єкта – дозволяє вирішувати оптимальні завдання антисейсмічної стійкості.

Оптимальним розв'язком завдання антисейсмічної стійкості буде одночасне задоволення обох критеріальних оцінок (1) і (5):

$$\begin{cases} m a_p \leq [P]; \\ K(c, m) (\sum_{i=1}^n \bar{F}_i + \sum_{i=1}^n \bar{N}_i + \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i + \sum_{i=1}^n \bar{F}_{ki}) \leq [P]. \end{cases} \quad (7)$$

Окремо стоїть завдання зниження величини прискорення при землетрусах. Мається на увазі, звичайно, прискорення об'єкта, а не поверхні землі, на яке впливати неможливо [5].

Знизити прискорення об'єкта можна різними способами, але всі вони пов'язані із забезпеченням взаємної рухомості між коливним ґрунтом (фундаментом) і стінами (каркасом) будинку. Крім того, окремі частини будинку або споруди можуть бути з'єднані пружними зв'язками [6, 7].

Висновки

1. При сейсмічному впливі на об'єкт захисту діють постійні корисні навантаження (в основному, у вигляді його ваги), і циклічні шкідливі (паразитні) навантаження, які залежать від маси, жорсткості й інших параметрів об'єкта.

2. Запропоновано користуватися двома критеріями, що встановлюють ступінь вразливості конструкції при сейсмічному впливі. Один з них являє собою допустиму величину прискорення, другий – питому міцність.

3. Запропонована методика дозволить більш обґрунтовано підійти до прогнозування наслідків такої надзвичайної ситуації як сейсмічна активність.

Список літератури

1. Артюх Г. В., Артюх В. Г. Функциональная прочность машин // Защита металлургических машин от поломок. 2005. Вып. 8. С. 61—66.
2. Артюх Г. В., Артюх В. Г. Инженерные проблемы прочности металлургических машин // Защита металлургических машин от поломок. 2003. Вып. 7. С. 85—95.
3. Артюх Г. В. Амортизация нагрузок в металлургических машинах // Защита металлургических машин от поломок. 1999. Вып. 4. С. 160—165.
4. Артюх Г. В. Энергоемкость полиуретановых амортизаторов // Защита металлургических машин от поломок. 1999. Вып. 4. С. 166—172.
5. Артюх В. С., Артюх Г. В. К вопросу крепления станин пильгерстанов // Защита металлургических машин от поломок. 1999. Вып. 4. С. 202—204.
6. ДБН В.2.3-9-99. Будинки та споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Київ. Вид-цтво Держбуду України. 1999. 52 с.
7. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Київ. Інформаційний бюлетень Мінбуду. 2007. № 2. 41 с.

References

1. Artyuh G. V., Artyuh V. G. (2005). Funkcional'naya prochnost' mashin [Functional strength of machines]. Protection of metallurgical machinery from damage. 8. 61-66.
2. Artyuh G. V., Artyuh V. G. (2003). Inzhenernye problemy prochnosti metallurgicheskikh mashin [Engineering problems strength steel machines]. Protection of metallurgical machinery from damage. 7. 85-95.
3. Artyuh G. V. (1999). Amortizaciya nagruzok v metallurgicheskikh mashinah [Depreciation loads metallurgical machines]. Protection of metallurgical machinery from damage. 4. 160-165.
4. Artyuh G. V. (1999). Energoemkost' poliuretanovykh amortizatorov [Power consumption of polyurethane dampers]. Protection of metallurgical machinery from damage. 4. 166-172.
5. Artyuh G. V., Artyuh V. G. (1999). K voprosu krepleniya stanin pil'gerstanov [On the question of fixing the trails pilgerstanov]. Protection of metallurgical machinery from damage. 4. 202-204.
6. DBN V.2.3-9-99. (1999). Budinki ta sporudi. Gromads'ki budinki ta sporudi. Osnovni polozhennya. [Buildings and structures. Public buildings and facilities. Substantive provisions]. Kiev. Vid. Derzhbudu Ukraine. 52.
7. SNiP 2.01.07-85. (2007). Nagruzki i vozdejstviya. [Loads and effects]. Kiev. Informacijnij byuleten' Minbudu. 2. 41.

КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

А. В. Вишев, Ю. А. Градыский

Аннотация. Сейсмическая активность земной поверхности приносит огромные убытки и сопровождается человеческими жертвами. В то же время, успехи применения антисейсмических мероприятий следует считать более чем скромными. Причина заключается в отсутствии четкой стратегии и алгоритма разработки антисейсмических мероприятий. В связи с этим необходимо, прежде всего, уточнить основные понятия и выработать общие подходы к проблеме. В строительных

конструкциях возникают два вида нагрузок – полезные (технологические) и вредные (паразитные). Полезные нагрузки для большинства зданий и сооружений представляют собой вес этих самых домов и сооружений. Эти нагрузки практически постоянны. Нагрузка паразитного характера вызваны сейсмическими воздействиями.

При сейсмическом воздействии на объект защиты действуют постоянные полезные нагрузки (в основном, в виде его веса), и циклические вредные (паразитные) нагрузки, которые зависят от массы, жесткости и других параметров объекта. Предложено пользоваться двумя критериями, которые устанавливают степень уязвимости конструкции при сейсмическом воздействии. Один из них представляет собой допустимую величину ускорения, второй – удельную прочность. Предложенная методика позволит более обоснованно подойти к прогнозированию последствий такой чрезвычайной ситуации как сейсмическая активность.

Ключевые слова: *пластичность, критерий, материал, трещина, параметр*

CRITERIA OF RELIABILITY OF BUILDING STRUCTURES UNDER SEISMIC ACTIONS

A. V. Vishev, Yu. A. Gradysky

Abstract. *The seismic activity of the earth's surface brings huge losses and is accompanied by human victims. At the same time, the success of the application of anti-seismic measures should be considered as more than modest. The reason is the lack of a clear strategy and algorithm development of anti-seismic measures. In this regard, it is necessary, first of all, to clarify the basic concepts and develop common approaches to the problem. In building construction there are two kinds of loads – useful (technological) and harmful (parasitic). Useful load for most of the buildings are the weight of most houses and buildings. These loads are practically constant. The load caused by the parasitic nature of the seismic action.*

When a seismic object to protect the payloads are permanent (essentially in the form of its weight) and cyclic harmful (parasitic) load which depend on the mass, stiffness, and other parameters of the object. It is proposed to use two criteria to establish the vulnerability of the structure under seismic impacts. One of them is permissible acceleration value, the second – specific strength. The proposed method will allow more reasonable approach to the prediction of the consequences of such an emergency as the seismic activity.

Key words: *plasticity, criteria, material, crack, option*