

possible to evaluate its benefits. The proposed technique will allow evaluating the effectiveness of its operation in mixing natural water with reagents and improve the quality of water

Keywords: improved tubular mixer, research methodology, water clarification, mixing, coagulation

DOI: 10.29295/2311-7257-2020-99-1-83-88
УДК 627.8.01

Епоян С.М., Кузьменко В.М., Шилін В.В., Філатов С.В.

Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна,; e-mail: vkg.knusa@ukr.net;
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4551-1309> ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4390-8222>
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7300-7460> ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5042-0623>)

ФІЗИЧНА ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ВІТРОВИХ ХВИЛЬ З КРІПЛЕННЯМ УКОСІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ ПЛИТАМИ

При взаємодії вітрової хвилі з залізобетонними плитами кріплення укоса розрізняють три фази: обрушення гребня хвилі на плиту, накат і відкат хвилі. Натурними експериментальними дослідженнями було виявлено, що в фазі обрушення хвилі крім квазістатичного навантаження присутнє імпульсне навантаження, величина якого майже на порядок перевищує максимальний квазістатичний тиск. На підставі прийнятої фізичної моделі пружної моделі хвилі, плити, ґрунту отримати динамічні характеристики кріплення. Для досягнення мети досліджень використано принцип можливих (віртуальних) переміщень (сума елементарних робіт сил, які діють на систему плита-ґрунт при будь яких переміщеннях системи, дорівнює нулю). Запропонована методика дозволила отримати залежність для визначення власної частоти системи плита-ґрунт. Динамічні характеристики плита-ґрунт разом з урахуванням пружності води при обрушенні хвилі на кріплення дозволяють отримати залежність для визначення величини імпульсного тиску та розробити методику розрахунку товщини плити.

Ключові слова: хвиля вітрова, плита залізобетонна, тиск імпульсний, принцип можливих переміщень, частота власної пружної системи плита-ґрунт.

Вступ. При підході хвилі до укосу зменшується глибина води. В наслідок цього збільшується енергія хвилі, яка приходить на одиницю маси води. Існує критичне значення питомої енергії (енергія, яка приходить на одиницю маси) і при її перебільшенні відбувається руйнування (обрушення) хвилі. Таке явище спостерігається на мілинах берегів і ознакою обрушення хвилі є поява піни так званих барашків.

На укосі з кріпленням залізобетонними плитами при обрушенні хвилі на укос розрізняють три фази [1].

Перша фаза - обвалення греблі хвилі, при якому виникає силове навантаження на плиту, яке вважають статичним навантаженням. Відомо, [1], як визначити максимальну величину та епюру тиску по

променю розповсюдження хвилі. Типова епюра навантаження приведена на рис. 1. Місце обрушення хвилі знаходиться нижче урізу води.

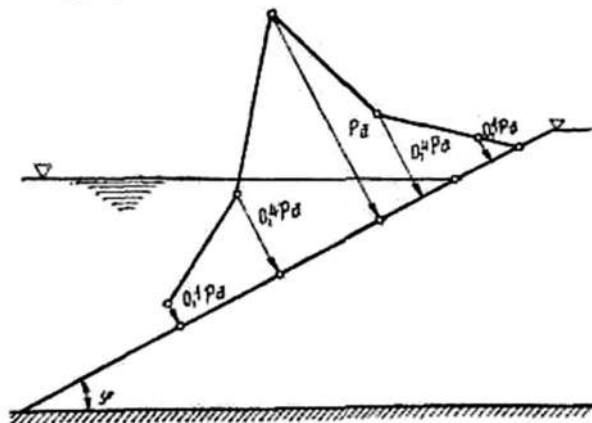


Рис. 1. Типова епюра навантаження

Друга фаза - накат хвилі на укос, при якому хвильовий рух зникає і відбувається поступальний рух води.

Третя фаза - відкат хвилі. Величину накату та відкату визначають згідно [1].

На водосховищах період хвилі не перевищує 10 с. За час дії приблизно 100 хвиль рівень води в порах ґрунту в підплитному просторі сягає рівня накату хвилі. В той же час відкат хвилі триває декілька секунд, а рівень води в підплитному просторі залишається на рівні накату хвилі. В наслідок цього на залізобетонну плиту діє зважувальна сила і товщину плити підраховують по цій схемі навантаження. Схема навантаження на плиту приведена на рис. 2.

На плиту діють дві сили – вага плити та сила протидії підплитної води, величину якої визначають по рекомендації роботи [1]. Якщо площу плити в плані позначити $\omega_{пл}$, то вага плити буде

$G_{пл} = \omega_{пл} \cdot \delta \cdot \gamma_{бет}$, де δ - товщина плити.

Звідси випливає, що товщину плити ви-

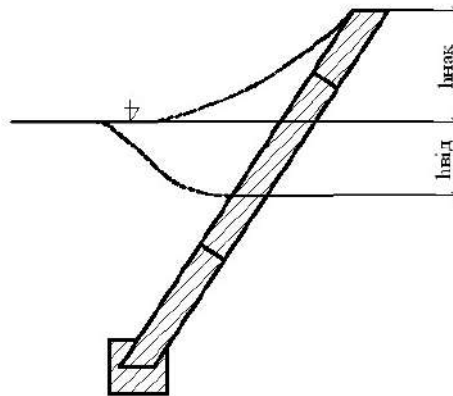
значають по залежності $\delta = \frac{G_{пр} \cdot \sqrt{m^2 + 1}}{\omega_{пл} \cdot \gamma_{бет}}$.

Так як плита лежить на ґрунті вважають, що ґрунт і плита сумісно опираються навантаженню, яке виникає в першій фазі, і тому цей випадок не є розрахунковою схемою.

Однак, при проведенні експериментальних натурних досліджень на експериментальній базі Табурищенського мису Каховського водосховища було виявлено наступне [2, 3]. Тиск вимірювали за допомогою безінерційних індукційних датчиків, які дозволили виявити в складі квазістатичного навантаження наявність тиску, який назвали імпульсивним, або динамічним. Його величина перевищувала квазістатичне навантаження, яке підраховане згідно рекомендаціям [1], майже на порядок, а тривалість дії складала десяту долю секунди. В наслідок дії імпульсного тиску при деяких співвідношеннях між товщиною плити, гравійної відсипки під плитою та механічних характеристиках ґрунту укосу виникає зсув ґрунту і плита в області обрешенні хвилі вже не спирається на ґрунт [4]. В результаті хвилі наступного

шторму, висота яких менша за попередній шторм, руйнують плиту. Для урахування імпульсного тиску потрібно знайти залежності для його визначення.

а)



б)

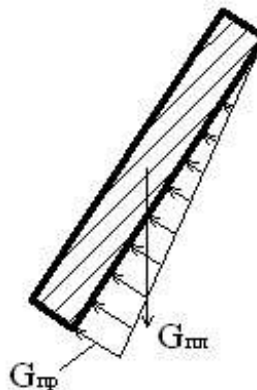


Рис. 2. Схема навантаження на плиту:

а) місце положення накату, відкату хвилі ($h_{нак}$ - висота накату, $h_{від}$ - висота відкату);

б) схема навантаження на плиту при відкаті хвилі ($G_{пл}$ – вага плити, $G_{пр}$ – сила протидії)

Фізична модель.

Вважаємо, що струмінь води падає на плиту з висоти рівної висоті хвилі. Відбувається удар, який вважаємо пружним, тобто враховуємо пружність води, плити, ґрунту. Плиту представляємо, як гнучку полосу, яка прикріплена за допомогою пружних зв'язків до жорсткого екрану (рис. 3).

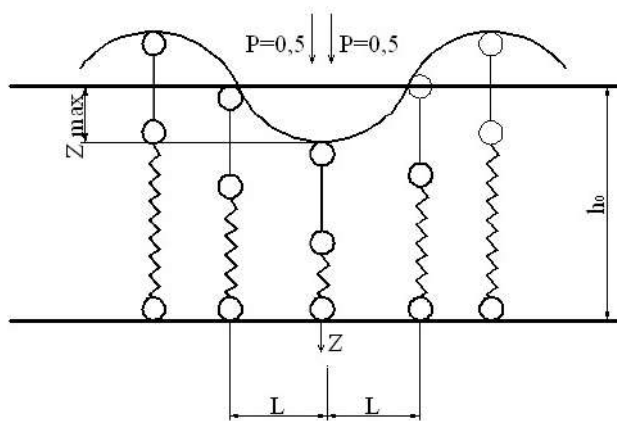


Рис. 3. Стан розрахункової схеми при одиничному навантаженні:

h_0 - глибина ґрунту, на який коливання ґрунту затухаюче, P - одиничне навантаження, L - півдовжини прогину плити.

Модель гнучкого шару кінцевій міцності складається з окремих не зв'язаних між собою пружин. Властивість такої моделі в тому, що існує пряма пропорційність між силою, яка прикладена к ґрунту та його деформацією. В цьому випадку епюра реактивного тиску представляє форму згину балки. На рис. 3 показано кінцеву кількість зв'язків, але при цьому вважають, що кількість їх нескінченно велика, за рахунок чого відбувається безперервний розподіл зв'язків по довжині плити. Рух плити обумовлено імпульсним тиском, який діє в середині плити (рис.3, $x=0$, $z=0$). Для спрощення задачі в першому наближенні імпульсний тиск представлено статичним, з величиною $P=1$. Так як система симетрична відносно вісі z , то до правої і лівої частинам прикладено тиск рівний $0,5 P$.

Математична модель

При рішенні задачі взаємодії плити, ґрунту з імпульсним тиском використовуємо принцип можливих (віртуальних) переміщень - сума елементарних робіт сил, які діють на систему при будь яких переміщеннях системи дорівнює нулю. Для випадку, який розглядається діючі сили - це імпульсний тиск і реакція плити та ґрунту:

$$\sum \delta A = 0 \quad C \cdot \delta A_r + \delta A_q = 0, \quad (1)$$

де C - масштабний коефіцієнт, який враховує максимальний статичний прогин балки;

δA_r - елементарна робота внутрішніх (реактивних) сил одиничного стану системи на відповідних переміщеннях; δA_q - елементарна робота одиничного імпульсного тиску на відповідних переміщеннях.

Робота реактивних сил складається з роботи сил, які обумовлені прогином балки та деформацією ґрунту.

Реакцію в ґрунті, яка обумовлена прогином балки, визначають бігармонічним рівнянням для балки [5 - 7]. Для нейтральної вісі балки реакція дорівнює інтенсивності навантаження:

$$r_1(x,0) = E_1 \cdot I \cdot z^{(IV)}(x,0), \quad (2)$$

де $r_1(x,0)$ - сили реакції (опору) в будь якій точці балки; E_1 - модуль пружності залізобетону (матеріалу балки); I - осьовий момент інерції поперечного перерізу балки; $z^{(IV)}(x,0)$ - амплітуда переміщення будь якої точки нейтральної вісі балки.

Деформація ґрунту відбувається відповідно до форми коливань балки. Таким чином, реакція ґрунту при його деформації буде:

$$r_2(x,0) = \frac{E_0}{h} \cdot z(x,0), \quad (3)$$

де $r_2(x,0)$ - сила (реакція ґрунту); E_0 - модуль пружності ґрунту.

Сила, яка діє в фіксованій точці балки буде складатися з вище перелічених сил:

$$r(x,0) = r_1(x,0) + r_2(x,0) \quad (4)$$

Елементарна робота сили реакції на відповідному переміщенні буде (попередньо вважаємо масштабний множник $C=1$):

$$\delta A_r = - \int_0^{\infty} r(x,0) \cdot r(x) dx \quad (5)$$

Елементарна робота імпульсного тиску на одиничному переміщенні буде (для однієї частини системи):

$$\delta A_q = 0,5 \quad (6)$$

Результати дослідження. По результатах роботи [3] встановлено, що форма коливань плити описується залежністю:

$$z(x) = z_0 \cdot \cos \frac{\pi x}{2L} \cdot e^{-k_1 x}, \quad (7)$$

де z_0 - максимальна величина прогину балки в початковий період в точці

прикладання імпульсного тиску; k_1 -коефіцієнт, який характеризує затухання коливань в напрямку вісі x ; L - параметр, який характеризує гнучкість балки шириною $b = 1\text{м}$, яка лежить на суцільній пружній основі. Відповідно до висновків роботи [5] параметри гнучкості визначають за залежністю:

$$L = \sqrt[3]{\frac{2E_1 I (1 - \nu_0^2)}{E_0 \cdot b \cdot (1 - \nu_1^2)}} \quad (8)$$

де ν_0, ν_1 - коефіцієнти Пуассона відповідно плити, ґрунту.

Поєднуючи вирази (1, 5 - 8) та враховуючи, що зміст масштабного коефіцієнту залежності (1) відповідає максимальному статичному прогину балки при дії одиночної сили, отримуємо:

$$C = W_{\max} = \frac{0,5}{\int_0^{0,5} r(x,0) \cdot z(x) dx} = \frac{\int_0^{0,5} [E_1 \cdot I \cdot z^{IV}(x) + \frac{E_0}{h_0} z(x)] \cdot z_0 \cdot \cos \frac{\pi x}{2L} e^{-kx} \cdot dx}{\int_0^{0,5} r(x,0) \cdot z(x) dx} = \frac{2k_1}{E_1 \cdot \frac{\delta^3}{2L^4} + \frac{E_0}{h_0}}; \quad W = \frac{2k_1}{E \frac{\delta^3}{2L^4} + \frac{E_0}{h_0}} \quad (9)$$

де δ - товщина плити.

При дії імпульсної сили (тиску) на гнучку механічну систему, в останній виникають коливання, які відповідають власним коливанням системи. Частоту власних коливань системи плита-ґрунт визначають згідно закону збереження енергії [8 - 10]:

$$\omega^2 = \frac{E_{\text{ном}}}{E_{\text{кин}}},$$

де $E_{\text{ном}}, E_{\text{кин}}$ - відповідно потенційна, кінетична енергії.

Їх визначають за залежностями:

$$E_{\text{ном}} = \frac{1}{2} \left(\int_0^{\infty} \frac{M^2(x)}{E_1 I} dx + \int_0^{n_0} \frac{N^2(x)}{E_0 F_0} dx \right), \quad (10)$$

де $M(x)$ - момент згинання балки:

$$M(x) = \frac{\partial^2 z(x)}{\partial x^2} \quad (11)$$

$N(x)$ - стислова сила, яка діє на ґрунт:

$$N(x) = \frac{E_0 F_0 z(x)}{h_0} \quad (12)$$

де F_0 - площа погонного метра балки, яка дорівнює 1.

$$E_{\text{кин}} = \frac{1}{2} \left(\int_0^{\infty} dx \int_0^{n_0} m_0 z^2(x, z) dz + \int_0^{\infty} m_1 z^2(x) dx \right), \quad (13)$$

де m_0, m_1 - маса відповідно одиниці об'єму плити та ґрунту на один погонний метр плити з урахуванням води, яка приєднана до неї.

Визначення виразів (10 - 13) дає можливість отримати вираз для визначення власної частоти системи плита-ґрунт:

$$\omega = \sqrt{\frac{E_1 I \frac{\pi^4}{16L^4} + \frac{E_0}{h_0}}{\frac{h_0}{3} m_0 + m_1}} \quad (14)$$

Отримані залежності дозволять в подальшому визначити величину імпульсного тиску, який діє на плиту при обрушенні відповідних хвиль.

Обговорення результатів. Фізичну модель, яка враховує пружність системи плита-ґрунт, широко використовують в дослідженнях. Застосована математична модель впливає з вимог фізичної моделі.

Висновки

1. Вибрана фізична та математична моделі взаємодії вітрової хвилі з кріпленням укусу залізобетонними плитами.

2. Отримана залежність для визначення власної частоти системи плита-ґрунт.

ЛІТЕРАТУРА:

1. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Госстрой России. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 46 с.
2. Сазыкин Н.А., Лещинский В.М. Устойчивость песчаного основания под железобетонными укреплениями откоса при вибрациях вызванных ударом волн. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия, 1967. Вып. 40. С. 234-238.
3. Сазыкин Н.А., Лещинский В.М. Результаты натурных измерений параметров колебаний плитных покрытий верховых откосов, подверженных волновому воздействию. СБ «Водоснабжение, канализация и гидротехнические сооружения». К.: Будівельник, 1968. Вып. VI. С. 24-31.

4. Лупинский М.И., Юрков Ю.В. Результаты силового воздействия ветровых волн на бетонные крепления откосов земляных сооружений. Труды ОВХП ВНИИ ВОД-ГЕО. Харьков, 1968. Вып. I. С. 14-19.
5. Горбунов-Посадов М.И.. Расчет конструкций на упругом основании. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1973. 628 с.
6. Беллендир Е.Н., Шейнкман Д.Р. Прямоугольные незаглубленные модельные штампы на песчаных грунтах: несущая способность основания / Е.Н. Беллендир, Д.Р. Шейнкман // Известия ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева.- Санкт-Петербург, 2007.- Т 248.-С. 3-22.
7. Богославчик П.М., Круглов Г.Г. Проектирование и расчеты гидротехнических сооружений: учебное пособие. Минск: Высшая школа, 2018. 366 с.
8. Рабинович И.М., Сеницын А.П., Теренин Б.М. Расчет сооружений на действия кратковременных и мгновенных сил. М.: Издательство ВИА, 1956. Ч. I, 384 с.
9. Бухановский А.В., Лопатухин Л.И. Экстремальные и необычные ветровые волны: измерения, расчет, прогноз / А.В. Бухановский, Л.И. Лопатухин // Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики. Санкт-Петербург, 2011. Т 4. № 4. С. 5-17.
10. Бестужева А.С. Гидроэкология: курс лекций в 2 ч. Часть 2: Природоохранные сооружения речной гидротехники. М.: Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017. 196 с.

Эпоян С.М., Кузьменко В.М., Шилін В.В., Филатов С.В. ФИЗИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВЫХ ВОЛН С КРЕПЛЕНИЕМ ОТКОСОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ПЛИТАМИ. При взаимодействии ветровой волны с железобетонными плитами крепления откоса различают три фазы - обрушения гребня волны на плиту, накат и откат волны. Натурными экспериментальными исследованиями было выявлено, что в фазе обрушения волны кроме квазистатической нагрузки присутствует импульсная нагрузка, величина которой почти на порядок

превышает максимальное квазистатическое давление. На основании принятой физической модели упругой модели волны, плиты, грунта получить динамические характеристики крепления. Для достижения цели исследований использован принцип возможных (виртуальных) перемещений (сумма элементарных работ сил, действующих на систему плита-грунт при любых перемещениях системы, равна нулю). Предложенная методика позволила получить зависимость для определения собственной частоты системы плита-грунт. Динамические характеристики плита-грунт вместе с учетом упругости воды при обрушении волны на крепление позволяют получить зависимость для определения величины импульсного давления и разработать методику расчета толщины плиты.

Ключевые слова: волна ветровая, плита железобетонная, давление импульсное, принцип возможных перемещений, частота собственной упругой системы плита-грунт.

Epoyan S., Kuzmenko V., Shilin V., Filatov S. PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELS OF INTERECTION WIND WAVES WITH FASTENING OF SLOPES BY REINFORCED CONCRETE PLATES. The interaction of the wind wave with the fastening of slopes from reinforced concrete slabs is divided into three phases: the collapse of the wave crest onto the slab, the roll-over and rollback of the wave. Full-scale experimental studies have revealed that in the phase of the wave collapse, in addition to the quasistatic load, a pulse load is present. Its value is an order of magnitude higher than the maximum quasistatic pressure. Based on the accepted physical model of an elastic model of a wave, plate, soil, dynamic fastening characteristics were obtained. To achieve the goal of research, the principle of possible (virtual) movements was used. It is based on the fact that the sum of the elemental forces acting on the slab-soil system at any displacements of the system is zero. This technique made it possible to obtain a dependence for determining the natural frequency of the slab-soil system. The

dynamic characteristics of the slab-soil, as well as taking into account the elasticity of water when the wave collapses on the mount, allows you to get the dependence. Using this dependence, the magnitude of the pulse pressure is determined. This makes it

possible to develop a methodology for calculating plate thickness.

Keywords: wind wave, reinforced concrete slab, impulse pressure, principle of possible displacements, natural frequency of the slab-soil elastic system.

DOI: 10.29295/2311-7257-2020-99-1-88-93

УДК 544.723

Зайцева В.Г., Нестеренко О. В., Чернишенко Г.О.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: e- bjecknuca@gmail.com;

helennester1972@gmail.com, <pavlovava anya@gmail.com; ORCID: orcid.org/0000-0003-1526-2292

ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5113-20099 ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5113-20099)

ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ У БУДІВНИЦТВІ, ОЦІНКА ТА ЇХ ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА

На основі міжнародного досвіду проведено аналіз теоретичних питань про недоліки в системі забезпечення пожежної безпеки (ПБ) за допомогою використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), як утеплювачів. У будівельній галузі близько 80% теплоізоляційного матеріалу – це пінополістирол. У роботі розглянуті ці матеріали, проаналізовано оцінку і існуючі методи досліджень ПКМ по пожежній безпеці.

Ключові слова: горючість, самозаймання, пожежна небезпека, полімерні композиційні матеріали, екологічна небезпека.

Вступ. У будівництві відходять пластмас використовують в полімерних композиціях з традиційними будівельними матеріалами з метою модифікації їх властивостей, для отримання гідроізоляційних плит і панелей, а також герметиків, які використовуються при зведенні будівель, гідротехнічних споруд та в різних галузях промисловості, тощо.

Значним недоліком більшості полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) є їх горючість. [1]. Композиційні матеріали, які основані на термопластах, найчастіше горять з утворенням гарячих крапель, що значно прискорює розвиток пожежі. Наявність пористих матеріалів, навіть інертних з точки зору їх горючості, також сприяє розвитку пожежі. Розплавлені полімери, контактуючи з пористими матеріалами, просочуються в них подібно гніту у свічці, що є екологічно небезпечно [2].

Більшість ПКМ, при температурі 300 - 400 °C розкладається з димоутворенням і виділенням токсичних газів.

Мета даної роботи – проаналізувати особливості горіння полімерних матеріалів, існуючі методи досліджень їх пожежної небезпеки, впливу на стан навколишнього середовища (НС) і здоров'я людини, на екобезпеку промисловості будівельних матеріалів, яка є компонентом національної безпеки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В Україні проблемами пожежної небезпеки полімерних теплоізоляційних матеріалів займалися: Довбиш А.В., Новак С.В., Нефедченко Л.М., Згуря В.І., Хом'як Я.І., Пресняк І.С., Харченко І.О., Климась Р.В., Скоробогатко Т.М., Якименко О.П., Третьякова О.В., Дагіль В.Г. та інші.

Актуальність роботи: вирішення проблеми використання полімерних композиційних матеріалів в будівельній індустрії і, насамперед, у будівництві високоповерхових будівель, яке йде швидкими темпами в Україні, з урахуванням оцінки їх пожежної небезпеки для НС і здоров'я нації має дуже велике значення [1-3].