

УДК 624.04

**CALCULATION OF SPATIAL REINFORCED CONCRETE FRAMES
TAKING INTO ACCOUNT THE DEFORMATION SCHEME AND
VIBROCREEP****РОЗРАХУНОК ПРОСТОРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РАМ З УРАХУВАННЯМ
ДЕФОРМАЦІЙНОЇ СХЕМИ ТА ВІБРОПОВЗУЧОСТІ**

Buratynskiy A.P. / Буратинський А.П.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0001-5152-3766

Prydniprov's'ka State Academy Civil Engineering and Architecture,

Dnipro, O. Petrov, 24a, 49005

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,

Дніпро, О. Петрова, 24а, 49005

Анотація. Розглянуто механіку тривалих переміщень шарнірно-опертого залізобетонного стержня при впливі вібраційної поздовжньої сили з ексцентриситетом. З часом від тривалої динамічної сили та віброповзучості бетону відбувається перерозподіл напружень між бетоном і арматурою, і виникають переміщення стержня. Проблему віброповзучості розв'язали за допомогою спадкової теорії старіння. Використали два методи: метод Бубнова-Гальоркіна з малим параметром та Рунге-Кутти; метод Бубнова-Гальоркіна з початковими параметрами віброповзучості. Матричний метод з початковими параметрами віброповзучості практично збігається з Рунге-Кутти і прийнятий для подальшого використання в дослідженнях.

Ключевые слова: залізобетонний стержень, матричний метод, усадка, повзучість, віброповзучість бетону.

Abstract. The mechanics of prolonged displacements of a hinged-restrained reinforced concrete beam under the influence of longitudinal vibrational force with eccentricity were examined. Over time, due to prolonged dynamic force and concrete creep, stress redistribution occurs between concrete and reinforcement, leading to beam displacements. The problem of creep was resolved using the theory of aging. Two methods were employed: the Bubnov-Galerkin method with a small parameter and Runge-Kutta; Bubnov-Galerkin method with initial parameters of creep. The matrix method with initial creep parameters practically converges with Runge-Kutta and is recommended for further application in research.

Key words: reinforced concrete beam, matrix method, shrinkage, creep, vibrocreep.

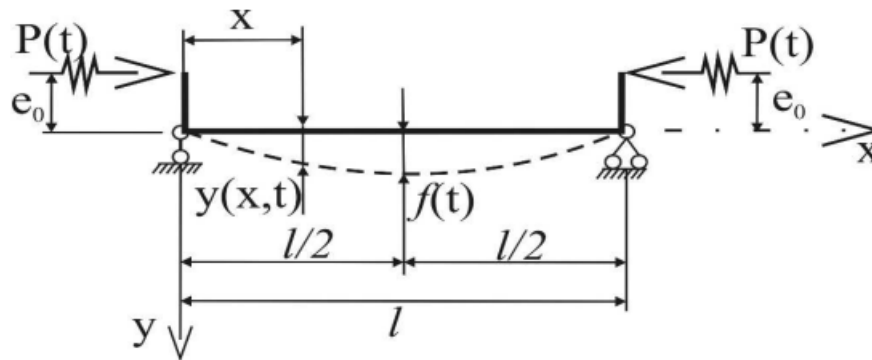
Вступ.

З часом, внаслідок впливу тривалої динамічної сили та віброповзучості бетону, відбувається перерозподіл напружень між бетоном і арматурою, що призводить до переміщення стержня і, відповідно, великих деформацій. Однак існуючі матричні методи, які можуть забезпечити теоретичні рішення для різних компонентів зворотної, незворотної і пружної деформацій у віброповзучості та повзучості, розроблені неідеально.

Метою є дослідження механіки тривалих вібраційних переміщень позацентрово-стисненого залізобетонного стержня.

Основний текст.

Розглянемо шарнірно-опертий залізобетонний стержень при тривалій дії вібраційної (динамічної) поздовжньої сили $P(t)$, яка прикладена з ексцентриситетом.



Задача розв’язана за спадковою теорією старіння. Для цього використовували два методи: перший – метод Бубнова-Гальоркіна – малого параметра – Рунге-Кутти; другий - метод Бубнова-Гальоркіна.

Метод Бубнова-Гальоркіна був безпосередньо використаний для розв’язання задачі віброповзучості у вигляді:

$$\int_0^l \{ [E_0 I y_0''(x) K + P_0 y_0(x) \Gamma + \Delta P y_0(x) \sin \omega(t - t_0) \Gamma] F(t) + \bar{M}(t) \} y_0(x) dx = 0$$

Та отримана рівняння динамічної функції в операторній формі з диференційними операторами віброповзучості для спадкової теорії старіння:

$$k_2(t) \ddot{F}(t) - \Delta \rho B_2(t) \ddot{F}(t) + k_1(t) \dot{F}(t) - \Delta \rho B_1(t) \dot{F}(t) + \xi b_c(t) F(t) - \Delta \rho B_c(t) F(t) = b_c(t) + \Delta \rho B_c(t)$$

Потім застосуємо метод Рунге-Кутти четвертого порядку точності, який прямо прошитий у математичному пакеті (МП) «MathCad» для знаходження часової функції $F_0(t)$.

Далі буд застасован метод початкових параметрів віброповзучості та отримана функція прогибів:

$$f(t) = f_0 + \frac{\dot{f}_0}{\gamma} \cdot \frac{(1 - e^{-\gamma(t-t_0)})}{1!} + \left(\frac{\ddot{f}_0}{\gamma^2} + \frac{\dot{f}_0}{\gamma} \right) \cdot \frac{(1 - e^{-\gamma(t-t_0)})^2}{2!} + \dots$$

Другий метод ми назвали методом Бубнова-Гальоркіна – метод початкових параметрів віброповзучості. Він дозволяє знаходити прогин за формулою: $f(t) = f_0 F(t)$.

Прогини цими двома незалежними методами співпали, а матричний метод практично збігся з методом Рунге-Кутти і тому рекомендується до подальшого застосування.

За першим методом часове рівняння отримане на основі процедури Бубнова-Гальоркіна та малого параметра у вигляді тільки першого наближення, тобто брали $f(t) = f_0 F(t) \sim f_0 F_0(t)$, розв’язано за методом Рунге-Кутти з комп’ютерною реалізацією в MathCad. За другим методом часове рівняння відразу розв’язано методом початкових параметрів віброповзучості (МППВП) при рівності операторів $V E \equiv ; \Lambda \equiv + E C$ – матрицями впливу віброповзучості

й так само реалізований в MathCad. Результати їх розв'язання зображені графічно.

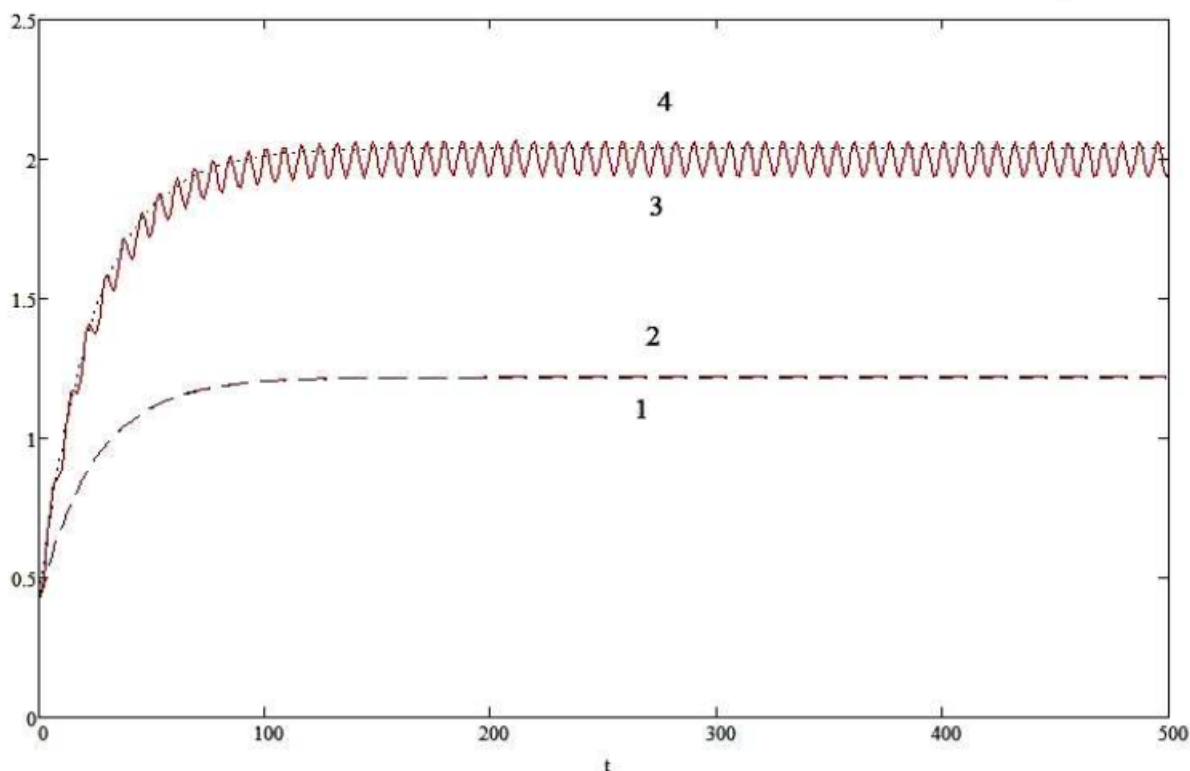


Рисунок 1 - Зростання прогину $f(t)$, t (доба) по спадковій теорії старіння:
 1, 2 – повзучість; 3, 4 – віброповзучість; 2, 4 – метод Бубнова-Гальоркіна – малого параметра-Рунге-Кутти; 1, 3 – метод Бубнова-Гальоркіна – метод початкових параметрів віброповзучості

Графіки зростання динамічного $f_D(t)$ і статичного $f_{CT}(t)$ прогину позацентрово-стисненого стержня, обчислені за двома незалежними методами, практично повністю збіглися. Граничне, найбільше значення динамічного прогину склало $f_D(500) = 2,027$ мм для методу Рунге-Кутти – 4, і $f_D(500) = 1,961$ мм для метода початкових параметрів віброповзучості – 3. Для статичного прогину граничні значення склали $f_{CT}(t) = 1,217$ мм – 2, і $f_{CT}(t) = 1,186$ мм – 1 відповідно.

Висновки.

Дані матричні методи дозволяють отримати теоретичне рішення при різних швидкостях зворотної, незворотної і пружної складових деформацій віброповзучості й повзучості, а також врахувати усі десять членів ряду Тейлора поліпшеної збіжності при комп'ютерній реалізації в МП «MathCad».

Розв'язки експериментально-тестових задач віброповзучості і повзучості показали, що графіки прогинів при динамічному навантаженні інтенсивніше зростають і перевищують їх ріст при статичному навантаженні, а динамічний прогин (віброповзучість) в межі перевищив статичний прогин (повзучість) в середньому на 60%.

Розроблена авторами теорія розрахунку стержнів і матричні методи

методом початкових параметрів віброповзучості практично збігаються з експериментальними даними (розбіжність 10...17%) і рекомендуються для подальшого застосування.

Литература:

1. Слободянюк С.О., Буратинський А.П. Розрахунок залізобетонних рам МСЕ з урахуванням повзучості та віброповзучості / Вестник ХНАДУ. – 2013. – Вип. 63. – С. 85 – 92.
2. Слободянюк С.О., Буратинський А.П., Лучко Й.Й. Механіка тривалих віброційних переміщень позацентровостиснутих залізобетонного стержня / Вісник Тернопільського Національного технічного університету. – Тернопіль: ТНТУ ім. Пулюя, 2014. - №3 (75). – с. 98 – 107.
3. Слободянюк С.О., Буратинський А.П., Лучко Й.Й. Применение МКЭ для реше-ния задач ползучести и виброползучестис помощью математического пакета «MathCAD» / Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій. Збірник наукових праць Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України. – Вип. 10. – Львів: Ка-меняр, 2014. – с. 113 – 123
4. Слободянюк С.О., Буратинський А.П., Щербачов А.Д., Слободянюк О.С., Хамрик О.В. Теорія тривалої міцності та стійкості стержневих залізобетонних систем з урахуванням повзучості та віброповзучості бетону. Частина III / Дніпро: ДВНЗ «ПДАБА»; «Середняк Т.К.», 2016. – 201 с.
5. Яценко, Е.А. Теория длительной прочности и устойчивости железобетонных систем с учетом ползучести бетона / Е.А. Яценко, С.А. Слободянюк. – Днепропетровск: ПГАСА, Пороги, 2002. – 250 с.
6. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2-15:2009. – К.: Мінбуд України, 2009. – 83 с.
7. Лучко, Й.Й. Вимірювання напружено-деформованого стану конструкцій мостів при змінних температурах і навантаженнях: монографія / Й.Й. Лучко, В.В. Ковальчук. – Львів: Каменяр, 2012. – 235 с.
8. Лучко, Й.Й. Міцність, тріщиностійкість і довговічність бетонних та залізобетонних конструкцій на засадах механіки руйнування / Й.Й. Лучко, В.М. Чубріков, В.Ф. Лазар. – Львів: Каменяр, 1999. – 348 с.
9. Слободянюк С.О., Буратинський А.П. Деформаційний розрахунок просторових залізобетонних рам МСЕ з урахуванням віброповзучості бетону / Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 103. - С.219-234
10. Яценко Е.А., Корнилова С.В., Бовин А.А. Теория ползучести железобетонных конструкций. – Днепр-ск: Guadeamus, 2000. – 600 с.
11. Яценко Е.А., Слободянюк С.А. Теория длительной прочности и устойчивости стержневых железобетонных систем с учетом ползучести бетона. Монография – Днепропетровск: ПДАБА; Пороги, 2002. – 252 с.
12. Слободянюк С.А., Буратинский А.П. Метод начальных параметров виброползучести бетона // “Бетон и железобетон в Украине”. – 2010. - № 5. – С. 6 – 7.

© Буратинський А.П.