

Н. П. Ісмаїлова¹
Г. О. Кушнарєва¹
М. Я. Ковтун¹

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДЕФОРМАТИВНОСТІ БЕТОННИХ ПЛИТ НА ВАПНЯКОВОМУ ПІСКУ

¹Військова академія, Одеса

Наведені результати експериментальних досліджень міцності та деформативності бетону на гранітному щебені та вапняковому піску в умовах дії багаторазово повторюваного навантаження. Більшість будівельних конструкцій, в тому числі підкранові балки, панелі покриття та перекриття споруд, покриття аеродромних та дорожніх плит, на які встановлюють різні вібраційні машини, знаходяться під дією навантажень, що багатократно повторюються. Динамічне навантаження виникає під час посадки літака, під час руху його по нерівній поверхні покриття. На аеродромне покриття, крім колісних навантажень, діють потужні газові струмені при роботі реактивних авіаційних двигунів. Руйнування бетонних плит може виникати і під дією навантажень, що багатократно повторюються, одиничні прикладання яких створюють напруження, що не перевищують допустимих. Для тих районів країни, які не мають запасів міцних кам'яних матеріалів, використання місцевих маломіцних матеріалів і побічних продуктів промисловості — одне з важливих заходів зниження вартості будівництва покриттів. Використання місцевих матеріалів дає можливість виключення дорогих перевезень міцних кам'яних матеріалів. До маломіцних кам'яних матеріалів можна віднести: м'які вапняки і піщаники, цегляний бій, продукти вивітрювання гірських порід.

У зв'язку з нестачею кварцового піску в південних регіонах України особливої актуальності набуває використання відходів вапняків-черепашиників. Залізобетонні конструкції, виготовлені з місцевих матеріалів, піддаються в процесі експлуатації дії багатократно повторюваного навантаження, що вимагає оцінки їх втомної міцності та деформативності такого бетону. Робіт, в яких досліджувався вплив циклічних навантажень на залізобетонні конструкції, виготовлених на вапняковому піску, мало.

Дослідження втомної міцності і деформативності бетонів на вапняковому піску дає можливість використовувати залізобетонні конструкції, виготовлені з місцевих матеріалів, що піддаються в процесі експлуатації впливу циклічних навантажень.

Ключові слова: міцність, деформативність, втома, вапняковий пісок, бетон, багатоциклічні навантаження.

Вступ

В живій або в неживій природі та техніці тіло, частина його, елемент конструкції, зазнають не тільки статичних, а також змінних у часі навантажень. Циклічні дії навантажень можуть бути зумовлені такими факторами, як сили природи, життєдіяльністю людини, умовами експлуатації машин та механізмів. Практично не знайдеться ні однієї машини, яка б не зазнавала дії циклічних навантажень. Актуальність досліджень механічних властивостей матеріалів під дією змінно-повторних навантажень викликана тим, що нагромадження дефектів, розвиток тріщин відбувається поступово (повільно) і часто при навантаженнях, значно менших межі текучості, або міцності. Експериментально встановлено, що деталі машин та більшість будівельних конструкцій, які зазнають дії повторно-змінних напружень, можуть руйнуватися за значно менших зусиль, ніж під дією статичного навантаження [4]. Рівні змінних напружень, за яких спостерігається руйнування деталей, істотно менші межі міцності, а найчастіше і межі текучості матеріалу конструкції, зміна яких призводить до макроскопічно пружного деформування.

Розрахунки бетонних покриттів автомобільних доріг проведені в роботах В. Ф. Бабкова, Й. А. Меднікова, В. А. Чернігова і багатьох інших. Серед зарубіжних дослідників необхідно відмітити роботи американського вченого Уестергарда. Теорія розрахунку плит на пружній основі пов'язана з іме-

нами М. І. Горбунова-Посадова, О. Я. Шехтер, Б. І. Жемочкіна та ін. Причиною виникнення цих руйнувань є місцева концентрація напружень. Тривалість експлуатації покриття залежить від надійності її основи. Чим міцніша основа, тим менше вона піддається накопиченню залишкових деформацій [1], [2]. Тому необхідно досліджувати бетон, з якого виготовляють аеродромні та дорожні бетонні плити з місцевих матеріалів.

Основний нормативний документ, який визначає загальні вимоги до бетонних та залізобетонних конструкцій [3], не містить рекомендацій з розрахунку втомної міцності конструкцій, виготовлених з бетону на вапняковому піску.

В роботі [4] експериментально визначено відносну межу витривалості бетону на вапняковому піску, величину початкового модуля пружності E_B такого бетону та визначено величину деформацій на базі $N = 2 \cdot 10^2$ циклів повторного навантаження. Ступінь зниження E_B залежить від призматичної міцності бетону. Чим нижча призматична міцність бетону, тим інтенсивніше проходить зниження величини E_B . За результатами випробувань за циклічних навантажень була встановлена залежність між відносним напруженням та кількістю циклів. В процесі дослідження збільшувались повні деформації бетону

Вивчення міцнісних та деформативних властивостей бетону під дією динамічних та змінних навантажень проводяться в світі з 1900 року, але до цих пір не розроблена єдина теорія втомної міцності бетону. Тому результати дослідження втомної міцності характеризуються значним розкидом, що ускладнює їх аналіз. Але нагромаджені експериментальні дані дозволяють установити низку загальних закономірностей, які можуть бути враховані для оцінювання витривалості бетону [5], [6].

За значної кількості циклів (періодів зміни напружень) в результаті механічних змін у найнапруженіших зонах деталі виникають мікроскопічні тріщини, поступовий розвиток яких призводить до появи макротріщин, а в підсумку — до руйнування. Руйнування від втоми бетонних деталей здебільшого має миттєвий, раптовий та катастрофічний характер. Руйнування може бути частковим, або повним. У разі повного руйнування відбувається поділ тіла (бетонної призми) на частини. Тип руйнування бетонної призми — крихкий. Крихке руйнування інколи називають «пружним».

В південних регіонах України недостатньо кварцового піску, який використовують для виготовлення залізобетонних конструкцій [7]. Тому особливу актуальність набуває використання відходів вапняків. Під час розрахунку будівельних конструкцій, виготовлених з бетону на вапняковому піску, необхідно враховувати втомну міцність та деформативність такого бетону.

Метою роботи є дослідження впливу дії багаторазово повторюваного навантаження на міцність та деформативність бетону на гранітному щебені та вапняковому піску.

Результати дослідження

Динамічне навантаження виникає під час посадки літака та руху його по нерівній поверхні покриття. На аеродромне покриття, крім колісних навантажень, діють потужні газові струмені при роботі реактивних авіаційних двигунів. Руйнування бетонних плит може виникати і під дією навантажень, що багатократно повторюються, одиничні прикладання яких створюють напруження, що не перевищують допустимих. Причиною виникнення цих руйнувань є місцева концентрація напружень. Тривалість експлуатації покриття залежить від надійності її основи. Чим міцніша основа, тим менше вона піддається накопиченню залишкових деформацій. Тому необхідно досліджувати бетон, з якого виготовляють аеродромні та дорожні бетонні плити з місцевих матеріалів.

В роботах [8], [9] експериментально визначено відносну межу витривалості бетону на вапняковому піску, величину початкового модуля пружності E_B такого бетону та визначено величину деформацій на базі $N = 2 \cdot 10^2$ циклів повторного навантаження. Ступінь зниження E_B залежить від призматичної міцності бетону. Чим нижча призматична міцність бетону, тим інтенсивніше проходить зниження величини E_B . За результатами випробувань при циклічних навантаженнях була встановлена залежність між відносним напруженням та кількістю циклів. В процесі дослідження збільшувались повні деформації бетону

Конструкції, на які діють циклічні навантаження, потребують розрахунку втомної міцності та деформативності бетону, з якого вони виготовлені [10].

Для тих районів країни, які не мають запасів міцних кам'яних матеріалів використання місцевих маломіцних матеріалів і побічних продуктів промисловості — один з важливих заходів зниження вартості будівництва покриттів. Використання місцевих матеріалів дає можливість уник-

нути використання вартісних перевезень кам'яних матеріалів міцних порід. До маломіцних кам'яних матеріалів відносять: м'які вапняки і піщаники, цегляний бій, продукти вивітрювання гірських порід.

Вапняковий пісок, який одержують подрібненням та просіюванням відходів каменерізання, за своїми механічними характеристиками, придатний для виготовлення бетонних конструкцій. Для виготовлення бетонних дослідних зразків застосовувався вапняковий пісок, одержаний з відходів каменерізання в Одеській області вапняків-черепашників з фракцією 0,5 мм. Межа міцності на стиск вихідної породи складає 0,8...1,5 МПа. Як крупний наповнювач використовувався гранітний щебінь фракції 5...20 мм.

Дослідження втомної міцності та деформативності бетону на вапняковому піску при осьовому стисканні проводились в лабораторії залізобетонних конструкцій ОДАБА [11]. Використані бетонні призми, виготовлені з бетонів на гранітному щебені та вапняковому піску. Розміри призми 150×150×600 мм та куби з ребром 150 мм. Їх випробовували у віці одного року. Зразки піддавали тепловій обробці у режимах: витримка після бетонування — 34 год.; підняття температури — 3 год.; ізотермічне прогрівання за $t = 75...85\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 1,5 години.

Призматична міцність бетону на вапняковому піску складає 17 МПа, початковий модуль пружності 18 МПа. Для одержання результатів досліджень міцності та деформативності бетону на вапняковому піску випробування проведені на гідравлічному пресі з пульсатором за частоти навантаження 455 циклів на хвилину.

На першому етапі задавали напруження, що перевищували межу витривалості матеріалу зразка, тобто $\sigma = 0,9 f_{cd}$, де f_{cd} — розрахунковий опір бетону на вапняковому піску. При цьому зразок руйнувався протягом невеликої кількості циклів N_1 . Навантаження на інші призми поступово знижували (0,8; 0,7; 0,52; 0,46) f_{cd} . Кожний з менш навантажених зразків витримував більшу кількість циклів до руйнування.

За результатами випробувань встановлено залежність між відносним напруженням повторного навантаження та кількістю циклів (рис. 1). З графіка випливає, що для бетону на вапняковому піску характерна лінійна залежність між (σ_{\max}/f_{cd}) та $\lg N$ в межах дослідження (від $N = 1 \cdot 10^3$ до $N = 1 \cdot 10^6$ циклів). Зі збільшенням кількості циклів спостерігалось зниження втомної міцності бетону. Встановлено, що межа витривалості бетону на вапняковому піску при коефіцієнті асиметрії циклу складає $0,5 f_{cd}$.

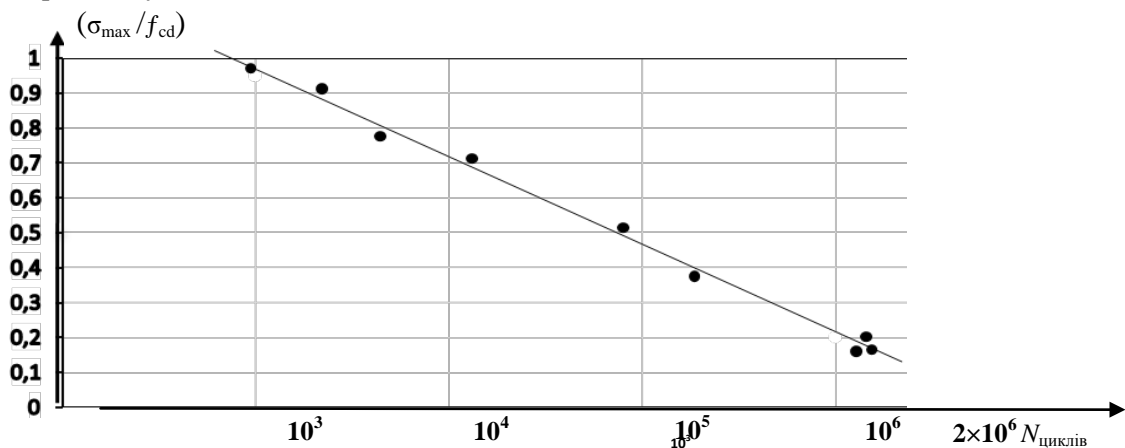


Рис. 1. Залежність відносної межі витривалості бетону від кількості циклів, коли $\rho = 0,33$

На основі аналізу залежності $\sigma = f(\epsilon)$, побудованої на експериментальних даних, після прикладання статичного та багатоциклічного навантаження, встановлено зміну деформативних властивостей бетону. На рис. 2 показано графік $\sigma = f(\epsilon)$, одержаний під час дослідження призми з бетону на гранітному щебені та вапняковому піску. На графіку можна прослідкувати зміну відносних поздовжніх деформацій в процесі пульсації.

Під час дослідження витривалості бетону з вапнякового піску встановлено, що за дії циклічних навантажень, які перевищують межу витривалості, залежність «напруження—деформація» після відповідної кількості циклів вирівнюється, а за подальшого збільшення кількості циклів N відхиляється в сторону осі деформацій. В процесі дослідження збільшуються повні деформації бетону.

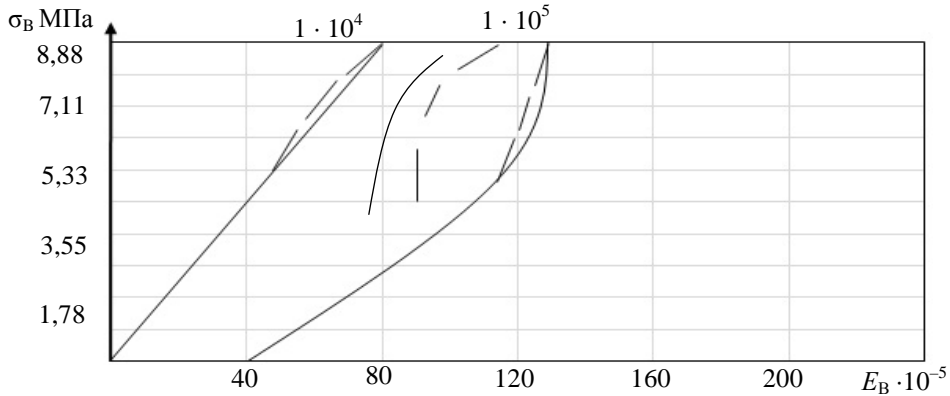


Рис. 2. Діаграма стискання бетону на вапняковому піску під дією багаточислового навантаження, коли $\rho = 0,33$

Зі збільшенням кількості циклів величина деформацій віброповзучості (залишкові деформації) зростає, але це збільшення відчутне у початковому періоді навантаження та не має тенденції до стабілізації у подальшому повторенні навантаження. Величина деформацій на базі $N = 2 \cdot 10^2$ циклів, при коефіцієнті асиметрії циклу $\rho = 0,33$ складає від 84,5 % до 167 % значень деформацій бетону, одержаних при першому статичному навантаженні. Під дією циклічного навантаження виникає зниження початкового модуля пружності вапнякового бетону. В середньому, зниження початкового модуля складає від 50 % до 60 %. Найінтенсивніше зниження цієї величини від 20 % до 30 % проходило в перші $10^4 \dots 10^5$ циклів повного навантаження. При порівнянні початкових модулів пружності бетону E_B на вапняковому піску, які показані на рис. 3, можна зробити висновок, що ступінь зниження E_B залежить від призматичної міцності бетону. Чим нижча призматична міцність бетону, тим інтенсивніше проходить зниження величини E_B .

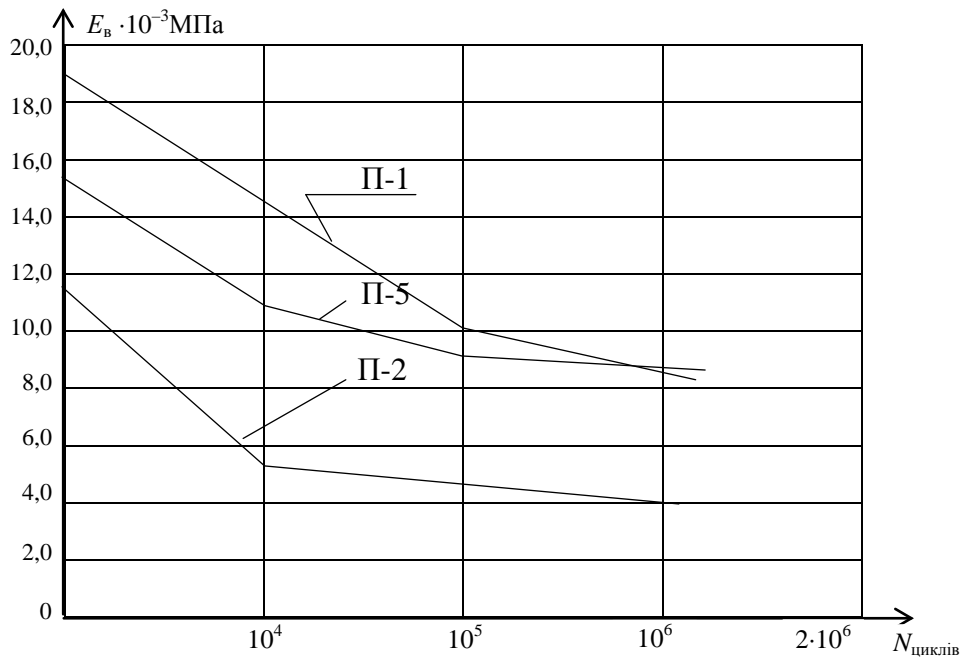


Рис. 3. Залежність початкового модуля пружності бетону на вапняковому піску від кількості циклів, якщо $\rho = 0,33$

Експериментально встановлено значення коефіцієнта переходу ($k_b = E_{b,N}/E_{b,I}$) від модуля пружності бетону на вапняковому піску у разі багаторазового навантаження $E_{b,N}$ до початкового статичного модуля $E_{b,I}$. Для бетонних призм на вапняковому піску одержано значення k_b при навантаженні, що складає 10 % від руйнівного. Воно коливається в межах від 0,75 до 0,63. У разі 50 % навантаження від руйнівного, величина цього коефіцієнта становить в середньому від 0,67 до 0,52.

Висновки

Відносна межа витривалості на базі $N = 2 \cdot 10^2$ циклів навантаження бетону на гранітному щебені та вапняному піску складає $0,5f_{cd}$. У разі циклічного навантаження виникає зменшення початкового модуля пружності бетону на вапняковому піску на 50...60%. Величина деформацій на базі $N = 2 \cdot 10^2$ циклів навантаження складає від 85,4 до 167% значень деформацій бетону, отриманих за статичного навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] І. Ю. Думич та ін., Ред., «Витривалість бетонних дорожніх покриттів на основах різної жорсткості.» *Національний університет «Львівська політехніка», Науково-виробничий журнал*, № 2, с. 131, 2007.
- [2] І. Ю. Думич та ін., Ред., «Вплив типу основи на витривалість монолітних цементобетонних дорожніх покриттів.» *Національний університет «Львівська політехніка», Науково-виробничий журнал* № 2 (238), с. 238, 2014.
- [3] ДБН В.1.2-2:2006, *Навантаження і впливи. Норми проектування*. Мінбуд України. Київ: вид-во «Сталь», 2006, 60 с.
- [4] В. Н. Вырова и др., Ред., «Композиционные материалы и конструкции, структура, самоорганизация, свойства.» *Вісник ОДАБА*, № 30, ч. 2, с. 169, 2010.
- [5] Г. А. Кушнарєв, Ред., «Влияние действия многократно повторяющихся нагрузок на высоту сжатой зоны бетона.» *Вісник ОДАБА*, № 29, ч. 2, с. 127, 2008.
- [6] В. М. Карпюк та ін., Ред., «Стан та перспективи розвитку міцності похилих перерізів прогінних залізобетонних елементів.» *Вісник ОДАБА*, № 41, ч. 1, с. 116, 2013.
- [7] В. С. Дорофеев, «Исследование изгибаемых элементов из мелкозернистого известнякового бетона при взаимодействии поперечных сил.» дис. канд. техн. наук, фак-т ЖБК, Одес. держ. акад. будів. та арх-ри, Одеса, 1972.
- [8] Г. О. Кушнарєва, «Несущая способность и расчет железобетонных балок на известняковом песке по наклонным сечениям при действии многократно повторяющихся нагрузок.» дис. канд. техн. наук, фак-т ЖБК, Одес. держ. акад. будів. та арх-ри, Одеса, 1991.
- [9] Г. А. Кушнарєв, та А. Д. Паску, Ред., «Вплив циклічних навантажень на напружено-деформований стан залізобетонних балок на вапняковому піску.» *Вісник ОДАБА*, № 63, с. 74, 2016.
- [10] Г. А. Кушнарєв, та В. И. Фадієнко, «Напружено-деформований стан в приопорній зоні залізобетонних балок при дії статичного навантаження.» *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, № 32, с. 208, 2016.
- [11] Г. А. Кушнарєв, та С. П. Неутов, «Аналіз несучої здатності та тріщиноутворення в згинальних елементах при дії циклічних навантажень.» *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, № 34, с. 151, 2017.

Рекомендована кафедрою будівництва, міського господарства та архітектури ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 06.11.2018

Ісмаїлова Неллі Петрівна — д-р техн. наук, доцент, заступник завідувача кафедри інженерної механіки, e-mail: Nelly969@ukr.net ;

Кушнарєва Галина Олександрівна — канд. техн. наук, доцент, працівник ЗС України кафедри інженерної механіки;

Ковтун Михайло Якович — працівник ЗС України кафедри інженерної механіки.

Військова академія, Одеса

N. P. Ismailova¹
H. O. Kushnariova¹
M. Ya. Kovtun¹

Research of Tiredness of Concrete on Limestone Sand

¹Military Academy Odessa

Results of experimental researches of durability and deformability of concrete are brought on granite macadam and limestone sand in the conditions of action of the repeatedly repetitive loading. Most building constructions, including crane beams, panels of coverage and overlapping of buildings, coverage of commuter and travelling flags, on that set different oscillation machines, are under the action of the repeatedly repetitive loading. The dynamic loading arises up at landing of air-plane and his motion on the uneven surface of coverage. On commuter coverage, except the wheeled loading, powerful gas streams operate during work of aviation ramjets. Destruction of concrete flags can arise up and under the action of the repeatedly repetitive loading, the single action of that creates tension not exceeding possible. For those districts of countries that do not keep reserves of durable lithoidal materials, the use of local tenuous materials and by-products of industry is one

of important measures of decline of cost of building of coverages. The use of local materials gives an opportunity of exception of expensive transportations of durable lithoidal materials. To tenuous lithoidal materials it is possible to take: soft limestones and sandstones, brick fight, products of weathering of mountain breeds.

In connection with lack of quartz sand of southern regions of Ukraine the especial urgency gets use of limestone. Reinforce-concrete constructions made from local materials, in the process of exploitation to the action repeatedly of the repeated loading that requires the estimation of their tireless durability and deformability of such concrete. Works in which influence of cyclic loads on ferro-concrete designs and made on calcareous sand - a little was investigated. The basic normative document which defines the general requirements to concrete and ferro-concrete designs does not contain recommendations on calculation of fatigue strength of the designs made of concrete on calcareous sand.

Research of fatigue strength and deformability of concrete on calcareous sand provides the way to apply ferro-concrete designs which are made of local materials and influenced in service cyclic loads.

Keywords: durability, deformability, tiredness, limestone sand, concrete, repetitive loads.

Ismailova Nelli P. — Dr. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Deputy Head of the Chair of Engineering Mechanics, e-mail: Nelly969@ukr.net ;

Kushnariova Halyna O. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Member of Armed Forces of Ukraine, the Chair of Engineering Mechanics;

Kovtun Mykhailo Ya. — Member of Armed Forces of Ukraine, the Chair of Engineering Mechanics

Н. П. Исмаилова¹
Г. А. Кушнарева¹
М. Я. Ковтун¹

Исследование прочности и деформативности бетонных плит на известняковом песке

¹Военная академия, Одесса

Приведены результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности бетона на гранитном щебне и известняковом песке в условиях действия многократно повторяющейся нагрузки. Большинство строительно-технических конструкций, в том числе подкрановые балки, панели покрытия и перекрытия сооружений, покрытия аэродромных и дорожных плит, на которые устанавливаются различные вибрационные машины, находятся под действием многократно повторяющихся нагрузок. Динамическая нагрузка возникает при посадке самолета и его движении по неровной поверхности покрытия. На аэродромное покрытие, кроме колесных нагрузок, действуют мощные газовые струи при работе реактивных авиационных двигателей. Разрушение бетонных плит может возникать и под действием многократно повторяющихся нагрузок, однократное действие которых создает напряжение, не превышающее допустимые. Для тех районов страны, которые не имеют запасов прочных каменных материалов, использование местных малопрочных материалов и побочных продуктов промышленности — одно из важных мер снижения стоимости строительства покрытий. Использование местных материалов дает возможность исключения дорогостоящих перевозок прочных каменных материалов. К малопрочным каменным материалам можно отнести: мягкие известняки и песчаники, кирпичный бой, продукты выветривания горных пород.

В связи с нехваткой кварцевого песка в южных регионах Украины особую актуальность приобретает использование отходов известняка-ракушечника. Железобетонные конструкции, изготовленные из местных материалов, подвергаются в процессе эксплуатации воздействию многократно повторяющейся нагрузки, что требует оценки их усталостной прочности и деформативности такого бетона. Работ, в которых исследовалось влияние циклических нагрузок на железобетонные конструкции, изготовленные на известняковом песке, мало.

Исследование усталостной прочности и деформативности бетона на известняковом песке дает возможность использовать железобетонные конструкции, которые изготовлены из местных материалов, и подвергаются в процессе эксплуатации воздействию циклических нагрузок.

Ключевые слова: прочность, деформативность, усталость, известняковый песок, бетон, многоциклические нагрузки.

Исмаилова Нелли Петровна — д-р техн. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой инженерной механики, Nelly969@ukr.net ;

Кушнарева Галина Александровна — канд. техн. наук, доцент, работник ВС Украины кафедрой инженерной механики;

Ковтун Михаил Яковлевич — работник ВС Украины кафедрой инженерной механики