

УДК 691.3.042

С. Ю. МАКАРЕНКО, И. О. ПРОТОПОПОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СЖАТЫХ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НОРМАМ СТРАН СНГ, ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА, США, ЯПОНИИ

Вопрос учета выносливости конструкции при малоцикловом нагружении является чрезвычайно важным при проектировании сложных инженерных сооружений. Расчет на усталостную выносливость необходим для элементов мостовых конструкций, фундаментов ветроэнергетических установок, высотных зданий, резервуаров, силосов, бункеров и т.п. Ввиду начавшегося процесса приведения отечественных норм в соответствие со стандартами стран Европейского Союза, возникла необходимость в сопоставлении методик расчета железобетона на усталостную выносливость. В данной статье рассматривается расчет на усталостную выносливость сжатых бетонных элементов. Для анализа были выбраны нормативные документы стран Европейского Союза, США, Японии, России, Беларуси и Украины. Вопрос о расчете на малоцикловое воздействие арматуры железобетонных конструкций не рассматривается в связи с достаточно хорошей изученностью свойств металла и схожестью методик расчета в рассмотренных нормах.

бетон, усталость, малоцикловые нагрузки

Усталостью называют снижение прочности материала конструкций, подверженных переменной (в некоторых случаях знакопеременной) нагрузки. В процессе периодического нагружения в материале возникают микрповреждения, которые после снятия и повторно приложения нагрузки увеличивают свое влияние на снижение прочности, т.е. усталостные повреждения носят накопительный характер. С увеличением количества циклов уменьшается способность материала выдерживать заданную нагрузку.

Основные величины, которые учитываются при практических расчетах на усталость, приведены на диаграмме нагружения (рис. 1а).

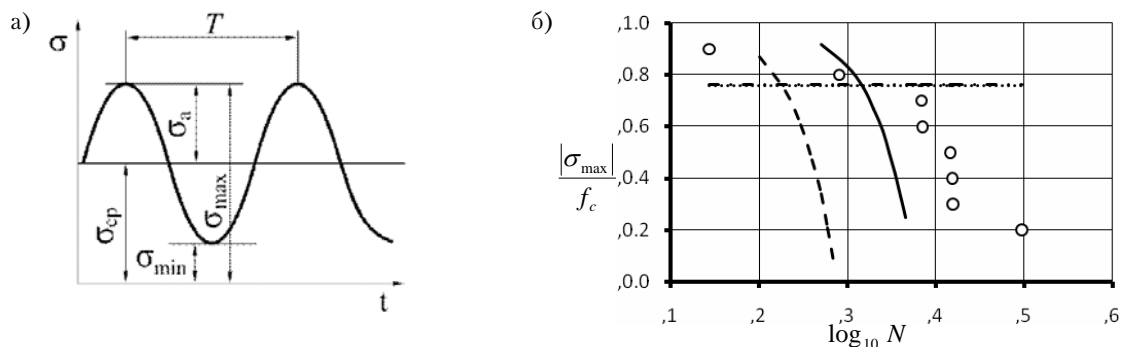


Рисунок 1 – Диаграмма периодического нагружения (а). Сопоставление усталостной прочности бетона при сжатии по нормам [3, 4, 6, 9] с экспериментальными значениями [10] (б). Условные обозначения: \circ – экспериментальные точки по [10]; σ_{\max} – максимальные напряжения; σ_{\min} – минимальные напряжения; σ_{cp} – средние напряжения; σ_a – амплитуда напряжений. — — — — — расчетные значения по методике [6]; - - - - - расчетные значения по методике [9]; - · - · - · - расчетные значения по методике [3]; ········· расчетные значения по методике [4].

В нормах [1, 2, 5, 7] указания по расчету усталостной прочности бетона отсутствуют. Расчеты железобетонных конструкций на выносливость предполагается производить только по арматуре. Вероятно, это связано с тем, что расчет элементов конструкций по первому предельному состоянию производится для случая пластического разрушения (т. е. по арматуре). Для центрально сжатых элементов в случае действия малоциклового нагружения предполагается наличие дополнительного (косвенного армирования), что естественно повышает прочность таких конструкций. Кроме того, в процессе литературного поиска не было обнаружено случаев разрушения железобетонных конструкций по бетону вследствие действия малоциклового нагружения. Это объясняется накопительным характером усталостных повреждений, которые могли быть выявлены визуальным осмотром бетонной поверхности и устранялись до возникновения аварийных ситуаций.

Установление величины усталостных повреждений арматуры затруднено отсутствием прямого доступа к поверхности арматурных изделий, а также необходимостью использовать специальные методы диагностики наличия микротрещин стали.

В нормах [2, 3, 4] учитывается лишь снижение прочности бетона в зависимости от уровня коэффициента асимметрии цикла $\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$, класса бетона по прочности и условий работы железобетонных конструкций путем введения коэффициента снижения прочности γ_{b2} . Т. е. не учитывается накопительный характер усталостных повреждений с учетом роста числа циклов. Методика определения коэффициента γ_{b2} в нормах [2, 3] идентична.

На рис. 1б представлены графики снижения прочности бетона при малоцикловом воздействии, полученные по нормам [3, 4, 6, 9]. Нормы [3, 4] дают прямые линии, что не соответствует опытным данным [10]. Графики, полученные по [6, 9], дают качественно более близкие результаты в сравнении с опытом, хотя и несколько занижают усталостную прочность бетона. Что дает основание для их дальнейшего использования.

На рис. 2 представлено сравнение теоретических кривых по [6, 9] с экспериментальными данными усталостной выносливости по [8, 11]. Рассматривается вариант, когда бетонные образцы загружаются малоцикловым сжатием различных уровней множественным количеством циклов до полного исчерпания прочности бетона. В сравнении с опытами [8] теоретические кривые дают некоторое завышение усталостной прочности, хотя и повторяют опытные данные по форме. В случае сопоставления с данными [11] результат обратный (наблюдается занижение прочности бетонных образцов). Вероятно, различие в результатах связано с особенностями проведения экспериментальных исследований. Нормы [8, 11] рассчитаны на гармонический характер приложения нагрузки. В опыте [8] же траекторией нагружения являлась ломаная, что, вероятно, и привело к снижению выносливости бетонных образцов.

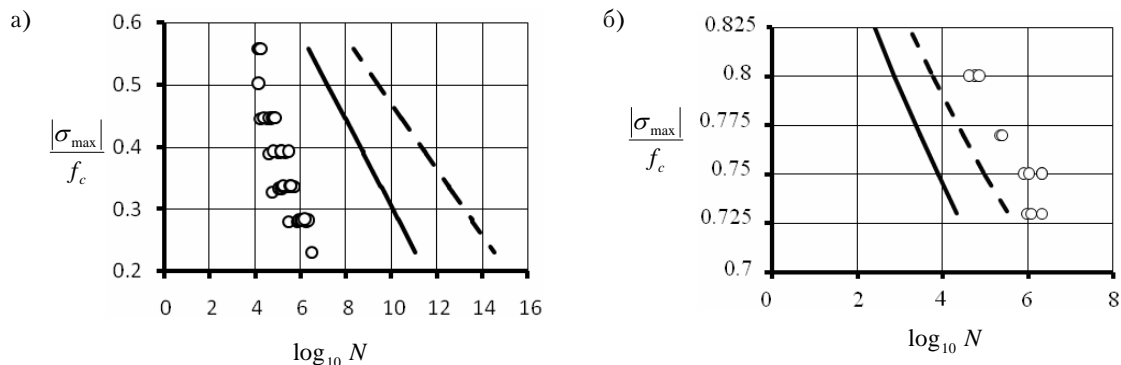


Рисунок 2 – Сопоставление выносливости сжатого бетона по нормам [6, 9] с экспериментальными данными [8] (а) и [11] (б). Условные обозначения: \circ – экспериментальные точки по [8, 11]; — — — — — расчетные значения по методике [6]; - - - - - расчетные значения по методике [9].

ВЫВОДЫ

Наиболее эффективными при расчете на усталостную прочность и выносливость сжатого бетона можно считать нормы [8]. Данный нормативный документ единственный среди рассмотренных, который учитывает снижение усталостной прочности бетона как при сжатии, так и при растяжении, а также плоском сжатии-сжатии, сжатии-растяжении. Кроме того, в документе [8] реализована возможность расчета работы бетона в условиях сложных напряженных состояний с учетом наиболее

подходящего для бетона критерия прочности и полной диаграммы деформирования. Данный документ является наиболее подходящей базой для развития и адаптации национальных нормативных документов Украины для расчета железобетонных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – На заміну СНиП 2.03.01-84* ; чинні 2011-06-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
2. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – Взамен СНиП 2.03.01-84* ; введ. 2003-07-01. – Мн. : Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.
3. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – Взамен СНиП II-21-75 и СН 511-78 ; введ. 1 января 1986 г. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
4. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы [Текст]. – Взамен СНиП II-Д, 7-62*, СН 200-62 и СН 365-67 ; введ. 1 января 1986 г. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 239 с.
5. ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete [Электронный ресурс] – edition 08.2011. – Farmington hills : ACI, 2011. – 509 с. – Режим доступа : <http://210.42.35.80/G2S/eWebEditor/uploadfile/20110806224616634.pdf>.
6. CEB-FIP Model Code 1990. Design Code [Электронный ресурс] – edition 199. – London : Tomas Telford Service Ltd, 1991. – 437 с. – Режим доступа : <http://210.42.35.80/G2S/eWebEditor/uploadfile/20110806224616634.pdf>.
7. EN 1992-1-1:2004 (E). Eurocode 2: Design of concrete structures. – Part 1–1: General rules and rules for buildings [Текст]. – Publication Date: 2004-12-23. – London : BSI, 2004. – 225 p.
8. Hulsbos, C. L. Fritz Engineering Laboratory Report № 223.268 [Текст] / C. L. Hulsbos. – Bethlehem : Lehigh University, 1963. – 38 p.
9. Standard specifications for concrete structures: Materials and Construction [Электронный ресурс] // JSCE Guidelines for Concrete. – № 16. – Tokyo : JSCE, 2007. – 490 с. – Режим доступа : http://www.jsce-int.org/system/files/JGC16_Standard_Specifications_Materials_and_Construction_1.1.pdf.
10. A Study on Compressive Fatigue Characteristic of Concrete in Mineral Oil [Текст] / Itoh Masushi, Ohuchi Hajime, Tsunokake Hisao, Kawama Itsuo // Memoirs Of The Faculty Of Engineering / Osaka City University. – 2007. – Vol. 48. – P. 37–44.
11. Szeiszen, M. M. Fatigue Damage Model for Ordinary Concrete [Текст] / M. M. Szeiszen // Open Journal of Functional Material Research. – 2013. – Vol. 1. – P. 17–20.

Получено 15.05.2014

С. Ю. МАКАРЕНКО, І. О. ПРОТОПОПОВ
ВИЗНАЧЕННЯ ВТОМНОЇ МІЦНОСТІ СТИСНУТИХ БЕТОННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ЗА НОРМАМИ КРАЇН СНД, ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ, США,
ЯПОНІЇ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Питання врахування витривалості конструкції при малоциклового навантаженні є надзвичайно важливим при проектуванні складних інженерних споруд. Розрахунок на втомну витривалість необхідно проводити для елементів мостових конструкцій, фундаментів вітроенергетичних установок, висотних будівель, резервуарів, силосів, бункерів і т. п. Зважаючи на розпочатий процес приведення вітчизняних норм у відповідність до стандартів країн Європейського Союзу, виникла необхідність у порівнянні методик розрахунку залізобетону на втомну витривалість. У даній статті розглядається розрахунок на втомну витривалість стиснутих бетонних елементів. Для аналізу були обрані нормативні документи країн Європейського Союзу, США, Японії, Росії, Білорусі та України. Питання про розрахунок на малоцикловий вплив арматури залізобетонних конструкцій не розглядається у зв'язку з досить доброю вивченістю властивостей металу і схожістю методик розрахунку в розглянутих нормах.
бетон, втома, малоциклове навантаження

SERGEY MAKARENKO, IVAN PROTOPOPOV
DETERMINATION OF FATIGUE STRENGTH OF COMPRESSED CONCRETE
ELEMENTS ACCORDING TO THE NORMS OF THE CIS COUNTRIES,
EUROPEAN UNION, USA, JAPAN

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Question accounting endurance design with low-cycle loading is extremely important in the design of complex engineering structures. Payment on the fatigue endurance needed for the elements of bridge

structures, foundations of wind turbines, high-rise buildings, tanks, silos, hoppers, etc. In view of the ongoing process of bringing domestic regulations in line with the standards of the European Union, it was necessary in relation to the concrete methods for calculating the fatigue endurance. This article examines the payment on the fatigue endurance compressed concrete elements. Were selected for analysis regulations of the European Union, the USA, Japan, Russia, Belarus and Ukraine. The question of the impact of low-cycle based on reinforcement of reinforced concrete structures is not considered due to the rather well-studied properties of the steel and the similarity calculation methods in consideration of the rules.

concrete, fatigue, low-cycle load