

11. Конструкции з бетона с композитной неметаллической арматурой. Правила проектирования: СП 63.13330.2012 – Москва: Минрегион России, 2013. – 94 с.

12. Настанова з проектування та виготовлення бетонних виробів і конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальтового і скло ровінгів: ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 – Киев, Минрегион Украины, 2011. – 28 с.

13. Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars: CNR-DT 203/2006 – Rome, Italy, CNR 2006. – 38 p.

14. ACI 318M-02. Building code requirements for structural concrete. Michigan (USA): AmericanConcreteInstitute (ACI), Committee 318; 2002. – 443 p.

УДК 624.04

МЕТОДЫ РАСЧЕТА СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ НЕУПРУГОЙ РАБОТЫ МАТЕРИАЛА

ВОЛОДИН А. Ю., РАК Н. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Аннотация. В данной статье описываются некоторые методы расчета сталефибробетонных плит на упругом основании, учитывающие неупругую работу материала. Рассмотрены методики расчета по TR 34 [1], DBV [5], некоторые другие методики.

Необходимость учета неупругой работы сталефибробетона. Во многих случаях индустриальные полы проектируются в предположении упругой работы материала и отсутствия трещин в сечении. В этом случае невозможно учесть несущую способность сталефибробетонной плиты пола в стадии после образования трещин. Соответственно, невозможно определить рост надежности конструкции в результате введения в стальной фибры.

Лабораторные испытания сталефибробетонных плит на упругом основании при действии сосредоточенных сил показали, что введение

фибры в бетонную конструкцию практически не оказывает влияния на образование трещин, т. е. до момента трещинообразования конструкция работает, как бетонная. Тем не менее, предельная нагрузка, воспринимаемая плитой, может на 60% превышать нагрузку, при которой образовалась первая трещина.

Наиболее известные подходы к учету неупругой работы сталефибробетона изложены в теории Мейергофа и методологии Лосберга, основанной на теории линий разрушения. Эти подходы реализованы в TR 34 [1] (Великобритания) и DBV [5] (Германия).

Методика расчета TR 34 [1]. При расчете по рассматриваемой методике предполагается, что предельное состояние наступает при появлении трещины на верхней поверхности плиты. В этом случае положительные моменты воспринимаются сталефибробетонным сечением с трещиной, в то время как отрицательные моменты воспринимаются сечением в отсутствие трещин (рис. 1).

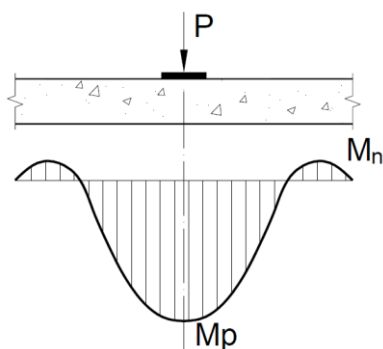


Рис. 1. Распределение изгибающих моментов в плите на упругом основании при действии сосредоточенной нагрузки

То есть растягивающие напряжения, вызванные действием отрицательного момента, не должны превышать прочность неармированного бетона на растяжение.

Таким образом, предельный момент, воспринимаемый плитой, с учетом перераспределения усилий определяется, как

$$M_0 = M_n + M_p.$$

Соответственно, зависимость между M_0 и приложенной сосредоточенной силой P :

$$\frac{M_0}{P} = f\left(\frac{c}{l}\right),$$

где c – радиус площадки приложения нагрузки;

l – радиус относительной жесткости.

При использовании модели основания Винклера радиус относительной жесткости l определяется, как

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}},$$

где E – модуль упругости бетона;

μ – коэффициент Пуассона бетона;

k – коэффициент постели основания;

h – толщина плиты.

При использовании модели упругого полупространства

$$l = \sqrt[3]{\frac{Eh^3(1-\mu_s^2)}{6(1-\mu^2)E_s}},$$

где E_s и μ_s – модуль упругости и коэффициент Пуассона основания.

Для учета несущей способности плиты после образования трещин в расчет вводится такой параметр, как коэффициент эквивалентной изгибной прочности $R_{e,3}$. В этом случае значение положительного изгибающего момента в сечении при разрушении определяется как

$$M_p = \frac{f_{ctk, fl}}{\gamma_c} R_{e,3} \frac{h^2}{6}.$$

Ввиду того, что отрицательный момент в сечении не должен вызывать образование трещин, то его значение при разрушении определяется, как для неармированного бетона:

$$M_p = \frac{f_{ctk, fl}}{\gamma_c} \cdot \frac{h^2}{6}.$$

В приведенных формулах $f_{ctk,fl}$ – значение нормативной изгибной прочности, γ_c – частный коэффициент безопасности по материалу.

Окончательно, имеем

$$M_0 = M_n + M_p = (1 + R_{e,3}) \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_c} \cdot \frac{h^2}{6}.$$

Методика расчета DBV [5]. Напряжения в сечении конструкции определяются в предположении упругой работы материала.

Если в конструкции не допускается образование трещин, то действующие напряжения не должны превышать значение изгибной прочности бетона (без учета фибрового армирования), т. е.

$$\frac{M_u}{W_0} \leq \text{cal}\beta_{BZ},$$

где M_u – изгибающий момент в сечении;

W_0 – момент сопротивления сечения;

$\text{cal}\beta_{BZ}$ – изгибная прочность бетона.

Если же в конструкции предполагается образование трещин, то действующие напряжения определяются с учетом уменьшенной жесткости в сечении с трещиной и полной жесткости в сечениях между трещинами. Условие прочности имеет вид

$$\frac{M_u}{W_0} \leq \text{nom}\beta_{BZ},$$

где $\text{nom}\beta_{BZ}$ – эквивалентная изгибная прочность сталефибробетона, определенная по результатам стандартных испытаний.

Некоторые другие методики. Отдельные исследования предлагают определять требуемую толщину сталефибробетонной плиты, исходя из толщины бетонной плиты с той же несущей способностью, следующим образом:

$$h_{sffc} = \frac{h_{pcc}}{\sqrt{(1 + R_{e,3})}},$$

где h_{sffc} – толщина сталефибробетонной плиты;

h_{pcc} – толщина бетонной плиты.

То есть предполагается, что эквивалентная изгибная прочность сталефибробетона равна $(1 + R_{e,3})f_{ctk,fl}$.

Похожий подход был использован в IRC: SP: 46–1997 [3] (индийский нормативный документ по проектированию дорог):

$$h_{sfrc} = h_{pcc} \sqrt{\frac{f_{pcc}}{f_{sfrc}}},$$

где f_{pcc} – изгибная прочность бетона;

f_{sfrc} – изгибная прочность сталефибробетона.

Выводы

При проектировании сталефибробетонных конструкций для получения требуемых показателей прочности, долговечности, экономичности необходим учет неупругой работы материала в стадиях после образования трещин. Необходима дальнейшая разработка оптимальных методик расчета и конструирования таких конструкций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Concrete industrial ground floors – A guide to design and construction: Concrete Society Technical Report No. 34 / Etienne Alexander, Mike Amodeo, Malcolm Bailey. – The Concrete Society, 2003. – 148 pp.
2. Elsaigh, W.A. A Comparative Evaluation of Plain and Steel Fiber Reinforced Concrete Ground Slabs / W.A. Elsaigh. – University of Pretoria. – Pretoria, 2001. – 154 pp.
3. IRC: SP: 46-1997. Steel Fibre Reinforced Concrete for Pavements.
4. Nayar, Sunitha K. On the design of steel fibre reinforced concrete pavements and slabs-on-grade / Sunitha K. Nayar, Ravindra Gettu. – BEFIB 2012. – Guimaraes, 2012. – 10 pp.
5. Technical rule. DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton, Industriefussboden, 1996.
6. Vitt, Gerhard. Steel fibre concrete industrial floors: Test and Design Methods for Steel Fibre Reinforced Concrete / Gerhard Vitt. – RILEM TC 162-TDF Workshop. – Bochum, 2003. – 8 pp.