

К расчету трехслойных железобетонных плит перекрытий

А.В. Беляев

Научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ)

им. А.А. Гвоздева, г. Москва

Аннотация: В статье приведены предложения по расчету трехслойных плит из двух крайних слоев тяжелого бетона и среднего из облегченного. Дана методика определения приведенного сечения конструкций. Показано, что наиболее целесообразно использовать соотношение секущих модулей деформации бетонов, приведены соответствующие расчетные формулы.

Ключевые слова: трехслойная плита, крайний слой, средний слой, приведенное сечение, секущий модуль упругости, уровень нагружения, расчетная зависимость

Трехслойная плита перекрытия, состоящая из двух крайних слоев тяжелого бетона и среднего слоя из облегченного бетона, обладает рядом преимуществ. Верхний слой из тяжелого бетона воспринимает сжимающие напряжения в нижнем слое из тяжелого бетона располагается рабочая арматура. Пониженные плотность и масса среднего слоя способствуют уменьшению нагрузки от собственного веса и т.д.

При расчете железобетонных трехслойных плит необходимо располагать методикой определения приведенного сечения конструкции. Как правило, для этого используют соотношения призмочной прочности или модулей упругости различных слоев.

В ранее выполненных исследованиях [1-4] показано, что соотношение модулей упругости, может быть применено при учете только упругой работы бетона. Приведение с помощью соотношения призмочной прочности может эффективно использоваться при расчете прочности.

Более правильным является использование методики приведения, в которой коэффициент приведения изменяется на различных уровнях погружения при вычислении несущей способности, прогибов, ширины раскрытия трещин и т.д.

На наш взгляд наиболее удачным может быть использование соотношения секущих модулей деформации слоев из различного бетона. Так, при упругой работе бетона (в начальной стадии загрузки) это соотношение численно равно отношению модулей упругости бетона различных слоев, а в предельной стадии работы конструкций (непосредственно перед разрушением) оно равно отношению призмной прочности различных видов бетона.

Надежная работа трехслойной конструкции может быть обеспечена только при хорошем сцеплении слоев из разного бетона, то есть в зоне контакта деформации различных слоев равны друг другу $\varepsilon_{e1} = \varepsilon_{e2} = \varepsilon_{e3}$ вплоть до полного разрушения.

Отмеченное позволяет расчет трехслойных элементов производить как однослойных на любой стадии работы. При этом следует использовать переменные значения коэффициента приведения, которые должны определяться в соответствии с разработанными рекомендациями в зависимости от уровня напряжений [5].

Следует отметить, что в трехслойных конструкциях наружные слои выполняют из бетона с большими прочностными характеристиками по сравнению с внутренним слоем. Так, тяжелый бетон работает практически упруго до уровня напряжений $\delta_e / R_e = 0,3 \dots 0,4$. Бетон более низкой прочности может работать упруго до уровней $\delta_e / R_e = 0,6 \dots 0,7$.

При упругой работе тяжелого бетона можно подобрать зависимость для определения секущего модуля деформаций следующего вида:

$$E_{\text{в}}^1 = E_{\text{в}} - \alpha \left(\delta_{\text{в}} / R_{\text{в}} - 0,3 \right) \left(E_{\text{в}} - \frac{R_{\text{в}} E_{\text{с}}}{R_{\text{с}}} \right) \quad (1)$$

При этом выражение во второй скобке это минимальное значение секущего модуля деформаций, соответствующее достижению $\delta_e = R_e$, т.к. в этом случае $\varepsilon_{eR} = R_{sc}/E_s$, а $E_{\text{в},\text{min}}^1 = R_{\text{в}}/\varepsilon_{\text{в}R}$.

Так же может быть получена зависимость секущего модуля деформаций среднего менее прочного слоя в виде:

$$E_s^1 = E_s - \beta(\delta_s/R_s - 0,6)(E_s - \frac{R_s E_s}{R_{sc}}) \quad (2)$$

Отношение секущих модулей деформации внедренного и наружного слоев бетона равно отношению их модулей упругости при низких напряжениях и при высоких уровнях напряжений по предлагаемой формуле:

$$E_{s1}^1/E_{s2}^1 = E_{s1}/E_{s2} + \gamma(\delta_{s1}/R_{s2} - 0,3)(R_{s1}/R_{s2} - E_{s1}/E_{s2}) \quad (3)$$

Таким образом используя уравнения (1)...(3) можно вычислить коэффициенты приведения на всех уровнях напряженного состояния конструкции.

Коэффициенты α , β и γ могут быть определены опытным путем [6-11].

Ранее выполненные исследования [1-5] показывают, что даже при значительном различии в прочности (до 10 раз) и модуле упругости (до 12-15 раз) бетонов разных слоев расслоения не наблюдается вплоть до разрушения конструкции, т.е. происходит совместное деформирование.

Наряду с расчетом прочности трехслойных конструкций нами рассмотрены методы расчета по образованию трещин. В качестве примера использована методика ядровых моментов. В соответствии с последней для трехслойной конструкции расчетная эпюра напряжений в сжатой зоне принимается трапециевидной в наружном слое и треугольной во внутреннем слое сжатой зоны. При этом в зоне растяжения расчетная эпюра имеет прямоугольно-ступенчатую форму [12].

При продолжении наклонной линии, ограничивающей эпюру напряжений в наружном слое сжатого бетона она на крайнем растянутом волокне отсекает напряжение равное μR_{bt1} .

Коэффициент μ представляет собой отношение E_{bt1} / E'_{bt1}

Наибольшие сжимающие напряжения в наружном слое бетона равны

$$\sigma_{B1,max} = A_1 R_{Bt1} \frac{x}{h-x} \quad (4)$$

а во внутреннем слое

$$\sigma_{B2,max} = \alpha_B \sigma_{B1,max} \quad (5)$$

где $\alpha_B = E_{B2} / E_{B1}$

Базовое расчетное уравнение выглядит следующим образом:

$$S_1 + \lambda_{B2} - \alpha_B S_2 = (h-x) \left(\frac{A_{Bt1}}{A_1} + \lambda_{B2} \frac{A_{Bt2}}{A_2} \right) \quad (6)$$

В формуле (6)

$$S_1 = \int_{A_{B1}} y_1 \propto A_{B1} \quad (7)$$

$$S_2 = \int_{A_{B2}} y_2 \propto A_{B2} \quad (8)$$

$$\lambda_{B2} = \frac{A_2 R_{Bt2}}{A_1 R_{Bt1}} \quad (9)$$

Использование предложенных зависимостей позволит выполнять расчет трехслойных конструкций наиболее эффективно.

Литература

1. Хунагов Р.А., Маилян Д.Р. Расчет двухслойных предварительно напряженных железобетонных панелей // Вестник Майкопского государственного технического университета, 2011, №4, С. 33-37
2. Хунагов Р.А., Маилян Д.Р., Блягоз А.М. Двухслойные железобетонные панели с неравномерно обжатými сечениями // Вестник Майкопского государственного технического университета, 2011, №4, С. 37-41
3. Хунагов Р.А., Маилян Д.Р., Блягоз А.М. Двухслойные железобетонные панели с комбинированным армированием // Монография, Майкоп, 2012, 162с.

4. Маилян Д.Р., Шилов А.В., Щуцкий В. Л. Проектирование рациональных керамзитовых бетонных элементов со смешанным армированием // Монография, Ростов-на-Дону, 2013, 183с.
5. Маилян Д.Р., Осипов М.В., Дедух Д.А., Тарновский С.А. Проектирование и расчет железобетонных балок с переменным преднапряжением // Монография, Ростов-на-Дону, 2013, 125с
6. Польской П.П., Маилян Д.Р. Влияние стального и композитного армирования на ширину раскрытия нормальных трещин // Инженерный вестник Дона, 2013, №2, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1675
7. Мкртчян А.М., Маилян Д.Р. Особенности расчёта железобетонных колонн из высокопрочного бетона по деформированной схеме // Инженерный вестник Дона, 2013, №4, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2186
8. Польской П.П., Маилян Д.Р., Мерват Хишмах, Кургин К.В. О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры // Инженерный вестник Дона, 2013, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094
9. Мкртчян А.М., Маилян Д.Р., Аксенов В.Н. Проектирование и расчет железобетонных колонн из высокопрочного бетона // Монография, Ростов-на-Дону, РГСУ, 2013, 174 с.
10. Мурадян В.А., Маилян Д.Р. Проектирование и расчет железобетонных колонн с заглубленными продольными стержнями без поперечного армирования // Монография, Ростов-на-Дону, РГСУ, 2013, сс. 128 с.
11. Mkrtchyan A.M., Mailyan D.R., Aksenov V.N. Experimental study of the structural properties and calculation of high-strength concrete reinforced concrete columns. European Applied Sciences #3-2014.

12. Аксенов В.Н., Маилян Д.Р. Механические свойства высокопрочных бетонов на гранитном и базальтовом щебне. Syrian Arab Republic Tishreen University Faculty of Civil Engineering Lattakia P.O. Box: 2230

References

1. Hunagov R.A., Mailjan D.R. Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2011, №4, pp. 33-37.
2. Hunagov R.A., Mailjan D.R., Bljagoz A.M. Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2011, №4, pp. 37-41.
3. Hunagov R.A., Mailjan D.R., Bljagoz A.M. Dvuh-slojnye zhelezobetonnye paneli s kombinirovannym armirovaniem [Double layer of reinforced concrete panels with a combined reinforcement]. Monografija, Majkop, 2012, 162 p.
4. Mailjan D.R., Shilov A.V., Shhuckij B.JI. Proektirovanie racional'nyh keramzitofibrobetonnyh jelementov so smeshannym armirovaniem [Rational design of expanded clay-fiber concretes structures with mixed reinforcement]. Monografija, Rostov-na-Donu, 2013, 183 p.
5. Mailjan D.R., Osipov M.V., Deduh D.A., Tarnovskij S.A. Proektirovanie i raschet zhelezobetonnyh balok s peremennym prednaprjazheniem [Design and calculation of reinforced concrete beams with variable prestressed]. Monografija, Rostov-na-Donu, 2013, 125 p.
6. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1675.
7. Mkrтчjan A.M., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2186.
8. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Mervat Hishmah, Kurgin K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094.
9. Mkrтчjan A.M., Mailjan D.R., Aksenov V.N. Proektirovanie i raschet zhelezobetonnyh kolonn iz vysokoprochnogo betona [Design and calculation of



reinforced concrete columns of high-strength concrete]. Monografija, Rostov-na-Donu, RGSU, 2013, 174 p.

10. Muradjan V.A., Mailjan D.R. Proektirovanie i raschet zhelezobetonnyh kolonn s zaglublennymi prodol'nymi sterzhnjami bez poperechnogo armirovanija [Design and calculation of reinforced concrete columns with recessed longitudinal bars without transverse reinforcement]. Monografija, Rostov-na-Donu, RGSU, 2013, 128p.