

РАСЧЕТ МОМЕНТА ОТ УСИЛИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЖАТИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Парфенов С.Г., Полякова А.С., Дятлов В.А.
(ФГБОУ ВО «БГИТУ», г. Брянск, Россия)

Рассмотрена возможность применения нелинейной деформационной модели бетона для подбора параметров предварительного напряжения железобетонного элемента. В расчетах были использованы трехлинейные диаграммы деформирования для бетона класса В60, построенные в соответствии с рекомендациями СП 63.13330.2012. В ходе расчета анализировалось напряженно – деформированное состояние железобетонного элемента для трех стадий работы: упругая стадия работы, стадия развития пластических деформаций, стадия пластических деформаций. Ограничением расчетов служило условие отсутствия трещин в железобетонном элементе от усилия предварительного напряжения. Основываясь на данных, полученных в результате расчета по НДМ, были проведены расчеты величины предварительного обжатия в соответствии с требованиями СП 63.13330.2012 и СНиП 2.03.01-84, и произведено сравнение результатов расчетов по различным методикам.*

Одной из наиболее важных проблем в развитии железобетонных конструкций является увеличение пролета конструкции при минимизации размеров ее поперечного сечения. При увеличении пролета, помимо прочности, важную роль играют такие характеристики как жесткость и трещиностойкость железобетонного элемента.

Одним из основных способов увеличения жесткости и трещиностойкости железобетонного элемента является использование предварительного напряжения арматуры.

При проектировании предварительно напряженных железобетонных конструкций важнейшую роль играет определение параметров предварительного напряжения: усилия предварительного обжатия бетона P и напряжения в арматурных стержнях σ_{sp} .

В данной статье произведем расчет параметров предварительного напряжения арматуры с использованием нелинейной диаграммы деформирования бетона, и произведем сравнение полученных результатов с результатами расчетов по действующим нормативным документам.

Для подбора параметров предварительного напряжения и определения НДС железобетонного, действующие нормы [1] рекомендуют следующую формулу:

$$\sigma_{bp} = \frac{P_{(1)}}{A_{red}} \pm \frac{P_{(1)} \cdot e_{0p} \cdot y}{I_{red}} \pm \frac{M \cdot y}{I_{red}}, \quad (1)$$

Секция 5. Строительные конструкции и строительная механика

где σ_{bp} – напряжение в бетоне от усилия предварительного обжатия;

$P_{(1)}$ – усилие предварительного обжатия бетона с учетом первых потерь;

M – изгибающий момент от внешней нагрузки, действующий в стадии обжатия;

y – расстояние от центра тяжести сечения до рассматриваемого волокна;

e_{0p} – эксцентриситет усилия $P_{(1)}$ относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента.

Анализ формулы (1) показывает, что в ней не учтено влияние пластических деформаций бетона и область ее применения ограничена лишь упругой стадией работы железобетонного элемента.

В [4] для расчета момента усилия предварительного напряжения арматуры была предложена следующая формула:

$$M_{rp} = P(e_{0p} \pm r), \quad (2)$$

где P – усилие предварительного напряжения арматуры;

r – расстояние от центра тяжести приведенного сечения до ядровой точки, наиболее удаленной от растянутой зоны, трещинообразование которой проверяется;

e_{0p} – эксцентриситет усилия P относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения элемента.

$$r = \varphi \frac{W_{red}}{A_{red}}, \quad (3)$$

где W_{red} , A_{red} – геометрические характеристики приведенного сечения;

$$\varphi = 1.6 - \frac{\sigma_b}{R_{b,ser}}, \quad 0.7 \leq \varphi \leq 1.0;$$

σ_b – максимальное напряжение в сжатом бетоне от усилия предварительного напряжения, вычисленного как для упругого тела по приведенному сечению.

В формуле (2) возможные неупругие деформации бетона от предварительного напряжения учтены при помощи коэффициента φ .

Для оценки зависимости момента от усилия предварительного обжатия M_{rp} от усилия предварительного обжатия P , вычислим значения M_{rp} на основе нелинейной деформационной модели.

Расчеты выполним для двух типов сечений железобетонных элементов: с несимметричным армированием и с симметричным армированием.

Поперечные сечения железобетонных элементов показаны на рисунке 1.

Секция 5. Строительные конструкции и строительная механика

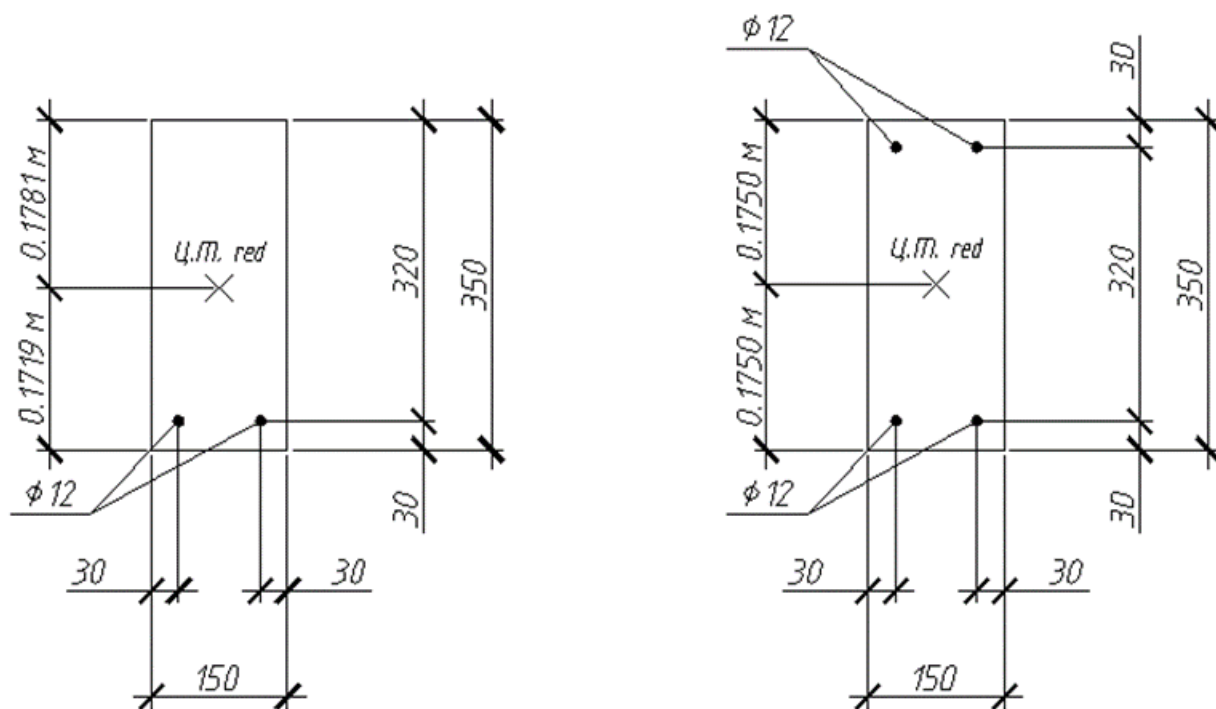


Рисунок 1 – Поперечные сечения железобетонных элементов при несимметричном и симметричном армировании

Вычисления будем производить на основе нелинейной деформационной модели с использованием трехлинейной диаграммы с параметрами, рекомендованными [1]. Диаграммы для бетона класса В60 представлены на рисунке 2.

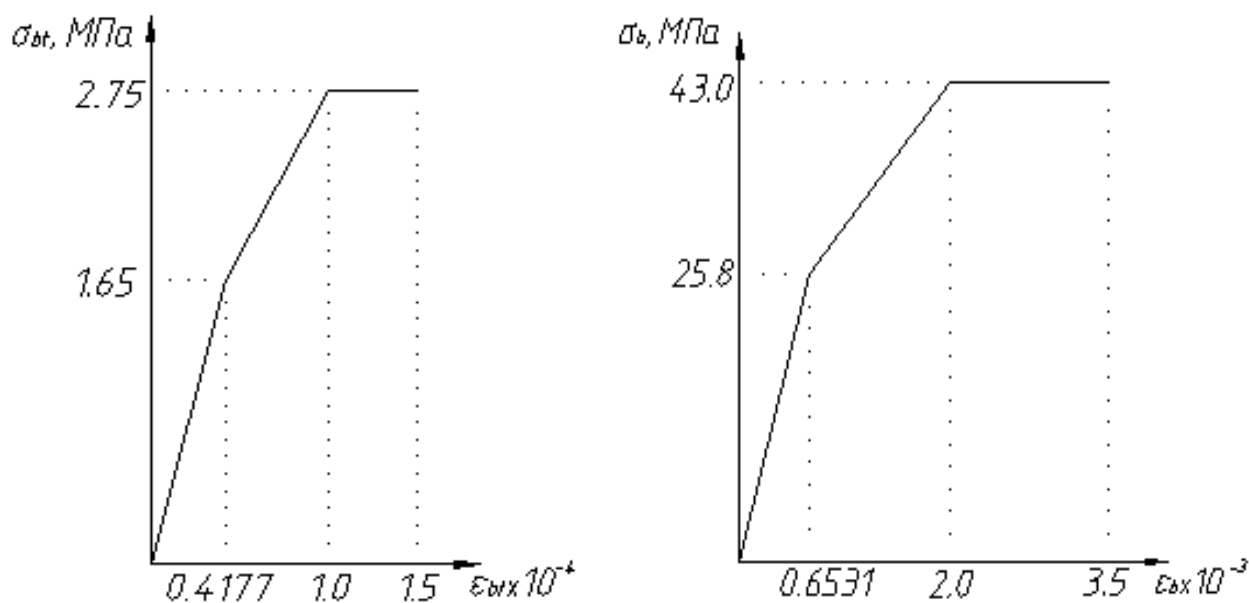


Рисунок 2 – Трехлинейные диаграммы для бетона класса В60 при растяжении и сжатии

Расчетные характеристики для сечения: бетон класса В60 ($R_{bt,ser} = R_{bt,n} = 2,75$ МПа, $R_{b,ser} = R_{b,n} = 43$ МПа, $E_b = 39500$ МПа), арматура стальная

Секция 5. Строительные конструкции и строительная механика

горячекатаная класса А800 ($R_{s,ser} = R_{sn} = 800$ МПа, $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа), с предварительным напряжением арматуры.

Вычислим предельное значение момента от внешней нагрузки, при котором не образуются трещины в зоне сечения, растянутой от действия усилия предварительного обжатия.

Методика вычисления момента трещиностойкости железобетонного элемента с использованием диаграмм состояния бетона достаточно подробно описано в [2, 3].

Вычисления будем производить для трех стадий работы железобетонного элемента: упругая стадия работы (стадия I), стадия развития пластических деформаций (стадия II), стадия пластических деформаций (стадия III).

Для наглядности и удобства вычислений эпюры деформаций ε и напряжений σ показаны на рисунках 3 и 4.

Взяв за основу данные, полученные по расчету по НДМ, вычислим значения усилия предварительного напряжения по методикам [1] и [2]. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

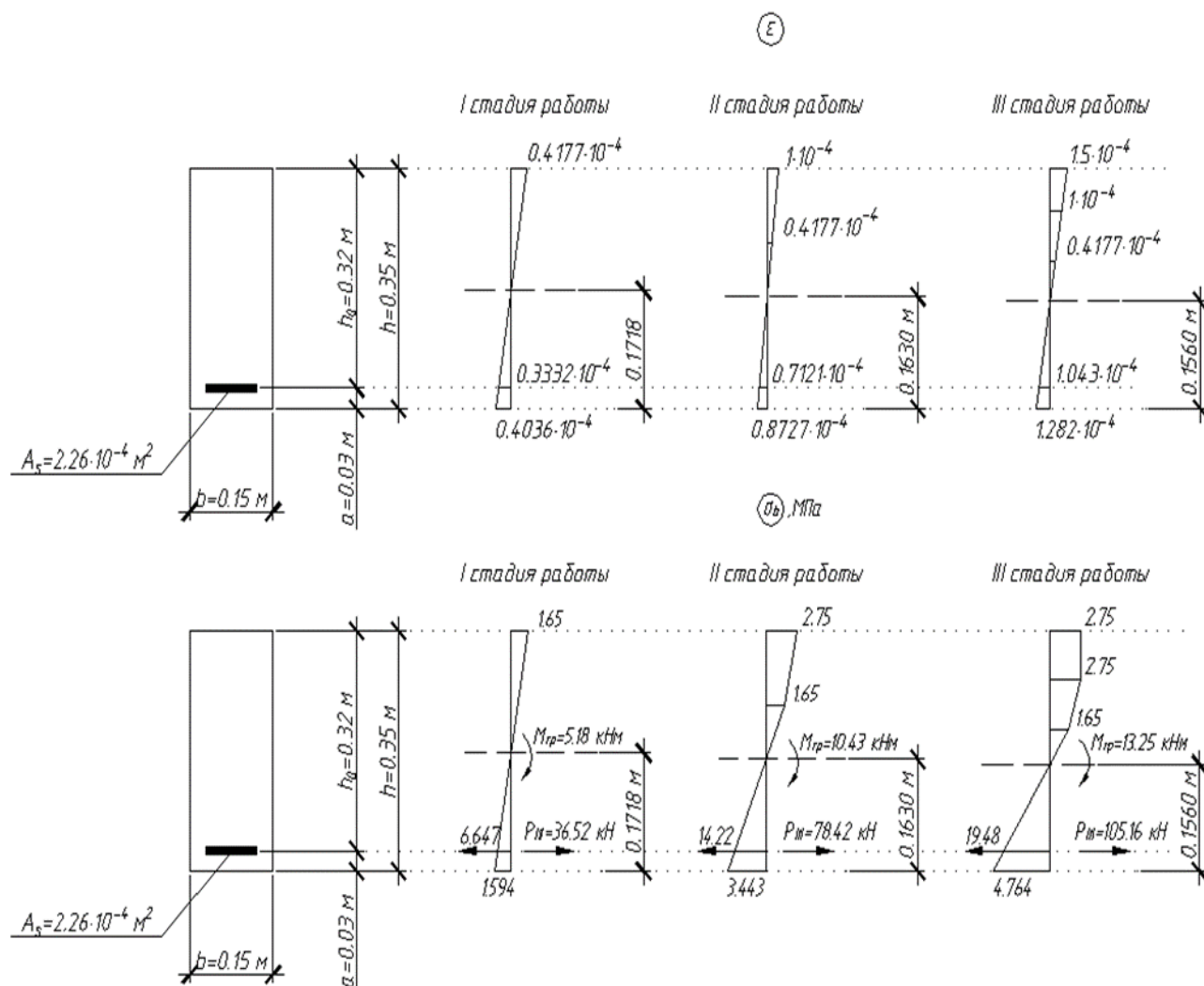


Рисунок 3 – Напряженно-деформированное состояние железобетонного образца с несимметричным армированием

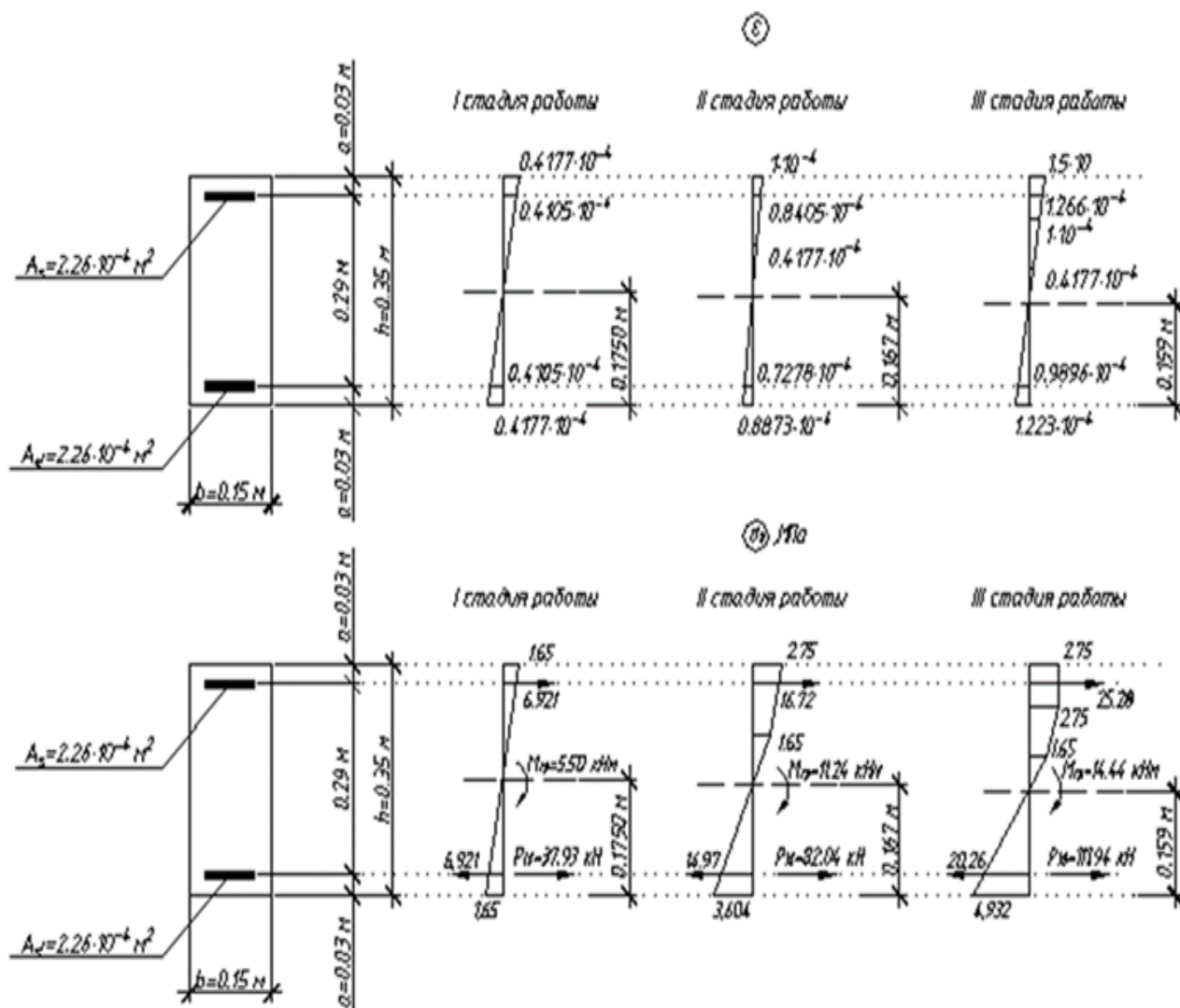


Рисунок 4 – Напряженно-деформированное состояние железобетонного образца с симметричным армированием

Таблица 1 – Сравнение результатов расчета усилия предварительного напряжения

Стадия работы	Значение момента $M_{гр}$, кНм	Значение усилия $P_{(1)}$, кН				
		по НДМ	по [1]	отличие от НДМ, %	по [4]	отличие от НДМ, %
Несимметричное армирование						
I стадия работы	5,18	36,52	25,44	-30,3	52,09	42,6
II стадия работы	10,43	78,42	54,96	-29,9	104,88	33,7
III стадия работы	13,25	105,16	75,99	-27,7	133,24	26,7
Симметричное армирование						
I стадия работы	5,50	37,93	26,74	-29,5	53,73	41,7
II стадия работы	11,24	82,04	58,41	-28,8	109,80	33,8
III стадия работы	14,44	111,94	79,93	-28,6	141,06	26,0

Заключение

1. Значения усилия предварительного обжатия, вычисленное в соответствии с рекомендациями действующих норм [1], меньше усилия, вычисленного на основе нелинейной деформационной модели. Разница постоянна и составляет в среднем 30 % на всех стадиях работы железобетонного элемента как с несимметричным, так и с симметричным армированием.

2. Значение усилия предварительного обжатия, вычисленное в соответствии с рекомендациями норм [4], значительно превышает значение усилия, вычисленного на основе нелинейной деформационной модели. Разница составляет от 42,6 % до 26 % и снижается по мере развития неупругих деформаций в бетоне.

3. Относительное смещение нейтральной оси от центра тяжести приведенного сечения изменяется в пределах $(0-0,046) \cdot h$, и увеличивается по мере развития в сечении элемента пластических деформаций. Для точного вычисления значения момента M_{rp} необходимо получить зависимость значения относительного смещения нейтральной оси железобетонного элемента от его напряженно-деформированного состояния.

Список литературы

1. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Введ. 2013-01-01, изд. официальное. М.: Минрегион России, 2013. 155 с.

2. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности трещиностойкости и деформациям. Монография. М.: Издательство АСВ, 2011. С. 210-213.

3. Окусок С.А. Расчет момента трещинообразования железобетонного элемента без предварительного напряжения арматуры на основании требований СП 63.13330.2012 // Строительство и реконструкция. 2015. № 6. С. 14-20

4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 79 с.