

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Парфенов С.Г., Пикин Д.Ю., Полякова А.С.
(ФГБОУ ВО «БГИТУ», г. Брянск, Россия)

Исследована возможность и целесообразность применения нелинейных деформационных моделей для расчета трещиностойкости железобетонных элементов. Рассмотрена необходимость расчета момента трещинообразования M_{crc} для различных видов изгибаемых элементов, а также влияние трещинообразования на жесткость железобетонного элемента. Проведен обзор методов расчета момента трещинообразования по требованиям действующих нормативных документов и методов расчета на основе нелинейных деформационных моделей. Возможность применения нелинейных деформационных моделей рассматривалась на примерах расчетов железобетонных элементов с предварительным напряжением арматуры и без предварительного напряжения. Выявлены расхождения результатов, полученных при расчете по СП 63.13330.2012 и с использованием деформационных моделей. Применение деформационных моделей позволяет учесть ряд факторов, влияющих на значение момента M_{crc} и жесткость конструкции в целом, что актуально для элементов с предварительным напряжением арматуры.

Под трещиностойкостью железобетонной конструкции понимают ее сопротивление образованию трещин.

Для изгибаемых конструкций характеристикой трещиностойкости является момент трещинообразования M_{crc} . Для большинства конструкций расчет по образованию трещин является вспомогательным.

Но для элементов с малым процентом армирования определение момента M_{crc} необходимо, так как исчерпание несущей способности элементов может произойти одновременно с образованием трещин, что в свою очередь приведет к хрупкому разрушению конструкции. В большинстве случаев предельный момент по прочности M_{ult} существенно выше момента трещинообразования M_{crc} , в связи с чем разрушению предшествуют значительные трещины и деформации. Это позволяет при эксплуатации конструкции вовремя принять соответствующие меры и избежать обрушения. Если $M_{crc} > M_{ult}$, то при образовании трещин усилие, которое обычно воспринимается арматурой в трещине, превысит несущую способность арматуры и произойдет хрупкое внезапное обрушение.

Также значение M_{crc} играет важное значение при определении изгибной жесткости D железобетонного элемента.

Жесткость железобетонной конструкции не является постоянной величиной и зависит от уровня нагружения конструкции. До момента появления

первой трещины, деформаций железобетонного элемента являются упругими, жесткость элемента постоянна. С ростом нагрузки, деформации приобретают неупругий характер, жесткость элемента уменьшается. Зависимость жесткости от изгибающего момента представлена на рисунке 1.

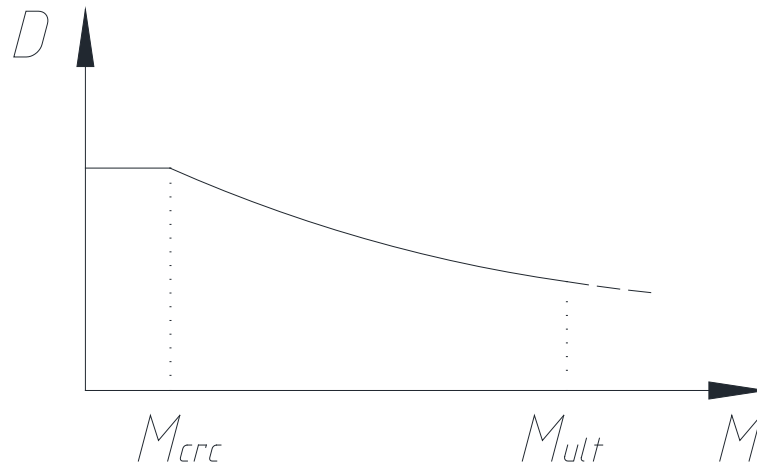


Рисунок 1 – График зависимости жесткости железобетонного элемента от изгибающего момента

В настоящее время в строительной отрасли широкое распространение получают методы расчета железобетонных конструкций, основанные на применении нелинейной деформационной модели железобетона.

Принятая в действующих нормах [1] методика расчета нормальных сечений на основе нелинейной деформационной модели обеспечивает единый подход к расчету железобетонных элементов по I и II группе предельных состояний.

Особое внимание следует уделить расчету трещиностойкости. Согласно действовавшим ранее нормам [2], момент трещинообразования M_{crc} определялся на основе общих правил сопротивления материалов с учетом упругопластического момента сопротивления сечения

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pl} \pm M_{rp}, \quad (1)$$

где W_{pl} — упругопластический момент сопротивления сечения для крайнего растянутого волокна бетона;

$R_{bt,ser}$ — предел сопротивления бетона растяжению;

M_{rp} — момент от усилия предварительного обжатия.

Формула (1) практически без изменений была перенесена в действующие нормы [1].

Действующие нормы [1] оставляют за инженером выбор метода расчета момента трещинообразования M_{crc} . Возможен как расчет, основанный на использовании упругопластического момента сопротивления сечения, так и

расчет по нелинейной деформационной модели. При расчете железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели, действующими нормами рекомендовано использование трехлинейной диаграммы состояния бетона. Кроме того, допускается использование двухлинейной диаграммы состояния, при упругой работе сжатого бетона.

В статье [3] был проведен сравнительный анализ результатов расчета момента трещинообразования железобетонного без предварительного напряжения арматуры с использованием упругопластического момента сопротивления сечения и по нелинейной деформационной модели с использованием различных диаграмм состояния бетона и сделаны следующие выводы:

- значения момента трещинообразования M_{crc} , вычисленные по нелинейной деформационной модели, превышают значение M_{crc} , вычисленное с использованием упругопластического момента сопротивления сечения. Расхождения составляют 11,4 % и 40,1 % при использовании двухлинейной и трехлинейной диаграмм соответственно;

- согласно действующим нормам [1], при расчете упругопластического момента сопротивления следует использовать коэффициент, учитывающий влияние неупругих деформаций бетона, равным 1,3. В источнике [4] значение данного коэффициента принято равным 1,75. При использовании увеличенного коэффициента, полученное значение M_{crc} , будет близким к значению, вычисленному по НДМ и трехлинейной диаграммы состояния бетона;

- значения момента трещинообразования M_{crc} , вычисленные по нелинейной деформационной модели с использованием двухлинейной и трехлинейной диаграмм бетона различаются на 25,7 %. При использовании в расчетах характеристик сжатой зоны бетона начального E_b модуля упругости вместо приведенного $E_{b,red}$, разница в полученных значениях становится минимальной.

Расчет момента M_{crc} в предварительно напряженных конструкциях имеет ряд существенных отличий относительно конструкций без предварительного напряжения. В таких элементах, вследствие высокого уровня напряжений в бетоне сжатой зоны сечения, перед образованием трещин возможно развитие неупругих деформаций.

Поскольку сечения элемента остаются плоскими, возникают связи, препятствующие свободному развитию неравномерных по высоте сечения неупругих деформаций, что вызывает искривление эпюры нормальных напряжений и смещение ординаты нормального напряжения в глубь сечения. Это приводит к снижению значения момента трещинообразования M_{crc} . Приведенная ситуация может возникнуть при высоком уровне обжатия бетона.

Действующие нормы [1] не предусматривают уменьшение значения M_{crc} в предварительно напряженных конструкциях вследствие развития пластических деформаций бетона сжатой зоны. Предложенная в нормах зависимость напряжений в сечении железобетонного элемента от усилия предварительного обжатия не учитывает влияние пластических деформаций и ограничивается

упругой стадией работы железобетонного элемента.

В работе [5] проведено сравнение значений моментов от усилия предварительного обжатия вычисленных по требованиям действующих норм [1] и на основе нелинейной деформационной модели. В ходе анализа полученных результатов отмечено расхождение значений в пределах 30 % на всех стадиях работы элемента. Это может быть обусловлено нелинейным характером распределения напряжений по высоте сечения.

Заключение

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Результаты момента трещинообразования M_{crc} для элементов без предварительного напряжения, полученные на основе нелинейных деформационных моделей дают результаты близкие к результатам, вычисленным на основании действующих нормативных документов.

2. Применение нелинейных деформационных моделей для расчета значения M_{crc} предварительно напряженных элементов позволит учесть ряд факторов, влияющих на значение M_{crc} и жесткость элемента в целом.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: Минрегион России, 2019. 131 с.

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

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. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. М.: Стройиздат, 1991. 766 с.

5. Окусок С.А. Расчет момента от усилия предварительного обжатия железобетонного элемента из высокопрочного бетона на основе нелинейной деформационной модели // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. №4 (67). С.19-23.

6. Приведение в соответствие опытных данных трещиностойкости железобетонных конструкций их теоретическим значениям / В.И. Колчунов [и др.] // Наука та будівництво. 2018. № 1(15). С.42-49.

7. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. № 1(93). С.74-84.