

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ С УЧЕТОМ ФАКТОРА МНОГОКРАТНО ПОВТОРНОГО ЗАГРУЖЕНИЯ

Темир бетон элементтеринин көп кайталанган күчтөрдүн таасиринде арматура жана бетондун көрсөтүлгөн күчтөрдүн таасиринде иштөө шарттарынын коэффициенттеринин аналитикалык көз карандылыгын колдонуу менен эсептөө ыкмалары келтирилген.

Представлена методика расчета железобетонных элементов при многократно повторных действиях нагрузок с использованием аналитических зависимостей коэффициентов условий работы арматуры и бетона, находящихся в условиях вышеуказанных нагружений.

This article is devoted the methods of calculation the elements of concrete with frequently-repeated actions of loads using analytical dependence of coefficient convenience of concrete and armature, being in the case of frequently-repeated loads.

Железобетонные элементы в процессе эксплуатации испытывают действие как статических, так и многократно повторных динамических нагрузок. Источниками указанных нагрузок являются ударные воздействия механизмов различного рода оборудования, установленного на перекрытии здания и сооружения. Интенсивность многократно повторных нагрузок, как правило, зависит от типа оборудования и режима его эксплуатации.

Многократная повторность внешнего воздействия способствует усталостному снижению прочностных характеристик бетона и арматуры железобетонных элементов, предопределяя ее долговечность и надежность. Указанное обстоятельство в нормах проектирования учитывается путем введения в расчетные формулы коэффициентов условия работы по бетону $\gamma_{e1(\tau)}$ и по арматуре $\gamma_{s3(\tau)}$. Численные значения указанных коэффициентов условия работы по бетону и арматуре нормами проектирования регламентированы для количества повторных нагружений $n \geq 2 \cdot 10^6$ без учета срока эксплуатации τ . Вместе с тем, при проектировании железобетонных элементов с заданным эксплуатационным сроком службы возникает необходимость в установлении значений γ_{e1} и γ_{s3} для количества циклов нагружений, изменяющихся в интервалах $1 \leq n < 2 \cdot 10^6$ и $2 \cdot 10^6 \leq n < \infty$.

1. Аналитическое представление коэффициента условия работы арматуры и бетона при многократно повторных нагружениях

Коэффициенты условия работы бетона $\gamma_{e1(\tau)}$ и условия работы арматуры $\gamma_{s3(\tau)}$ при многократно повторном приложении нагрузки учитывают снижение прочности материалов до соответствующих пределов выносливости и зависят от множества факторов, основными из которых являются:

характеристики циклов $\rho_e = \sigma_{e \min} / \sigma_{e \max}$ для бетона и $\rho_s = \sigma_{s \min} / \sigma_{s \max}$ для арматуры;

количество повторных нагружений n (для соответствующего срока эксплуатации τ);

возраст и класс бетона, класс арматуры; природно-климатические условия эксплуатации и т.д.

Существует множество предложений по аналитическому представлению коэффициентов условий работы бетона и арматуры. Но наиболее универсальными и удобными для практического применения являются выражения, предложенные в работе /1/, согласно которым указанные выражения примут вид:

$$\gamma_{\epsilon 1(\tau)} = C_{sp\epsilon} \cdot \left[1 - \frac{\lg n}{\lg Z} \left(1 - \frac{1}{2,14 - 1,14 \cdot \rho} \right) \right], \quad (1.1)$$

$$\gamma_{s3(\tau)} = C_{sp s} \left[1 - \frac{\lg n}{\lg Z} \left(1 - \frac{1}{2,5 - 1,5 \cdot \rho} \right) \right], \quad (1.2)$$

где $C_{sp\epsilon}$, $C_{sp s}$ - коэффициенты, учитывающие динамическое упрочнение бетона и арматуры в зависимости от скорости нагружения.

$$C_{sp\epsilon} = \frac{R_{\epsilon sp}}{R_{\epsilon}}; C_{sp s} = \frac{R_{s, sp}}{R_s}; \quad (1.3)$$

где $R_{\epsilon sp}$ - прочность бетона, зависящая от скорости загрузки при $n = 1,0$; R_{ϵ} - прочность бетона по ГОСТу; $R_{s, sp}$ - прочность арматуры, зависящая от скорости загрузки при $n = 1,0$; R_s - прочность арматуры по ГОСТу; n - количество циклов нагружений; $Z = 2 \cdot 10^6$; ρ - характеристика цикла.

2. Адекватность процессов накопления остаточных деформаций в бетоне при длительном и многократно повторном нагружениях

При рассмотрении особенностей деформирования бетона при длительном и многократно повторном приложении нагрузки можно отметить следующую аналогию (рис. 2.1).

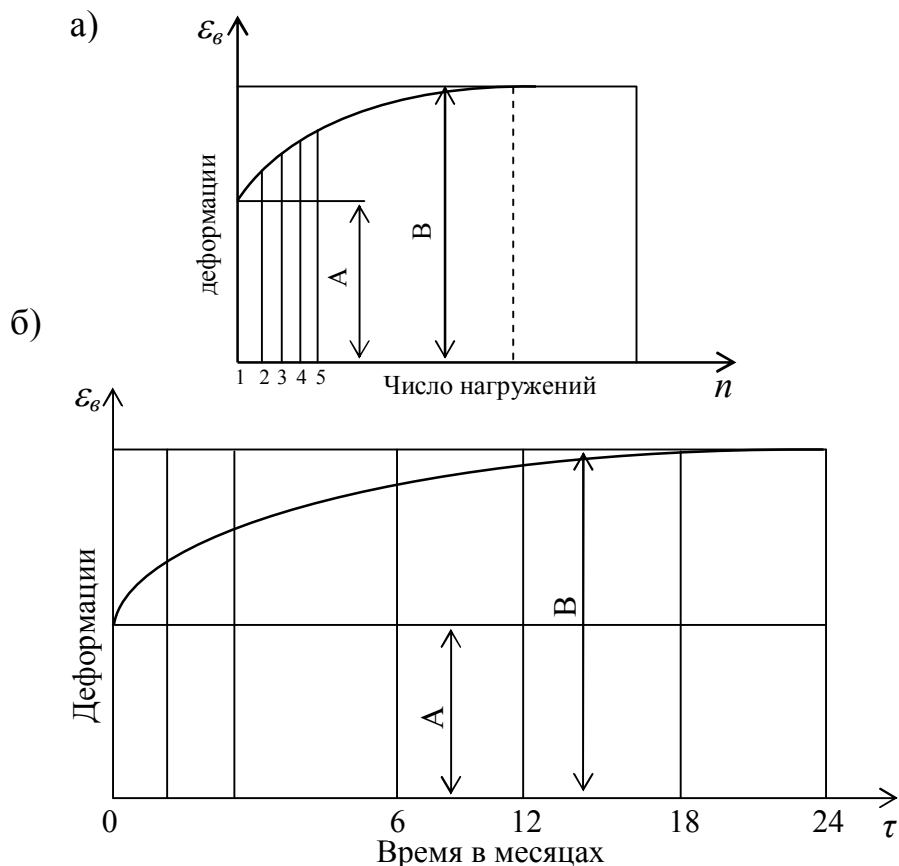


Рис.1. Изменение деформации в зависимости: а) – от числа нагружения; б) – от длительности действия нагрузки; А – мгновенная деформация при первом нагружении; В – предельная деформация

Если бетонный образец загрузить до уровня напряжений σ_{e1} за время τ_1 (участок 0-1), а затем выдержать под этой нагрузкой в течение времени τ_2 (участок 1-2), то общая величина относительных деформаций бетона (рис. 2) составит:

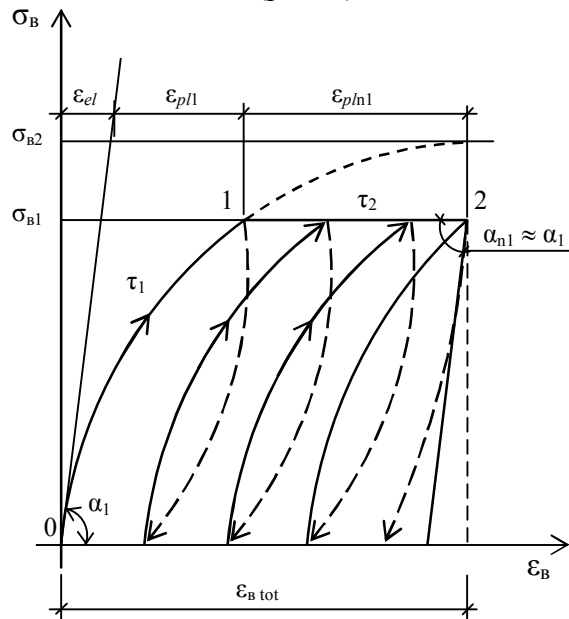


Рис. 2. Диаграмма адекватности процессов накопления остаточных деформаций в бетоне при длительном и многократно повторном нагружениях

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_{\text{el}_1} + \varepsilon_{\text{pl}_1} + \varepsilon_{\text{pl}_{n1}}, \quad (2.1)$$

Если аналогичный образец подвергнуть многократно-повторному нагружению с $\sigma_{\text{max}} = \sigma_{e1}$ и характеристикой цикла $\rho = 0$, то можно установить следующее:

- при $n = 1,0$ величины относительных деформаций ε_{bel} и ε_{bpl} останутся неизменными и будут равны, как в (2.1);
- приравнивая величину ε_{bpl} из (2.1) к суммарной величине остаточных деформаций при многократно повторных нагружениях, можно определить количество циклов загрузки n .

На основании вышеизложенного, согласно /2/, можно установить связь между количеством циклов загрузки n и временем действия длительной нагрузки τ (в сутках), при одинаковом уровне нагружения в виде:

$$n = 2 \cdot 10^4 \tau, \quad (2.2)$$

или

$$\tau = 386 \cdot \frac{\sigma_{\text{max}}}{R_{\sigma(\tau)}} - 56. \quad (2.3)$$

3. Расчет по несущей способности

Прочность сечения железобетонного элемента считается обеспеченной, если сумма моментов от расчетных статических нагрузок M_{st} и динамических нагрузок M_d с учетом коэффициентов сочетаний не превосходят момента $M_{\text{per}(\tau)}$, воспринимаемого опасным сечением в момент времени τ с учетом коэффициентов условий работы бетона и арматуры:

$$M_{st} + M_d \leq M_{\text{per}(\tau)}, \quad (3.1)$$

Величину M_{per} можно определить по рекомендациям /3/.

4. Расчет на выносливость

Выносливость сечения железобетонного элемента считается обеспеченной, если напряжения от расчетных статических и многократно-повторных динамических нагрузок, возникающие в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре, не превосходят расчетных сопротивлений с учетом коэффициентов условий работы бетона и арматуры:

$$\sigma_{\sigma(\tau)max} \leq \gamma_{\sigma 1(\tau)} \cdot R_{\sigma(\tau)}; \quad (4.1)$$

$$\sigma_{s(\tau)max} \leq \gamma_{s3(\tau)} \cdot R_{s(\tau)}; \quad (4.2)$$

При расчете на выносливость необходимо исходить из стадии I напряженно-деформированного состояния и следующих положений:

- напряжения в бетоне и в арматуре вычисляются как для упругопластического материала по алгоритму расчета, приведенному в 3.2 /4/, от действия расчетных статических и динамических нагрузок для рассматриваемого времени эксплуатации τ ;

- неупругие деформации в бетоне в сжатой и растянутой зоне, при вычислении упругопластических характеристик приведенного сечения, необходимо учитывать путем

вычисления величины коэффициента приведения $\alpha_{(\tau)} = \frac{E_s}{v_{\sigma(\tau)} \cdot E_g}$ для рассматриваемого

времени эксплуатации τ .

Численные значения коэффициента упругопластичности бетона $v_{\sigma(\tau)}$ для различных $\frac{\sigma_{\sigma(\tau)}}{R_{\sigma(\tau)}}$ и τ приведены на диаграмме 1.5.

В случае, когда максимальные нормальные напряжения в бетоне растянутой зоны

$$\sigma_{\sigma(\tau),max} > R_{\sigma(\tau)} \cdot \gamma_{\sigma 1(\tau)}, \quad (4.3)$$

площадь приведенного сечения определяют без учета растянутой зоны бетона.

5. Расчет по образованию трещин

Расчет по образованию трещин нормальных к продольной оси железобетонного изгибаемого элемента при действии многократно повторных нагрузок выполняется из тех же основных положений, что и расчет на выносливость, но по расчетному сопротивлению бетона осевому растяжению для второй группы предельных состояний:

$$\sigma_{\sigma(\tau)} \leq R_{\sigma,ser(\tau)} \cdot \gamma_{\sigma 1(\tau)}, \quad (5.1)$$

Список литературы

1. Корчинский И.А., Беченева Г.В. Прочность строительных материалов при динамических нагружениях. - М.: Стройиздат, 1966.
2. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. - М.: Стройиздат, 1970.
3. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции. - М.: Стройиздат, 1999.
4. Инновационные методы расчета и проектирования сейсмостойких железобетонных конструкций, зданий и сооружений: Промежуточный отчет по научной работе, 2008 г.