

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ДИАГРАММАМ

RESEARCH OF THE TENSELY-DEFORMED STATE OF CONCRETE AND REINFORCE-CONCRETE ELEMENTS ON DIAGRAMS

Костюк А.І., к.т.н., проф., Столевич І.А., к.т.н., доц., Столевич О.І., асп. (Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса)

Kostuk A.I., candidate of technical science, professor, Stolevych I.A., candidate of technical science, docent, Stolevych O.I., postgraduate (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

Приведен анализ использования диаграмм в исследованиях напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных элементов.

An analysis over of the use of diagrams is brought in researches of the tensely-deformed state of concrete and reinforced concrete elements.

Ключевые слова:

Диаграмма, деформация, напряжения, бетон.
Diagram, deformation, tensions, concrete.

Проблема определения напряженно-деформированного состояния в сечениях железобетонных элементов является сложной, поскольку каждая конструкция отличается от других конструкций процентом армирования, классом бетона, видом или случаем напряженного состояния. Поэтому реализуемые диаграммы отличаются от эталонных диаграмм деформирования материалов и нуждаются в корректировке их параметров.

Расчет на основе реальных диаграмм напряженно-деформированного состояния материала за счет детализации расчетных моделей.

Существует множество вариантов математического описания диаграммы деформирования бетона:

- степенной закон Бюльфингера

$$\sigma_s = A \cdot \epsilon_s^B; \tag{1.1}$$

- уравнение Онищика Л.И.

$$\sigma_s = \sigma_{s0} \left[1 - \frac{\epsilon_s}{\epsilon_{s0}} \right]; \tag{1.2}$$

- зависимости Поповича

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_b} = \frac{\eta \gamma}{1 + (\gamma - 1) \eta \gamma^{n-1}} \quad \eta = \frac{\sigma_b}{\sigma_{bR}} \quad \gamma = \frac{\sigma_b + \sigma_{bR}}{\sigma_{bR}}; \quad (1.3)$$

- Полином пятой степени

$$\sigma_c = f(\varepsilon_c) = \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k; \quad (1.4)$$

- зависимости Гуши Ю.Л., Зака М.Л.

$$\frac{\sigma_b}{\sigma_b} = \frac{\eta \gamma}{1 + (\gamma - 1) (\eta \gamma + 0,2 \eta \gamma^2 + 0,1 \eta \gamma^3) \eta \gamma^{n-1}} \quad \eta = \frac{\sigma_b}{\sigma_{bR}} \quad \gamma = \frac{\sigma_b + \sigma_{bR}}{\sigma_{bR}}; \quad (1.5)$$

- зависимости Карпенко Н.И., Мухамеддиева Т.А.

$$\sigma_b = E_b \nu_b \varepsilon_b, \quad \nu_b = \left[\eta_b + \sqrt{\eta_b^2 - 4ac} \right] / 2a, \quad \bar{\nu}_b = R_b / (\varepsilon_{Rc} E_b),$$

$$\eta_b = \bar{\nu}_b e_{1b} \eta (v_0 - \bar{\nu}_b)^2 - 2\bar{\nu}_b, \quad a = \bar{\nu}_b^2 + e_{2b} \eta^2 (v_0 - \bar{\nu}_b)^2,$$

$$e_{2b} = 1 - e_{1b}, \quad c = \bar{\nu}_b^2 (v_0^2 - 2v_0 \bar{\nu}_b), \quad \eta = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{Rc}}, \quad (1.6)$$

для восходящей ветви $v_0 = 1$, $e_{1b} = 2 - 2,5\bar{\nu}_b$,

для ниспадающей ветви $v_0 = 2,05\bar{\nu}_b$, $e_{1b} = 1,95\bar{\nu}_b - 0,138$;

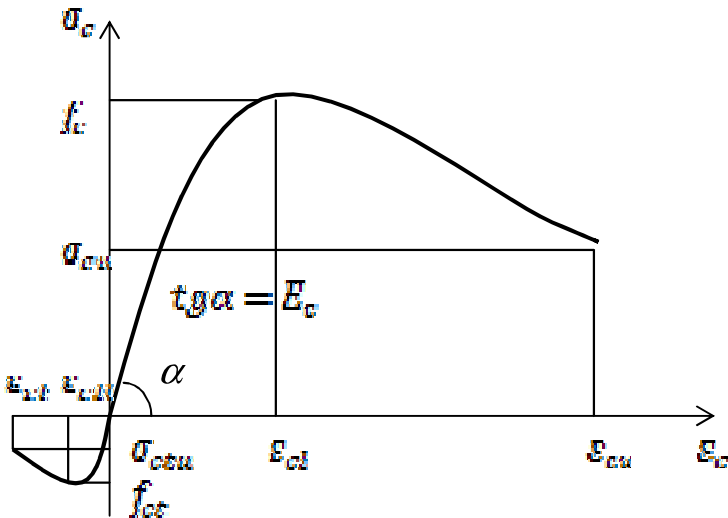


Рис.1. Диаграмма деформирования бетона при однократном кратковременном нагружении.

В исследованиях А.П. Кудзиса относительная предельная деформация крайних волокон бетона изгибаемых элементов, зависящая от скорости нагружения, составила 3...4% . Незначительное влияние на предельные деформации оказывает упругопластическое состояние и высота сжатой зоны бетона.

Неоднородное напряженное состояние оказывает существенное влияние на прочность и деформации бетона и железобетонных элементов. При кратковременном сжатии элементов, армированных сталью классов А-П, А-Ш, напряжения в арматуре и бетоне в стадии, близкой к разрушению, достигают предельных величин не одновременно. В результате имеет место понижение несущей способности. При использовании высокопрочной арматуры К.Э. Таль обнаружил повышение несущей способности за счет увеличения деформаций бетона при реализации нисходящих ветвей диаграмм. Это увеличение несущей способности элементов В.В. Дегтерев, Ю.А. Гагарин связывают с неоднородным напряженным состоянием сечений.

В исследованиях Л.В. Горелова, Л.Н. Зикеева и др. с повышением коэффициента μ или ξ деформации краевого волокна бетона сжатой зоны увеличиваются. При $\xi > 0,4$ средние деформации приближаются к $\xi_{\text{кр}} = 0,0018 \dots 0,0024$. В.М. Багашов получил при $\xi < 0,2$ меньшие значения предельной деформации, но ошибочно посчитал их случайными. Положение равнодействующей внутренних усилий в сжатой зоне бетона изменяется незначительно.

Т.И. Мамедов, Ю.П. Гуца и др. отмечают, что новые виды арматуры (классы А-IV, А-V), отличаясь деформационными свойствами, определяют поведение конструкций под нагрузкой и характер их разрушения.

П.И. Васильев, Е.Н. Пересыпкин обнаружили в сжатой зоне продольные трещины, что явилось следствием значительных растягивающих напряжений в уровне равнодействующей. В стадии, близкой к предельной, эти трещины приводили к отслоению сжатой зоны.

Н.М. Смирнов, Е.М. Гамаюнов установили, что если деформации в бетоне сжатой зоны возрастают быстрее, чем деформации в арматуре, то в бетоне развиваются деформации нисходящей ветви диаграммы $\sigma_b - \xi_b$.

В экспериментальных исследованиях Я.М. Немировского учет работы растянутого бетона над трещинами позволил точнее определить напряжения в растянутой арматуре, коэффициенты ψ_s и ширину раскрытия трещин.

В работе [1] изучали анализ природы формы связи между деформациями и напряжениями в бетоне при построении диаграмм деформирования.

деформаций происходит плавно и зависит от величины деформаций ползучести при значительных напряжениях в бетоне сжатой зоны.

На основании исследований диаграмм деформирования бетона и арматуры при однородном напряженном состоянии предложены аналитические зависимости по их описанию. В.Н. Байков, С.В. Горбатов, З.А. Димитров [4] предложили методику построения зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона

$\sigma_b - \xi_b$ на основе нормируемых величин прочности бетона, модуля упругости и деформаций, соответствующих вершине диаграммы и в конце нисходящей ветви $0,85R_b$.

Р.Х. Асад и др. подтверждают вывод о том, что в балках при $\xi < \xi_k$ напряжения в арматуре равны пределу текучести, а при $\xi > \xi_k$ напряжения σ_s меньше расчетного сопротивления R_s .

В работах А.В. Яшина, Г. Рюша получены диаграммы деформирования бетона $\sigma_b - \xi_b$ с разными нисходящими ветвями. Установлено влияние скорости нагружения на параметрические точки σ_b, ξ_b , в характере диаграмм, отмечены значительные длины нисходящих ветвей.

Диаграммы деформирования легкого бетона при центральном сжатии (однородное напряженное состояние) характеризуются в вершинах напряжениями равными призмной прочностью R_b и соответствующими деформациями $\xi_k = 2\%$. Нисходящим ветвям диаграмм сжатия бетона соответствуют предельные деформации $\xi_{\text{вн}}$, которые больше ξ_k в 1,5...2 раза.

В работах В.Г. Щелкунова, А.Ю. Свитлыка, А.Н. Коркишко и Г. К. Дорошенко получены диаграммы деформирования бетона при неоднородном напряженном состоянии, которые имеют другие параметрические характеристики, зависящие от неравномерного распределения деформаций по высоте сечения.

Напряжения в вершинах диаграмм сжатия бетона при неоднородном напряженном состоянии выше неизменной прочности, а соответствующие им деформации больше ξ_k . Ряд исследователей считают, что диаграммы деформирования бетона, полученные при испытании призм на центральное сжатие, наилучшие образом отвечают работе бетона в изгибаемых и внецентренно сжатых элементах. В то же время имеется немало

$\xi_{br} \leq 0,5 \dots 0,7$, приходящая часть диаграммы сжатия бетона при $\xi_{br} > \xi_{Rk} - z/70$ имеет существенное значение при оценке распределения напряжений в предельном состоянии изгибаемых и внецентренно сжатых элементов.

В БНП рекомендовано во всех случаях использовать величину R_{br} . Вероятно это связано с тем, что при применении R_{cu} в отдельных случаях, а именно при относительной высоте сжатой зоны $\xi_{z \leq \xi_{Rk}}$ отмечалась переоценка несущей способности. Во всех остальных случаях расчетная несущая способность, полученная при использовании R_{br} , совпадает с опытной.

Исследованию напряженно-деформированного состояния в сечениях железобетонных элементов по диаграммам посвящены также работы А.Н. Бамбуры, А.П. Васильева, Л.Н. Зайцева, М.Л. Зака, Ю.А. Иващенко, А.В. Караваева, Е.С. Лейтеса, Н.Г. Маткова, В.П. Полищука и С.М. Скоробогатова.

Н.И. Карпенко, Т.А. Мухамедиев и А.Н. Петров предложили описывать диаграммы деформирования бетона и арматуры в таком виде:

$$\xi_{m1} = \sigma_m \cdot E_m \cdot v_m, \quad (1.7)$$

где m - индекс материала ($m=b$, bt - бетон с разными диаграммами при сжатии и растяжении; $m=s$ - арматура);

v_m - коэффициент изменения секущего модуля деформаций.

В.Н. Байков, М.И. Додонов предложили аналитические зависимости между напряжениями и деформациями, учитывающие скорость нагружения, длительность действия нагрузки и другие факторы. При учете параболического закона распределения напряжений по высоте сечения [3] получены величины, которые близки к кубической прочности бетона.

В работах А.Я. Барашикова и И.П. Новогарского рассмотрено напряженно-деформированное состояние изгибаемых и внецентренно сжатых элементов, работающих с трещинами в растянутой зоне. С учетом переменных во времени внешних усилий и деформативных характеристик бетона приведено уравнение для определения относительной высоты сжатой зоны. Все особенности, вытекающие из того, что внешняя нагрузка прикладывается во времени, авторы учитывали с помощью коэффициентов.

Выводы

1. Использование диаграмм в исследованиях напряженно-деформированного состояния в сечениях железобетонных элементов обосновано и неоднократно применялось многими авторами научных работ.
2. Напряжения в вершинах диаграмм сжатия бетона при неоднородном напряженном состоянии выше неизменной прочности, а соответствующие им деформации больше ξ_R .
3. Диаграммы деформирования легкого бетона при центральном сжатии (однородное напряженное состояние) характеризуются в вершинах напряжениями равными призмной прочности R_b и соответствующими деформациями $\xi_R = 2\%$. Нисходящим ветвям диаграмм сжатия бетона соответствують предельные деформации $\xi_{\text{ол}}$, которые больше ξ_R в 1,5...2 раза.
4. Неоднородное напряженное состояние оказывает существенное влияние на прочность и деформации бетона и железобетонных элементов.

1. Гвоздев А.А., Александровский С.В., Багрий Э.Я. Ползучесть бетона при напряжениях, изменяющихся во времени//Бетон и железобетон. - 1965. - №7. - С. 1-8.
2. Гуца Ю.П. Об учете неупругих деформаций бетона и арматуры при оценке деформативности железобетонных конструкций в стадиях, близких к разрушению. - М.: НИИЖБ, 1983. - С. 11-18.
3. Нилендер Ю.А. Механические свойства бетона и железобетона //Справочник проектировщика пром. сооруж. Железобет. констр. М. - Л.: Стройиздат, 1935. - Т. 4. - С. 25-68.
4. Байков В.Н., Горбатов С.В., Дмитриев З.А. Построение зависимости между напряжениями и деформациями сжатого бетона по системе нормируемых показателей // Изв. вузов. Стр-во и архитектура.
5. ГОСТ 8829-85. Конструкции и изделия железобетонные сборные. Методы испытаний и оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. Изд-во стандартов, М., 1985, 21с.
6. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции, М., ЦИТП Госстроя СССР, 1985, 79с.
7. Довгалюк В.Н., Кац Г.Л. Конструкции из легких бетонов. М., Стройиздат, 1984, 224с.
8. Испытание сборных железобетонных конструкций//Комар А.Г., Дубровин Е.Н. и др., М., Высшая школа, 1980, 269с.