НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СВОЙСТВА РАЗЛИЧНЫХ БЕТОНОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

МОСКВА–1984

gost.e-ecolog.ru

Госстрой СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт
бетона и железобетона
(НИИЖБ)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СВОЙСТВА РАЗЛИЧНЫХ БЕТОНОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ СТЕРЖНЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Утверждены
директором НИИЖБ
24 января 1983 г.

Москва 1984

УДК 624.072.012.35.044:539.4

Печатается по решению секции бетонных и железобетонных конструкций НТС НИИЖБ Госстроя СССР от 1 июня 1982 г.

Рекомендации по методике определения параметров, характеризующих свойства различных бетонов при расчете прочности нормальных сечений стержневых железобетонных элементов. М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1984, с. 32.

Рекомендации содержат положения по методике экспериментального определения прочностных и деформационных характеристик бетонов, используемых при расчете прочности нормальных сечений бетонных и железобетонных конструкций. Приведены указания по проектированию опытных образцов, методике испытаний и обработке опытных данных.

Приводится расчетная модель по расчету прочности нормальных сечений, позволяющая учесть фактические прочностные и деформационные характеристики бетонов различных видов.

Предназначены для ИТР научных и проектных организаций, занимающихся вопросами изучения различных видов бетонов, применяемых в несущих бетонных и железобетонных конструкциях различного назначения.

Илл. 8.

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт бетона и железобетона, 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации имеют целью унифицировать методы испытаний по определению прочностных и деформационных характеристик бетона, позволяющих прогнозировать поведение новых видов его в конструкциях.

Это вызвано тем, что в методах расчета бетонных и железобетонных конструкций по прочности, принятых в главе СНиП II-21-75 "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования", практически не используются фактические прочностные и деформационн ы е характеристики бетона. Согласно методике СНиП II-21-75 для установления расчетных зависимостей, помимо определения физико-механичес - ких характеристик на бетонных образцах, требуется проведение спе - циальных испытаний железобетонных конструкций, что в определенной мере сдерживает внедрение новых разновидностей бетонов в практику строительства.

Рекомендации содержат методику экспериментального определения основных физико-механических характеристик бетона и положения по расчету прочности нормальных сечений элементов из различных видов бетонов с учетом этих характеристик.

Результаты исследований по данной методике просим присылать в НИИЖБ для их дальнейшего использования при разработке нормативных документов.

Рекомендации разработаны в НИИЖБ Госстроя СССР д-ром техн. наук, проф. А.А.Гвоздевым, кандидатами техн. наук О.Ф.Ильиным, Р.Л. Серых, инж. П.П.Семеновым при участии д-ра техн. наук Ю.В.Чиненкова и кандидатов техн. наук В.А.Беликова, В.В.Фигаровского, А.А. Кудрявцева, И.В.Волкова, В.Н.Ярмаковского.

Замечания и предложения по содержанию Рекомендаций просим направлять в НИИЖБ по адресу: 109389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6.

Дирекция НИИЖБ

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации предназначены для унификации статических испытаний бетонных и железобетонных образцов при определении прочностных и деформационных характеристик бетонов.

I.2. Метод расчета прочности нормальных сечений, предлагаемый в настоящих Рекомендациях, не учитывает факторов надежности, и поэтому не предназначен для использования в реальном проектировании.

I.3. В Рекомендациях приводится методика определения прочностных и деформационных характеристик бетона:

$R_б$ – призменной прочности; ε_R – предельной деформации бетона при равномерном сжатии; $E_б$ – начального модуля упругости бетона; ω_o – полноты эпюры напряжений сжатой зоны в предельном состоянии при изгибе и внецентренном сжатии с неполностью сжатым сечением; β_o; β– отношение расстояния от равнодействующей сжимающих напряжений до наиболее сжатого волокна соответственно к высоте сжатой зоны и к высоте всего сечения; ε_o; ε_o' – предельные краевые деформации укорочения бетона соответственно наиболее и наименее сжатых волокон сечения.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опытные образцы

2.I. Для получения указанных ниже характеристик рекомендует с я использовать следующие унифицированные образцы:

а) призмы размером I50xI50x600 мм – для определения

$$R_б,\ E_б,\ \varepsilon_R,\ \varepsilon_o,\ \varepsilon_o',\ \omega_o;$$

б) железобетонные балки размером I50x300x3800 мм – для определения ω_o, β_o, ε_o.

2.2. Для получения характеристик, указанных в п.2.I,а, рекомендуется изготовить не менее 9 образцов, из которых 3 образца испытывают на осевое сжатие и 6 образцов – на внецентренное сжатие при эксцентрицитетах e_o = I см и e_o = 2,5 см (по 3 образца на каждый вид).

Для определения характеристик, указанных в п.2.I,б, рекомендуется изготовить железобетонные балки двух серий (по 2 балки в серии), различающиеся содержанием продольной растянутой арматуры. Сечение растянутой арматуры подбирается таким образом, чтобы напряжение в ней в стадии разрушения для первой серии превышало предел текучести,

а для второй серии - его не достигало (рис.I).

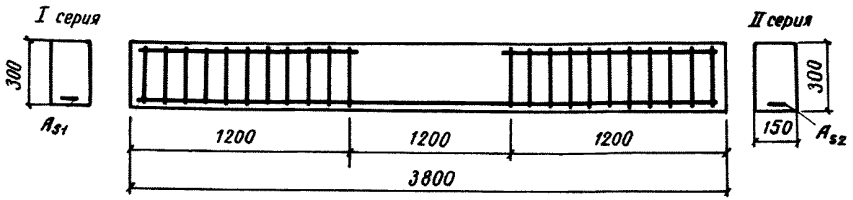


Рис. I. Схема армирования изгибаемых элементов.

2.3. Опытные образцы следует изготавливать из бетона одного состава.

2.4. При изготовлении образцов должны соблюдаться требования ГОСТ I0I80-78, предъявляемые к качеству форм, способу уплотнения бетонной смеси, условиям твердения и др.

Методика испытаний

2.5. Испытания призматических образцов рекомендуется производить на гидравлических прессах, при этом величина предполагаемой разрушающей нагрузки должна составлять не менее 0,7 от характеристики шкалы силоизмерителя пресса.

2.6. Установка и центрирование образцов из плоскости эксцентрицитета производится при нагрузках до $0,2\,P_p$; при этом необходимо, чтобы продольные деформации на противоположных гранях призм не отличались между собой более чем на $\pm$I0%.

2.7. Нагружение производится с постоянной скоростью, равной 8 кН/с, ступенями; до нагрузки, равной $0,2\,P_p$, загружение производится ступенями по $0,05\,P_p$; в области от $0,2\,P_p$ до $0,8\,P_p$ - ступенями по $0,I\,P_p$; в области от $0,8\,P_p$ до разрушения - ступенями по $0,05\,P_p$. На каждой ступени следует делать выдержку нагрузки в течение 4-5 мин для снятия показаний с приборов в начале и в конце ступени.

2.8. Для получения характеристик, указанных в п.2.I,а необходимо установить тензодатчики и тензометры для измерения соответствующих деформаций (рис.2). Если нет возможности установить тензодатчики, то испытания могут проводиться в ограниченном объеме, т.е. для получения только $R_б$, $E_б$, ε_o, ε'_o, ε_R.

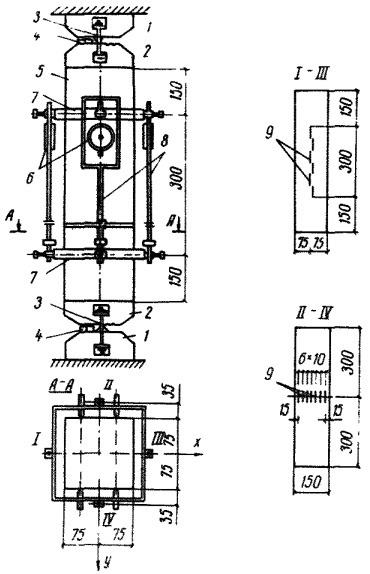


Рис.2. Схема расстановки измерительных приборов при испытании призм на сжатие

I, II, III, IУ - грани призм; 1 - опорная плита с ножом; 2 - опорная подушка с пазом; 3 - шарнирный вкладыш; 4 - стопорный винт; 5 - испытываемая призма; 6 - индикаторы; 7,8 - рамки для крепления приборов; 9 - тензодатчики

2.9. Испытания балочных образцов рекомендуется производить на гидравлических прессах либо на силовых установках по схеме, указанной на рис.3. Нагрузка на образец передается в третях пролета через металлическую траверсу. Опорные устройства изготавливаются из металлических пластин размером I50xI00x20 мм, укладываемых на растворе, и металлических катков диаметром не менее 50 мм.

Нагрузка на балку передается ступенями с выдержкой на каждой ступени в течение 4-5 мин для снятия показаний приборов. Величина ступени нагружения до ожидаемой нагрузки образования нормальных трещин $P_т$ составляет $0,2\,P_т$, в области от $P_т$ до $0,8\,P_р$ величина ступени принимается равной $0,I\,P_р$, а от $0,8\,P_р$ до разрушения - $0,05\,P_р$.

2.I0. Для определения характеристик ε_o и ε'_o на сжатой и растянутой гранях балок в зоне чистого изгиба устанавливают тензометры на базе 500 мм с двух сторон, как показано на рис.3. Для определения положения нейтральной оси на боковых гранях балок в зоне чистого

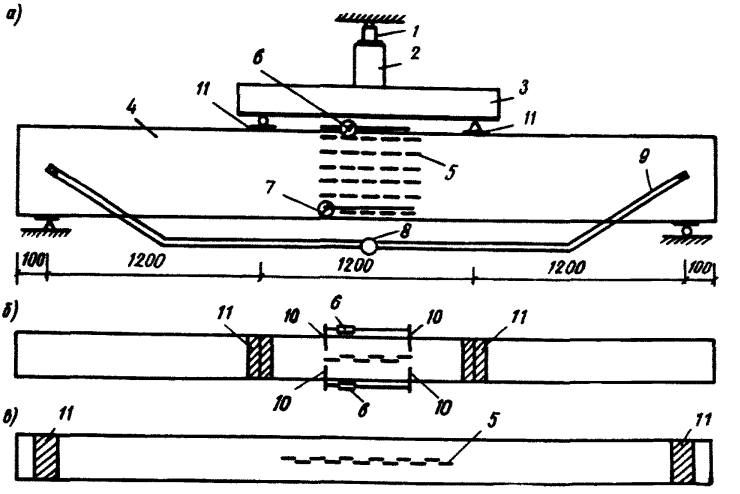


Рис. 3. Схема испытаний балок на изгиб

а - боковая грань; б - верхняя грань; в - нижняя грань;

I - силоизмеритель; 2 - гидравлический домкрат; 3 - распределительная траверса; 4 - испытываемая балка; 5 - тензодатчики; 6 - индикатор часового типа для измерения краевых деформаций бетона; 7 - специальное приспособление для измерения деформаций арматуры ; 8 - прогибомер; 9 - рамка для крепления прогибомера; I0 - металлические пластинки для установки индикаторов, приклеенные к поверхности бетона эпоксидным клеем; II - опорные пластины

изгиба наклеиваются тензодатчики базой 50 мм.

2.II. Деформации арматуры контролируются с помощью специальных приспособлений, показанных на рис.4. Наряду с этим необходимо провести испытания арматуры на растяжение для получения диаграммы "$\sigma_s - \varepsilon_s$".

2.I2. В процессе испытаний балок следует фиксировать момент появления трещин, их развитие и ширину раскрытия, а также прогибы на каждом этапе нагружения.

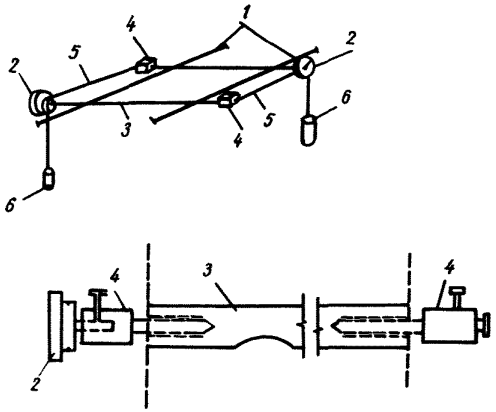


Рис. 4. Схема приспособления для измерения деформаций арматуры
I - стержни рабочей арматуры; 2 - прогибомеры; 3 - монтажный стержень; 4 - переходной элемент; 5 - прогибомерная проволока; 6 - прогибомерный груз

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Бетонные призмы, испытанные на осевое сжатие

3.I. По результатам испытаний каждой призмы устанавливают разрушающую нагрузку и соответствующую ей призменную прочность по ГОСТ 24452-80, а также строят диаграмму "$\sigma_в - \varepsilon_в$".

3.2. По диаграмме "$\sigma_в - \varepsilon_в$" устанавливают значения ε_y и ε_R (см.прил. I). При этом для нахождения ε_R разрешается наклонный отрезок диаграммы сжатия бетона, построенный за этап до разрушения, перенести параллельно вправо, через точку на этапе выдержки продолжить его до пересечения с горизонтальной прямой, соответствующей $P = P_P$, и графически установить среднее значение ε_R.

3.3. По показаниям измерительных приборов устанавливают максимальные значения деформаций по всем четырем граням призм и заносят их в журнал испытаний (см. прил. 2). По значениям деформаций пар противолежащих граней I-Ш и П-IУ (см.рис.2) вычисляют коэффи-

циенты полноты эпюры нормальных напряжений ω_x и ω_y, характеризующие неравномерность сжатия бетона соответственно в плоскостях I–III и II–IV по осям симметрии призм x и y

$$\omega_{x(y)} = \left(1 - \frac{\varepsilon_y}{2\varepsilon_R}\right) \cdot \frac{1 + \frac{\varepsilon_{3(4)}}{\varepsilon_{1(2)}}}{1 + \frac{\varepsilon_{3(4)}}{\varepsilon_{1(2)}}\left(1 - \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_R}\right)}, \qquad (1)$$

где ε_3 и ε_4 минимальные, а ε_1 и ε_2 максимальные значения деформаций, замеренных при разрушении призм.

Вычисляют скорректированные значения призменной прочности для каждого из n испытанных образцов

$$R_{Bi} = \frac{2P_p}{bh\left(\omega_{xi} + \omega_{yi}\right)}, \qquad (2)$$

по которым устанавливают среднее значение скорректированной призменной прочности бетона

$$R_B = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R_{Bi}.$$

3.4. Модуль упругости бетона вычисляют по ГОСТ 24452-80.

Бетонные призмы, испытанные на внецентренное сжатие

3.5. По показаниям тензодатчиков и индикаторов определяют средние краевые деформации ε_o и ε'_o согласно указаниям п.2.8, и результаты заносят в журнал испытаний (см. прил.3).

3.6. Для призм, у которых краевые деформации ε_o и ε'_o одного знака, полноту эпюры нормальных напряжений ω и положение равнодействующей β вычисляют по формулам

$$\omega = \frac{P_p}{R_B \cdot b \cdot h}; \qquad (3)$$

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{e_o}{h}. \qquad (4)$$

Здесь R_B – среднее из скорректированных значений призменной прочности образцов, испытанных на центральное сжатие.

3.7. Для призм, у которых краевые деформации ε_o и ε'_o разных знаков, высоту сжатой зоны x определяют в соответствии с п.3.9, принимая $\varepsilon_s = \varepsilon'_o$, параметр ω_o вычисляют по формуле

$$\omega_o = \frac{P_p}{R_B \cdot b \cdot x}, \qquad (5)$$

а положение равнодействующей β_o вычисляют по формуле

$$\beta_0 = \frac{0{,}5h - e_0}{x} \quad . \qquad (6)$$

Результаты вычислений заносят в журнал испытаний (см.прил.3).

Изгибаемые элементы

3.8. По показаниям приборов строят графики изменения средних деформаций продольной арматуры ε_s и краевых деформаций бетона сжатой зоны $\varepsilon_б$ в зависимости от нагрузки для каждого образца. Предельные величины ε_s и $\varepsilon_б = \varepsilon_0$, соответствующие разрушению образца, заносят в журнал испытаний (см.прил.4).

3.9. По значениям ε_s и ε_0 вычисляют среднее значение высоты сжатой зоны бетона

$$x = h_0 \cdot \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_0 + \varepsilon_s} \quad . \qquad (7)$$

Кроме этого, правильность вычисления величины x контролируют по средним значениям деформаций, замеренным тензодатчиками, наклеенными на боковых гранях балок.

3.10. По предельным значениям деформаций арматуры ε_s и диаграммы "$\sigma_s - \varepsilon_s$" устанавливают напряжения в арматуре σ_s и вычисляют величину ω

$$\omega = \frac{\sigma_s \cdot A_s}{R_б \cdot b \cdot h} \quad . \qquad (8)$$

Результаты заносят в журнал (см.прил.4).

3.11. Характеристику полноты эпюры нормальных напряжений ω_0 вычисляют по формуле

$$\omega_0 = \omega \cdot \frac{h}{x} \quad . \qquad (9)$$

3.12. Характеристику β_0, определяющую положение центра тяжести эпюры нормальных напряжений относительно крайнего сжатого волокна сечения, вычисляют по формуле

$$\beta_0 = \frac{1}{x} \cdot \left(h_0 - \frac{M_р}{\sigma_s} \right) = \frac{1}{h} \cdot \frac{\omega_0}{\omega} \left(h_0 - \frac{P_р\, a}{2\sigma_s} \right) , \qquad (10)$$

где $M_р$ и $P_р$ - соответственно опытные разрушающий момент и разрушающая нагрузка; σ_s - фактическое напряжение в арматуре; a - расстояние от опоры до груза, равное 120 см (см.рис.3).

4. МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БЕТОНОВ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ФАКТИЧЕСКИЕ ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

4.I. В качестве рабочих гипотез предлагаемого метода расчета принимают:

равенство нулю напряжений при равных нулю деформациях от силовых воздействий;

постоянство характеристики ω_o при любых $x \leq h$;

линейное распределение средних деформаций бетона и арматуры по высоте сечения;

возможность определять значения характеристик ω_o , $\mathcal{B}_o$, $\mathcal{B}$, ε_o по формулам

$$\omega_o = 1 - \frac{R_в}{2\,\varepsilon_R \cdot E_в} ; \qquad (II)$$

$$\mathcal{B}_o = \frac{2\,\omega_o + 1}{6} ; \qquad (I2)$$

$$\mathcal{B} = \frac{2\,\omega + 1}{6} ; \qquad (I3)$$

$$\varepsilon_o = \frac{\varepsilon_R}{1-\omega_o} \cdot \left[\omega_o - (2\,\omega_o - 1)\,\omega\right] ; \qquad (I4)$$

$$\varepsilon_o' = \frac{\varepsilon_R}{1-\omega_o}\,(\omega - \omega_o) , \qquad (I5)$$

где ε_R – предельные деформации бетона при его равномерном сжатии, вычисляемые для обычных цементных бетонов по формуле

$$\varepsilon_R = (1{,}7 + 0{,}008\,R_в) \cdot 10^{-3} , \qquad (I6)$$

здесь $R_в$ в МПа.

Для других видов бетонов и разновидностей вяжущих ε_R определяют по результатам испытаний (см. п.3.2).

Отношение предельного внутреннего усилия, воспринимаемого бетоном сжатой зоны $N_в$, к предельному внутреннему усилию при равномерном сжатии элемента, равному $R_в b h$, обозначено через ω

$$\omega = \frac{N_в}{R_в \cdot b \cdot h} . \qquad (I7)$$

Величина ω , при которой деформация на краю менее сжатого волокна сечения равна нулю, принята за характеристику материала и обозначена через параметр ω_o .

4.2. Расчет по прочности образцов производится по предлагаемому методу при теоретических значениях ε_0, ε_0', ω_0, β_0, β, и результаты его сравниваются с опытными значениями разрушающих нагрузок.

4.3. Расчет прямоугольных сечений, нормальных к продольной оси элемента, когда внешние силы действуют в плоскости оси симметрии сечения, предлагается производить в зависимости от величины ω по одному из двух возможных случаев: при $\omega = \omega_0$ (случай неполностью сжатых сечений) по расчетной схеме, приведенной на рис.5,а; при $\omega > \omega_0$ (случай полностью сжатых сечений) по расчетной схеме, приведенной на рис.5,б.

Для неполностью сжатых сечений величина x определяется по формуле

$$x = h \cdot \frac{\omega}{\omega_0} \cdot \qquad (18)$$

4.4. Расчет сечений в общем случае (см.рис.5) должен производиться из условия

$$M \leq \sum_{i=1}^{n} \sigma_{si} \cdot A_{si} \cdot z_{si} \quad , \qquad (19)$$

где M - момент относительно оси, нормальной к плоскости действия момента и проходящей через точку приложения равнодействующей сжатого бетона, от всех внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения; A_{si}, σ_{si} - соответственно площадь и напряжение в i -м стержне продольной арматуры (σ_{si} считается положительным в случае растяжения); z_{si} - расстояние от центра тяжести площади сечения i -го стержня продольной арматуры до точки приложения равнодействующей напряжений сжатого бетона.

Для неполностью сжатых сечений, когда $\omega \leq \omega_0$ (см.рис. 5,а), с учетом выражения (18)

$$z_{si} = h_{oi} - \beta_0 x = h \left(\alpha_i - \beta_0 \frac{\omega}{\omega_0} \right) ; \qquad (20)$$

для полностью сжатых сечений, когда $\omega > \omega_0$,

$$z_{si} = h_{oi} - \beta h = h \left(\alpha_i - \beta \right) , \qquad (21)$$

где $\alpha_i = \frac{h_{oi}}{h}$ - относительное расстояние i -го стержня продольной арматуры от сжатой грани.

Параметр ω определяется из уравнения равновесия суммы проек-

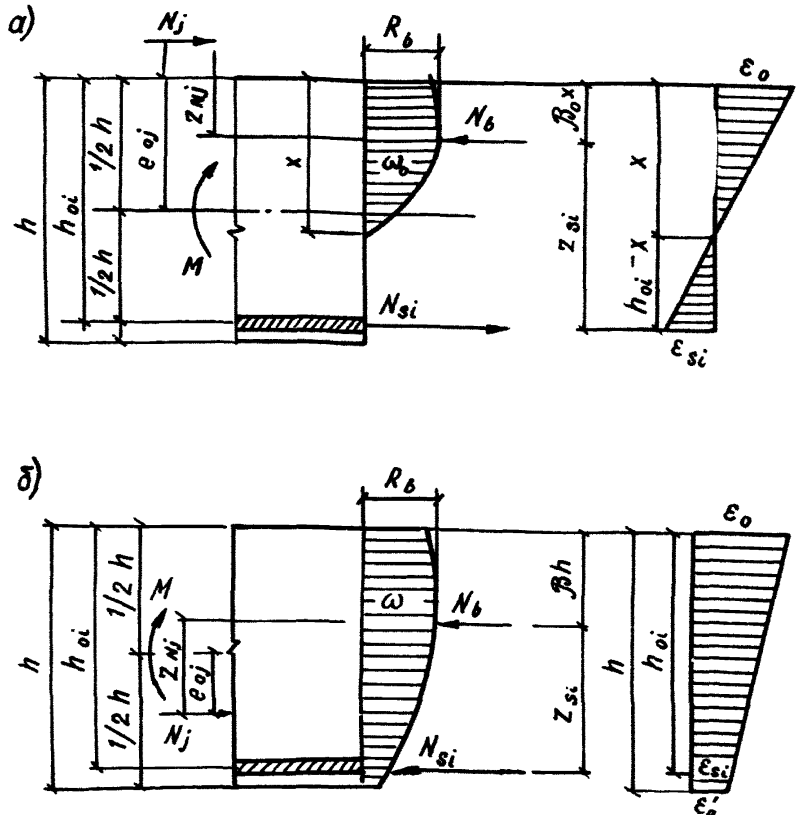


Рис. 5. Расчетная схема внутренних усилий и распределения деформаций в сечении элемента

а - неполностью сжатые сечения $\omega \leq \omega_0$; б - полностью сжатые сечения $\omega > \omega_0$

ций всех сил на продольную ось элемента

$$\sum_{j=1}^{\kappa} N_j = R_B \cdot b \cdot h \cdot \omega - \sum_{i=1}^{n} \sigma_{si} A_{si} \quad , \qquad (22)$$

где N_j - продольное усилие, положительное при сжатии и отрицательное при растяжении.

4.5. Напряжение в арматуре σ_{si} определяется исходя из принятой кусочно-линейной диаграммы " $\sigma_s - \varepsilon_s$ " стали (рис.6 и 7) по формуле

$$\sigma_{si} = E_{ni} (\varepsilon_{si} + \varepsilon_{ni}) , \qquad (23)$$

где E_{ni} - касательный модуль упругости рассматриваемого участка диаграммы; ε_{si} - полные фактические деформации арматуры; ε_{ni} - расстояние от пересечения продолжения рассматриваемого прямолинейного участка диаграммы " $\sigma_s - \varepsilon_s$ " с осью абсцисс, принимаемые с тем же знаком, что и ε_{si} (см.рис.7).

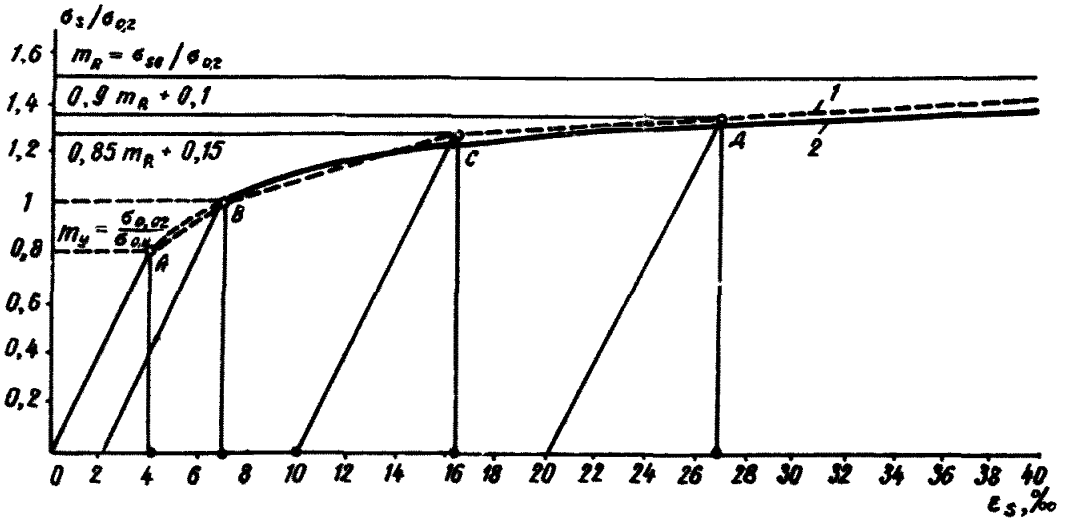


Рис. 6. Диаграмма " $\sigma_s - \varepsilon_s$ " стали

I - принятая в предлагаемой методике расчета; 2 - косвенно используемая в расчете по главе СНиП II-2I-75

Исходя из принятого линейного распределения деформаций бетона и арматуры по высоте сечения, значения ε_{si} определяются в зависимости от ω по следующим выражениям:

если $\omega \le \omega_0$ (см.рис.5,а)

$$\varepsilon_{si} = \frac{\varepsilon_R}{1-\omega_0} \left[\omega_0 - (2\omega_0 - 1)\omega\right] \cdot \left(\frac{\alpha_i \omega_0}{\omega} - 1\right) + \varepsilon_{spi} ; \qquad (24)$$

если $\omega > \omega_0$ (см.рис.5,б)

$$\varepsilon_{si} = \frac{\varepsilon_R}{1-\omega_0} \left[(2\alpha_i - 1)\omega_0 - (1 - 2\omega_0 + 2\omega_0\alpha_i)\omega \right] + \varepsilon_{spi} , \qquad (25)$$

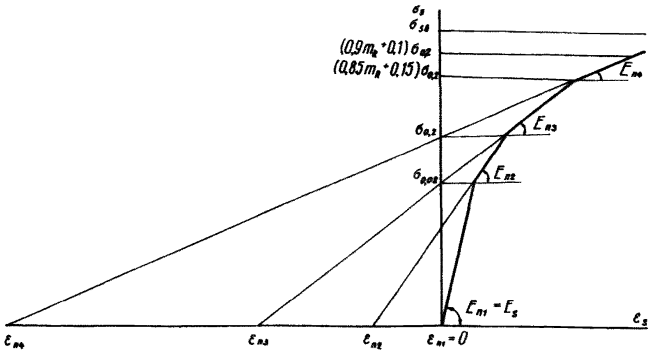


Рис.7. Схема диаграммы "$\sigma_s - \varepsilon_s$" стали для нахождения значений E_{ni} и ε_{ni}

где ε_{spi} – деформации удлинения в i –м стержне продольной арматуры, вызванные усилием предварительного напряжения и равные

при $\sigma_{spi} \leq m_{yi}\,\sigma_{0,2i}$

$$\varepsilon_{spi} = \frac{\sigma_{spi}}{E_{si}}\ ; \qquad (26)$$

при $m_{yi}\,\sigma_{0,2i} < \sigma_{spi} \leq \sigma_{0,2i}$

$$\varepsilon_{spi} = \frac{\sigma_{spi}}{E_{si}} + \frac{0,002}{1-m_{yi}} \cdot \left(\frac{\sigma_{spi}}{\sigma_{0,2i}} - m_{yi}\right)\ . \qquad (27)$$

4.6. В зависимости от σ_{si} значения E_{ni} и ε_{ni} [формула (23)] определяются по следующим выражениям:

если $\sigma_{si} \leq m_{yi} \cdot \sigma_{0,2i}$,

$$E_{ni} = E_{si}\ ; \qquad (28)$$

$$\varepsilon_{ni} = 0\ ; \qquad (29)$$

если $m_{yi}\,\sigma_{0,2i} < \sigma_{si} \leq \sigma_{0,2i}$,

$$E_{ni} = \frac{E_{si}}{1 + \dfrac{0,002\,E_{si}}{\sigma_{0,2i}\,(1-m_{yi})}}\ ; \qquad (30)$$

$$\varepsilon_{ni} = \frac{2\,m_{yi}}{1-m_{yi}} \cdot 10^{-3}\ ; \qquad (31)$$

если $\sigma_{0,2i} < \sigma_{si} \leq (0,85\,m_{Ri} + 0,15)\,\sigma_{0,2i}$,

$$E_{ni} = \frac{E_{si}}{1 + \frac{0,008\,E_{si}}{0,85\,\sigma_{0,2i}\,(m_{Ri} - 1)}}\ ; \qquad (32)$$

$$\varepsilon_{ni} = \frac{9,7 - 1,7\,m_{Ri}}{0,85\,(m_{Ri} - 1)} \cdot 10^{-3}\ ; \qquad (33)$$

если $\sigma_{si} > (0,85\,m_{Ri} + 0,15)\,\sigma_{0,2i}$,

$$E_{ni} = \frac{E_{si}}{1 + \frac{0,2\,E_{si}}{\sigma_{0,2i}\,(m_{Ri} - 1)}}\ ; \qquad (34)$$

$$\varepsilon_{ni} = \frac{4\,(4\,m_{Ri} + 1)}{m_{Ri} - 1} \cdot 10^{-2}. \qquad (35)$$

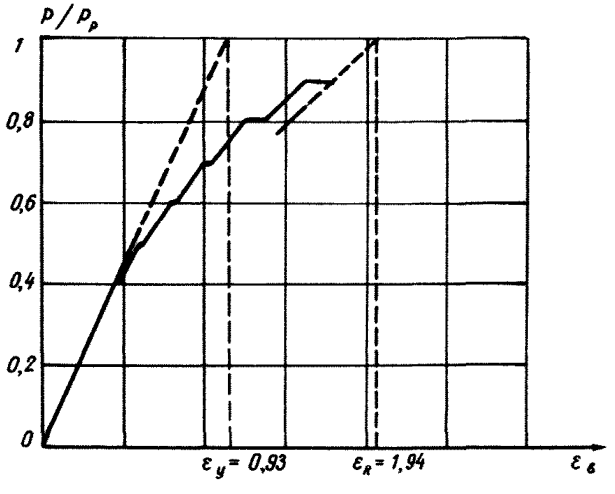
В формулах (26)-(35)

$m_{yi} = \frac{\sigma_{0,02\,i}}{\sigma_{0,2\,i}}$ и $m_{Ri} = \frac{\sigma_{sbi}}{\sigma_{0,2\,i}}$ - соответственно отношения предела упругости арматуры $\sigma_{0,02}$ и временного сопротивления арматуры σ_{sb} к ее условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$.

4.7. В случае расхождения опытных и теоретических значений разрушающих нагрузок следует скорректировать теоретические значения ω_o, ε_o, ε'_o, $\mathcal{B}_o$ с учетом фактических результатов испытаний.

Приложение I

ПОСТРОЕНИЕ ОПЫТНОЙ ДИАГРАММЫ "$\sigma_в - \varepsilon_в$"



Приложение 2

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ БЕТОННЫХ ПРИЗМ НА ОСЕВОЕ СЖАТИЕ

Номер образца	$A_в \cdot 10^{-4}$, $м^2$	$P_р \cdot 10^5$, $Н$	$R_{вi} = \frac{P_р}{A_в} \cdot 10^5$, $Н/м^2$	$\bar{R}_в \cdot 10^5$, $Н/м^2$	$E_в \cdot 10^{10}$, $Н/м^2$	$\varepsilon_у$, ‰	ε_R, ‰
I	233,3	7,22	310				
2	233,5	6,40	274	288	3,29	0,93	I,94
3	228,5	6,40	280				

Продолжение прил.2

Номер образца	ε_1, ‰	ε_2, ‰	ε_3, ‰	ε_4, ‰	ω_x	ω_y	$R_{вi} \cdot 10^5$, $Н/м^2$	$\bar{R}_в \cdot 10^5$, $Н/м^2$
I	I,96	I,92	I,73	I,72	0,982	0,984	316	
2	2,38	2,I4	I,4I	I,6I	0,929	0,959	304	305
3	2,33	I,89	I,43	I,40	0,934	0,958	296	

Приложение 3

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ БЕТОННЫХ ПРИЗМ НА ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ

Номер образца	$A_в \cdot 10^{-4}$, $м^2$	$R_в \cdot 10^5$, $Н/м^2$	e_0, $м$	$P_р \cdot 10^5$, $Н$	ε_0, ‰	ε_0', ‰
I	226	305	0,0I0	5,56	2,79	0,32
2	228	305	0,025	4,I9	3,44	0,83

Продолжение прил.3

Номер образца	ω	β	x, $м$	$\varepsilon_в$, ‰	ω_0	β_0
I	0,8	0,433	-	-	-	-
2	-	-	0,I2I	3,44	0,758	0,4I7

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ИЗГИБ

Шифр балок	Геометрические размеры, м			
	b	h	h_o	a
БС-I	0,I56	0,245	0,205	0,6
БС-2	0,I54	0,244	0,205	0,6

Продолжение прил.4

Шифр балок	Продольная арматура				
	$A_s \cdot I0^{-4}$, $м^2$	$\sigma_{0,02} \cdot I0^5$, $Н/м^2$	$\sigma_{0,2} \cdot I0^5$, $Н/м^2$	$\sigma_{sb} \cdot I0^5$, $Н/м^2$	$E_s \cdot I0^{I0}$, $Н/м^2$
БС-I	4,486	4500	7300	7470	2I,5
БС-2	6,860	4500	7300	7470	2I,5

Продолжение прил.4

Шифр балок	Результаты испытаний							
	$P_p \cdot I0^5$, Н	ε_o, ‰	ε_s, ‰	$\sigma_s \cdot I0^5$, $Н/м^2$	x, $м$	ω	ω_o	$\mathcal{B}_o$
БС-I	I,8I	4,80	5,I0	7380	0,092	0,283	0,760	0,460
БС-2	2,40	4,6I	2,79	5400	0,I32	0,4I6	0,770	0,4I6

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПО ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РИГЕЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Пример I

Дано: Ригель прямоугольного сечения размерами l = 6 м, b = 0,2 м, h = 0,5 м, загруженный продольной N и поперечной P силами, согласно рис.8.

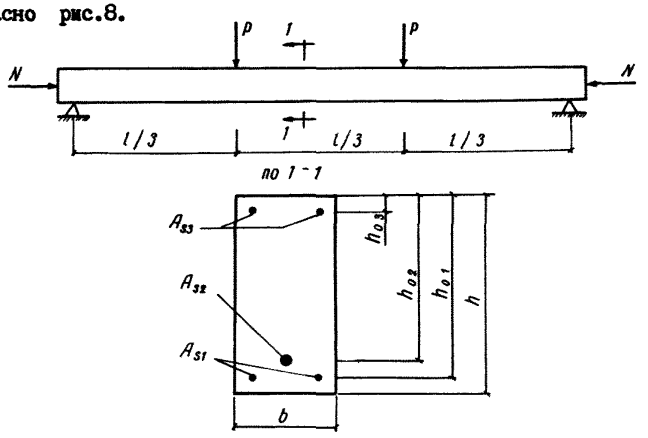


Рис. 8. Схема нагружения и армирования железобетонного ригеля

Нижняя ненапрягаемая продольная арматура:

$A_{s1} = 7{,}602 \cdot 10^{-4}$ м^2 (2ø22); $E_{s1} = 20 \cdot 10^{10}$ Н/м^2; $\sigma_{0,02I} = 4200 \cdot 10^5$ Н/м^2; $\sigma_{0,2I} = 6000 \cdot 10^5$ Н/м^2; $\sigma_{sб1} = 7200 \cdot 10^5$ Н/м^2; $\sigma_{sp1} = 0$; $h_{01} = 0{,}475$ м.

Нижняя напрягаемая продольная арматура:

$A_{s2} = 6{,}158 \cdot 10^{-4}$ Н/м^2 (Iø28); $E_{s2} = 19 \cdot 10^{10}$ Н/м^2; $\sigma_{0,022} = 5400 \cdot 10^5$ Н/м^2; $\sigma_{0,22} = 9000 \cdot 10^5$ Н/м^2; $\sigma_{sб2} = 12600 \cdot 10^5$ Н/м^2; $\sigma_{sp2} = 7200 \cdot 10^5$ Н/м^2; $h_{02} = 0{,}45$ м.

Верхняя напрягаемая продольная арматура:

$A_{s3} = 2{,}26 \cdot 10^{-4}$ м^2 (2ø12); $E_{s3} = 19 \cdot 10^{10}$ Н/м^2; $\sigma_{0,023} = 7200 \cdot 10^5$ Н/м^2; $\sigma_{0,23} = 9000 \cdot 10^5$ Н/м^2, $\sigma_{sб3} = 11700 \cdot 10^5$ Н/м^2, $\sigma_{sp3} = 5400 \cdot 10^5$ Н/м^2, $h_{03} = 0{,}025$ м.

Бетон: $R_в = 300 \cdot 10^5$ Н/м^2; $E_в = 3{,}25 \cdot 10^{10}$ Н/м^2.

Сжимающая сила $N = 4 \cdot 10^5$ Н, $e_0 = 0$.

Требуется определить максимальное значение силы P, воспринимаемое ригелем.

Расчет

Вычисляем для каждого стержня продольной арматуры значения коэффициентов α_i, m_{yi} и m_{Ri} (см.п.4.6)

$$\alpha_i = \frac{h_{0i}}{h}; \qquad m = \frac{\sigma_{0,02i}}{\sigma_{0,2i}}; \qquad m_{Ri} = \frac{\sigma_{sbi}}{\sigma_{0,2i}};$$

$$\alpha_1 = 0,95; \qquad \alpha_2 = 0,9; \qquad \alpha_3 = 0,05;$$

$$m_{y1} = 0,7; \qquad m_{y2} = 0,6; \qquad m_{y3} = 0,8;$$

$$m_{R1} = 1,2; \qquad m_{R2} = 1,4; \qquad m_{R3} = 1,3.$$

Вычисляем деформации арматуры σ_{spi}, вызванные усилием предварительного напряжения.

Так как для нижней напрягаемой арматуры

$\sigma_{sp2} = 7200 \cdot 10^5$ Н/м^2 $> m_{y2} \cdot \sigma_{0,22} = 5400 \cdot 10^5$ Н/м^2, то ε_{sp2} вычисляем по формуле (27)

$$\varepsilon_{sp2} = \frac{\sigma_{0,22}}{E_{s2}} + \frac{0,002}{1 - m_{y2}} \left(\frac{\sigma_{sp2}}{\sigma_{0,22}} - m_{y2} \right) = \frac{7200 \cdot 10^5}{19 \cdot 10^{10}} + \frac{0,002}{1-0,6} \left(\frac{7200 \cdot 10^5}{9000 \cdot 10^5} - 0,6 \right) =$$

$= 0,00479$.

Для верхней напрягаемой арматуры ε_{sp3} вычисляем по формуле (26), так как $\sigma_{sp3} = 5400 \cdot 10^5$ Н/м^2 $< m_{y3} \cdot \sigma_{0,23} = 7200 \cdot 10^5$ Н/м^2.

$$\varepsilon_{sp3} = \frac{\sigma_{sp3}}{E_{s3}} = \frac{5400 \cdot 10^5}{19 \cdot 10^{10}} = 0,00284.$$

По формуле (16) вычисляем значение ε_R при $R_B = 30$ МПа, а по формулам (11) и (12) значения параметров ω_o и β_o:

$$\varepsilon_R = (1,7 + 0,008 R_B) \cdot 10^{-3} = (1,7 + 0,008 \cdot 30) \cdot 10^{-3} = 0,00194;$$

$$\omega_o = 1 - \frac{R_B}{2 \cdot \varepsilon_R E_B} = 1 - \frac{300 \cdot 10^5}{2 \cdot 0,00194 \cdot 3,25 \cdot 10^{10}} = 0,762;$$

$$\beta_o = \frac{2\omega_o + 1}{6} = \frac{2 \cdot 0{,}762 + 1}{6} = 0{,}421 .$$

Предполагаем, что сечение неполностью сжато, т.е. $\omega < \omega_o$ и по формуле (24) выражаем деформации в каждом стержне продольной арматуры ε_{si} через искомый параметр ω

$$\varepsilon_{s1} = \frac{0{,}00194}{1-0{,}762}\left[0{,}762-(2\cdot 0{,}762-1)\omega\right]\cdot\left(\frac{0{,}95\cdot 0{,}762}{\omega} - 1\right) + 0 =$$

$$= \frac{0{,}0045-0{,}0093\omega + 0{,}00427\omega^2}{\omega} ;$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{0{,}00194}{1-0{,}762}\left[0{,}762-(2\cdot 0{,}762-1)\omega\right]\cdot\left(\frac{0{,}9\cdot 0{,}762}{\omega} - 1\right) + 0{,}00479 =$$

$$= \frac{0{,}00426-0{,}00435\omega + 0{,}00427\omega^2}{\omega} ;$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{0{,}00194}{1-0{,}762}\left[0{,}762-(2\cdot 0{,}762-1)\omega\right]\left(\frac{0{,}05\cdot 0{,}762}{\omega} - 1\right) + 0{,}00284 =$$

$$= \frac{0{,}000237-0{,}00353\omega + 0{,}00427\omega^2}{\omega} .$$

Предполагаем, что вся арматура работает упруго, т.е.

$$\sigma_{s1} \leqslant m_{y1}\sigma_{0{,}21} = 0{,}7\cdot 6000\cdot 10^5 = 4200\cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} \leqslant m_{y2}\sigma_{0{,}22} = 0{,}6\cdot 9000\cdot 10^5 = 5400\cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} \leqslant m_{y3}\sigma_{0{,}23} = 0{,}8\cdot 9000\cdot 10^5 = 7200\cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

По формулам (28) и (29) находим соответствующие этим напряжениям E_{ni} и ε_{ni}

$$E_{n1} = E_{s1} = 20\cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n1} = 0;$$

$$E_{n2} = E_{s2} = 19\cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n2} = 0;$$

$$E_{n3} = E_{s3} = 19\cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n3} = 0.$$

По формуле (23) выражаем напряжение в каждом стержне продольной арматуры через параметр ω .

$$\sigma_{s1} = E_{n1}(\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{n1}) = 20 \cdot 10^{10}\left(\frac{0{,}0045 - 0{,}0093\,\omega + 0{,}00427\,\omega^2}{\omega} + 0\right) =$$

$$= \left(\frac{9000 - 18600\,\omega + 8540\,\omega^2}{\omega}\right) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = E_{n2}(\varepsilon_{s2} + \varepsilon_{n2}) = 19 \cdot 10^{10}\left(\frac{0{,}00426 - 0{,}00435\,\omega + 0{,}00427\,\omega^2}{\omega} + 0\right) =$$

$$= \left(\frac{8094 - 8265\,\omega + 8113\,\omega^2}{\omega}\right) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = E_{n3}(\varepsilon_{s3} + \varepsilon_{n3}) = 19 \cdot 10^{10}\left(\frac{0{,}000237 - 0{,}00353\,\omega + 0{,}00427\,\omega^2}{\omega} + 0\right) =$$

$$= \left(\frac{450 - 6707\,\omega + 8113\,\omega^2}{\omega}\right) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Из решения уравнения равновесия продольных сил по формуле (22) находим параметр ω

$$N = R_в \cdot b \cdot h \cdot \omega - \sigma_{s1} \cdot A_{s1} - \sigma_{s2} \cdot A_{s2} - \sigma_{s3} \cdot A_{s3};$$

$$4 \cdot 10^5 = 300 \cdot 10^5 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5 \cdot \omega - \frac{9000 - 18600\,\omega + 8540\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^5 \cdot 7{,}602 \cdot 10^{-4} -$$

$$- \frac{8094 - 8265\,\omega + 8113\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^5 \cdot 6{,}158 \cdot 10^{-4} - \frac{450 - 6707\,\omega + 8113\,\omega^2}{\omega} \times$$

$$\times 10^5 \cdot 2{,}26 \cdot 10^{-4};$$

$$\omega^2 + \omega - 0{,}7151 = 0; \quad \omega = 0{,}4824.$$

По найденному ω проверяем напряжения в арматуре

$$\sigma_{s1} = \frac{9000 - 18600 \cdot 0{,}4824 + 8540 \cdot 0{,}4824^2}{0{,}4824} \cdot 10^5 = 4175 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 < \sigma_{0{,}021} =$$

$$= 4200 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = \frac{8094 - 8265 \cdot 0{,}4824 + 8113 \cdot 0{,}4824^2}{0{,}4824} \cdot 10^5 = 12427 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 > \sigma_{0{,}022} =$$

$$= 5400 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = \frac{450-6707\cdot0,4824+8113\cdot0,4824^2}{0,4824}\cdot 10^5 = -1860\cdot10^5 \text{ Н/м}^2 < |\sigma_{0,023}| =$$

$$= 7200\cdot10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Принятое предположение о том, что вся арматура работает в упругой стадии неверно для нижней напрягаемой арматуры, так как напряжение в ней $\sigma_{s2} > \sigma_{0,022}$.

С учетом найденных значений σ_{si} корректируем значения E_{ni} и ε_{ni} по формулам (28)-(31), предполагая, что нижняя напрягаемая арматура работает в стадии $\sigma_{0,022} < \sigma_{s2} \leq \sigma_{0,22}$. Так как напряжения в верхней напрягаемой и нижней ненапрягаемой арматуре меньше предела упругости, то

$$E_{n1} = E_{s1} = 20\cdot10^{10} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n1} = 0;$$

$$E_{n2} = \frac{E_{s2}}{1+\frac{0,002\,E_{s2}}{\sigma_{0,22}(1-m_{y2})}} = \frac{19\cdot10^{10}}{1+\frac{0,002\cdot19\cdot10^{10}}{9000\cdot10^5(1-0,6)}} = 9,243\cdot10^{10} \text{ Н/м}^2;$$

$$\varepsilon_{n2} = \frac{2\,m_{y2}}{1-m_{y2}}\cdot10^{-3} = \frac{2\cdot0,6}{1-0,6}\cdot10^{-3} = 0,003;$$

$$E_{n3} = E_{s3} = 19\cdot10^{10} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n3} = 0.$$

По формуле (23) вновь выражаем напряжение в каждом стержне продольной арматуры через параметр ω

$$\sigma_{s1} = 20\cdot10^{10}\cdot\left(\frac{0,0045-0,0093\,\omega+0,00427\,\omega^2}{\omega}+0\right) =$$

$$= \frac{9000-18600\,\omega+8540\,\omega^2}{\omega}\cdot10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = 9,243\cdot10^{10}\cdot\left(\frac{0,00426-0,00435\,\omega+0,00427\,\omega^2}{\omega}+0,003\right) =$$

$$= \frac{3938-1248\,\omega+3947\,\omega^2}{\omega}\cdot10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = 19\cdot10^{10}\cdot\left(\frac{0,000237-0,00353\,\omega+0,00427\,\omega^2}{\omega}+0\right) =$$

$$= \frac{450-6707\,\omega+8113\,\omega^2}{\omega}\cdot10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Подставляя значения σ_{si} в формулу (22), находим параметр ω

$$N = R_s \cdot b \cdot h \cdot \omega - \sigma_{s1} A_{s1} - \sigma_{s2} A_{s2} - \sigma_{s3} A_{s3};$$

$$4 \cdot 10^5 = 300 \cdot 10^5 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5\,\omega - \frac{9000 - 18600\,\omega + 8540\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^5 \cdot 7{,}602 \cdot 10^{-4} -$$

$$- \frac{3938 - 1248\,\omega + 3947\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^5 \cdot 6{,}158 \cdot 10^{-4} - \frac{450 - 6707\,\omega + 8113\,\omega^2}{\omega} \times$$

$$\times 10^5 \cdot 2{,}26 \cdot 10^{-4};$$

$$\omega^2 + 0{,}6456\,\omega - 0{,}4868 = 0; \qquad \omega = 0{,}446.$$

Проверяем напряжения в арматуре по вновь найденному значению ω

$$\sigma_{s1} = \frac{9000 - 18600 \cdot 0{,}446 + 8540 \cdot 0{,}446^2}{0{,}446} \cdot 10^5 = 5387 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 > \sigma_{0{,}02I} =$$

$$= 4200 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = \frac{3938 - 1248 \cdot 0{,}446 + 3947 \cdot 0{,}446^2}{0{,}446} \cdot 10^5 = 9342 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 > \sigma_{0{,}22} =$$

$$= 9000 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = \frac{450 - 6707 \cdot 0{,}446 + 8113 \cdot 0{,}446^2}{0{,}446} \cdot 10^5 = -2079 \cdot 10^5 \text{Н/м}^2 < |\sigma_{0{,}0023}| =$$

$$= 7200 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Так как вычисленные значения σ_{si} для нижней напрягаемой и ненапрягаемой арматуры не соответствуют принятой ранее их области изменения, то принимаем, что напряжения в нижней ненапрягаемой арматуре изменяются в области $\sigma_{0{,}02I} < \sigma_{s1} \leq \sigma_{0{,}2I}$, напряжения в нижней напрягаемой арматуре изменяются в области $\sigma_{0{,}22} < \sigma_{s2} \leq (0{,}85\,m_{k2} + 0{,}15)\,\sigma_{0{,}22}$, а напряжения в верхней напрягаемой арматуре изменяются в той же области $|\sigma_{s3}| < \sigma_{0{,}023}$. Тогда по формулам (28)-(33) вычисляем соответствующие этим напряжениям значения E_{ni} и ε_{ni}

$$E_{n1} = \frac{E_{s1}}{1 + \dfrac{0{,}002\,E_{s1}}{\sigma_{0{,}2I}(1 - m_{y1})}} = \frac{20 \cdot 10^{10}}{1 + \dfrac{0{,}002 \cdot 20 \cdot 10^{10}}{6000 \cdot 10^5 (1 - 0{,}7)}} = 6{,}2I \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2;$$

$$\varepsilon_{n1} = \frac{2\,m_{y1}}{1 - m_{y1}} \cdot 10^{-3} = \frac{2 \cdot 0{,}7}{1 - 0{,}7} \cdot 10^{-3} = 0{,}00467;$$

$$E_{n2} = \frac{E_{s2}}{1 + \frac{0{,}008\, E_{s2}}{0{,}85\, \sigma_{0{,}22}(m_{R2} - 1)}} = \frac{19 \cdot 10^{10}}{1 + \frac{0{,}008 \cdot 19 \cdot 10^{10}}{0{,}85 \cdot 9000 \cdot 10^{5}(1{,}4 - 1)}} = 3{,}18 \cdot 10^{10}\ \text{Н/м}^2;$$

$$\varepsilon_{n2} = \frac{9{,}7 - 1{,}7\, m_{R2}}{0{,}85(m_{R2} - 1)} \cdot 10^{-3} = \frac{9{,}7 - 1{,}7 \cdot 1{,}4}{0{,}85(1{,}4 - 1)} \cdot 10^{-3} = 0{,}0215;$$

$E_{n3} = E_{s3} = 19 \cdot 10^{10}$ Н/м^2; $\quad \varepsilon_{n3} = 0$.

По формуле (23) выражаем напряжения в каждом стержне продольной арматуры через параметр ω

$$\sigma_{s1} = 6{,}21 \cdot 10^{10} \left(\frac{0{,}0045 - 0{,}0093\,\omega + 0{,}00427\,\omega^2}{\omega} + 0{,}00467\right) =$$

$$= \frac{2795 - 2875\,\omega + 2652\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^{5}\ \text{Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = 3{,}18 \cdot 10^{10} \left(\frac{0{,}00426 - 0{,}00435\,\omega + 0{,}00427\,\omega^2}{\omega} + 0{,}0215\right) =$$

$$= \frac{1355 + 5454\,\omega + 1358\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^{5}\ \text{Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = 19 \cdot 10^{10} \left(\frac{0{,}000237 - 0{,}00353\,\omega + 0{,}00427\,\omega^2}{\omega} + 0\right) =$$

$$= \frac{450 - 6707\,\omega + 8113\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^{5}\ \text{Н/м}^2.$$

По формуле (22) находим параметр ω

$$N = R_g \cdot b \cdot h \cdot \omega - \sigma_{s1} A_{s1} - \sigma_{s2} A_{s2} - \sigma_{s3} A_{s3};$$

$$4 \cdot 10^{5} = 300 \cdot 10^{5} \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5 \cdot \omega - \frac{2795 - 2875\,\omega + 2652\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^{5} \cdot 7{,}602 \cdot 10^{-4} -$$

$$- \frac{1355 + 5454\,\omega + 1358\,\omega^2}{\omega} \cdot 10^{5} \cdot 6{,}158 \cdot 10^{-4} - \frac{450 - 6707\,\omega + 8113\,\omega^2}{\omega} \times$$

$$\times\ 10^{5} \cdot 2{,}26 \cdot 10^{-4};$$

$$\omega^2 - 0{,}1442\,\omega - 0{,}1209 = 0; \quad \omega = 0{,}427.$$

Проверяем напряжения в арматуре

$$\sigma_{s1} = \frac{2795 - 2875 \cdot 0{,}427 + 2652 \cdot 0{,}427^2}{0{,}427} \cdot 10^{5} = 4802 \cdot 10^{5}\ \text{Н/м}^2 < \sigma_{0{,}21} = 6000 \cdot 10^{5}\ \text{Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = \frac{1355+5454\cdot0,427+1358\cdot0,427^2}{0,427} \cdot 10^5 = 9207\cdot10^5 \text{ Н/м}^2 < (0,85\,m_{R2} +$$

$$+ 0,15)\,\sigma_{0,22} = 12060\cdot10^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = \frac{450-6707\cdot0,427+8113\cdot0,427^2}{0,427} \cdot 10^5 = -2189\cdot10^5 \text{ Н/м}^2 < |\sigma_{0,023}| =$$

$$= 7200\cdot10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Вычисленные напряжения в арматуре соответствуют принятым областям их изменения, и поэтому искомое значение $\omega = 0,427$.

По формуле (20) вычисляем расстояние от центра тяжести продольных стержней арматуры до равнодействующей усилий в бетоне

$$z_{s1} = h\left(\alpha_1 - \beta_0 \frac{\omega}{\omega_0}\right) = 0,5\left(0,95-0,421\cdot\frac{0,427}{0,762}\right) = 0,357 \text{ м};$$

$$z_{s2} = h\left(\alpha_2 - \beta_0 \frac{\omega}{\omega_0}\right) = 0,5\left(0,9 -0,421\cdot\frac{0,427}{0,762}\right) = 0,332 \text{ м};$$

$$z_{s3} = h\left(\alpha_3 - \beta_0 \frac{\omega}{\omega_0}\right) = 0,5\left(0,05-0,421\cdot\frac{0,427}{0,762}\right) = -0,093 \text{ м}.$$

Расстояние от продольной силы N до равнодействующей усилий в бетоне

$$z_N = h\left(0,5 - \beta_0 \frac{\omega}{\omega_0}\right) = 0,5\left(0,5-0,421\,\frac{0,427}{0,762}\right) = 0,132 \text{ м}$$

Определяем максимальную величину поперечной нагрузки p исходя из уравнения равновесия моментов внутренних и внешних сил по формуле (19)

$$p\cdot\frac{l}{3} - N\cdot z_N = \sigma_{s1} A_{s1} z_{s1} + \sigma_{s2} A_{s2} z_{s2} + \sigma_{s3} A_{s3} z_{s3};$$

$$p\cdot2,4\cdot10^5\cdot0,132 = 4802\cdot10^5\cdot7,602\cdot10^{-4}\cdot0,357+9207\cdot10^5\cdot6,158\cdot10^{-4}\times$$

$$\times 0,332+2189\cdot10^5\cdot2,26\cdot10^{-4}\cdot0,093;$$

$$p = \frac{1,303 + 1,882 + 0,046 + 0,528}{2} \cdot 10^5 = 1,88 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Пример 2.

Дано: Тот же ригель, что и в примере 1 (см.рис.8), при величине сжимающей продольной силы $N = 25\cdot10^5$ Н и $e_0 = 0$.

Требуется определить максимальное значение силы P, воспринимаемое ригелем.

Расчет

Предполагаем, что сечение полностью сжато, т.е. $\omega > \omega_0$, и по формуле (25) выражаем деформации в каждом стержне продольной арматуры ε_{si} через искомый параметр ω.

$$\varepsilon_{s1} = \frac{0,00194}{1-0,762}\cdot\left[(2\cdot0,95-1)\cdot0,762-(1-2\cdot0,762+2\cdot0,762\cdot0,95)\omega\right] + 0 =$$

$$= 0,00559-0,00753\,\omega ;$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{0,00194}{1-0,762}\cdot\left[(2\cdot0,9-1)\cdot0,762-(1-2\cdot0,762+2\cdot0,762\cdot0,9)\omega\right] +0,00479=$$

$$= 0,00976-0,00691\,\omega ;$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{0,00194}{1-0,762}\left[(2\cdot0,05-1)\cdot0,762-(1-2\cdot0,762+2\cdot0,762\cdot0,05)\omega\right]+0,00284=$$

$$= -0,00275+0,00365\,\omega .$$

Предполагая, что вся арматура работает в упругой стадии при $E_{ni} = E_{si}$ и $\varepsilon_{ni} = 0$, по формуле (23) выражаем напряжение в каждом стержне продольной арматуры через параметр ω

$$\sigma_{s1} = E_{s1}\cdot\varepsilon_{s1} = 20\cdot10^{10}\cdot(0,00559-0,00753\,\omega)=(1118-1506\,\omega)\cdot10^{5}\,Н/м^2;$$

$$\sigma_{s2} = E_{s2}\cdot\varepsilon_{s2} = 19\cdot10^{10}(0,00976-0,00691\,\omega) =(1854-1312\,\omega)\cdot10^{5}\,Н/м^2;$$

$$\sigma_{s3} = E_{s3}\cdot\varepsilon_{s3} = 19\cdot10^{10}(-0,00275+0,00365\,\omega)=(-522+693\,\omega)\cdot10^{5}\,Н/м^2.$$

Из решения уравнения равновесия продольных сил по формуле (22) находим параметр ω

$$N = R_b\cdot b\cdot h\cdot\omega - \sigma_{s1}A_{s1} - \sigma_{s2}A_{s2} - \sigma_{s3}A_{s3} ;$$

$$25\cdot10^{5}=300\cdot10^{5}\cdot0,2\cdot0,5\cdot\omega -(1118-1506\,\omega)\cdot10^{5}\cdot7,602\cdot10^{-4}-(1854-$$

$$-1312\,\omega)\cdot10^{5}\cdot6,158\cdot10^{-4}-(-522+693\,\omega)\cdot10^{5}\cdot2,26\cdot10^{-4};$$

$$47,967\,\omega = 43,351; \quad \omega = 0,9038.$$

Так как $\omega = 0,9038 > \omega_0 = 0,762$, предположение о том, что все сечение сжато, правильно.

По найденному ω проверяем напряжения в арматуре

$$\sigma_{s1} = (III80-I5060\cdot0,9038)\cdot I0^5 = -243I\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2 < \left|\sigma_{0,02I}\right| = 4200\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = (I8544-I3I29\cdot0,9038)\cdot I0^5 = 66I8\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2 > \sigma_{0,022} = 5400\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = (-5225+6935\cdot0,9038)\cdot I0^5 = I043\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2 < \sigma_{0,023} = 7200\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2.$$

Принятое предположение о том, что вся арматура работает в упругой стадии неверно для нижней напрягаемой арматуры, так как напряжение в ней $\sigma_{s2} > \sigma_{0,022}$.

С учетом найденных значений σ_{si} корректируем значения E_{ni} и ε_{ni} по формулам (28)-(3I), предполагая, что нижняя напрягаемая арматура работает в стадии $\sigma_{0,022} < \sigma_{s2} \leq \sigma_{0,22}$. Согласно проведенным в примере I вычислениям имеем

$$E_{n1} = E_{s1} = 20\cdot I0^{I0} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n1} = 0;$$

$$E_{n2} = 9,243\cdot I0^{I0} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n2} = 0,003;$$

$$E_{n3} = E_{s3} = I9\cdot I0^{I0} \text{ Н/м}^2; \quad \varepsilon_{n3} = 0.$$

По формуле (23) вновь выражаем напряжение в каждом стержне продольной арматуры через параметр ω

$$\sigma_{s1} = E_{s1}\cdot\varepsilon_{s1} = 20\cdot I0^{I0}(0,00559-0,00753\,\omega) = (III80-I5060\,\omega)\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s2} = E_{n2}(\varepsilon_{s2}+\varepsilon_{n2}) = 9,243\cdot I0^{I0}(0,00976-0,0069I\,\omega+0,003) = (II794-6387\,\omega)\times$$
$$\times I0^5 \text{ Н/м}^2;$$

$$\sigma_{s3} = E_{s3}\cdot\varepsilon_{s3} = I9\cdot I0^{I0}(-0,00275+0,00365\,\omega) = (-5225+6935\,\omega)\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2.$$

Из решения уравнения равновесия продольных сил по формуле (22) находим параметр ω

$$N = R_B\cdot b\cdot h\cdot\omega - \sigma_{s1}A_{s1} - \sigma_{s2}A_{s2} - \sigma_{s3}A_{s3};$$

$$25\cdot I0^5 = 300\cdot I0^5\cdot0,2\cdot0,5\,\omega - (III80-I5060\,\omega)\cdot I0^5\cdot7,602\cdot I0^{-4} -$$
$$- (II794-6387\,\omega)\cdot I0^5\cdot6,I58\cdot I0^{-4} - (-5225+6935\,\omega)\cdot I0^5\cdot2,26\cdot I0^{-4};$$

$$43,8I5\,\omega = 39,575; \qquad \omega = 0,9032.$$

Проверяем напряжения в арматуре

$$\sigma_{s1} = (III80-I5060\cdot0,9032)\cdot I0^5 = -2422\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2 < \left|\sigma_{0,02I}\right| = 4200\cdot I0^5 \text{ Н/м}^2;$$

$\sigma_{s2} = (11794-6387\cdot0,9032)\cdot10^5 = 6025\cdot10^5 \text{ Н/м}^2 < \sigma_{0,22} = 9000\cdot10^5 \text{ Н/м}^2;$

$\sigma_{s3} = (-5225+6935\cdot0,9032)\cdot10^5 = 1039\cdot10^5 \text{ Н/м}^2 < \sigma_{0,023} = 7200\cdot10^5 \text{ Н/м}^2.$

Вычисленные напряжения в арматуре соответствуют принятым областям их изменения.

По формуле (13) вычисляем параметр β

$$\beta = \frac{2\omega + 1}{6} = \frac{2\cdot0,9032+1}{6} = 0,4677.$$

По формуле (21) вычисляем расстояние от центра тяжести продольных стержней арматуры до равнодействующей усилий в бетоне

$z_{s1} = h(\alpha_1 - \beta) = 0,5(0,95-0,4677) = 0,241$ м;

$z_{s2} = h(\alpha_2 - \beta) = 0,5(0,9-0,4677) = 0,216$ м;

$z_{s3} = h(\alpha_3 - \beta) = 0,5(0,05-0,4677) = -0,209$ м.

Расстояние от продольной силы N до равнодействующей усилий в бетоне

$z_N = h(0,5-\beta) = 0,5(0,5-0,4677) = 0,016$ м.

Определяем максимальную величину поперечной нагрузки P исходя из уравнения равновесия моментов внутренних и внешних сил по формуле (19)

$$P\frac{l}{3} - N\cdot z_N = \sigma_{s1}A_{s1}z_{s1} + \sigma_{s2}A_{s2}z_{s2} + \sigma_{s3}A_{s3}z_{s3};$$

$$P\cdot2-25\cdot10^5\cdot0,016=-2422\cdot10^5\cdot7,602\cdot10^{-4}\cdot0,241+6025\cdot10^5\cdot6,158\cdot10^{-4}\times$$

$$\times 0,216-1039\cdot10^5\cdot2,26\cdot10^{-4}\cdot0,209.$$

$$P = \frac{0,4-0,4437+0,8014-0,049}{2} = 0,35\cdot10^5 \text{ Н}.$$

Приложение 6

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Усилия от внешних нагрузок

M – изгибающий момент;

N – продольная сила;

P – поперечная сила.

Геометрические характеристики

b – ширина прямоугольного сечения;

h – высота прямоугольного сечения;

l – пролет элемента;

e_o – эксцентрицитет продольной силы относительно геометрической оси сечения;

A_s – площадь сечения продольной арматуры;

$A_в$ – площадь всего бетона в поперечном сечении;

x – высота сжатой зоны бетона;

h_0 – расстояние от центра тяжести продольной арматуры до край него наиболее сжатого волокна сечения.

Характеристики материалов

$R_в$ – призменная прочность бетона;

$E_в$ – начальный модуль упругости бетона;

ε_y – упругая часть деформаций бетона;

ε_R – предельная деформация укорочения бетона при равномерном сжатии;

ε_o – предельная деформация крайнего, наиболее сжатого волокна бетона;

ε'_o – предельная деформация крайнего, наименее сжатого волокна бетона;

ω_o – параметр, характеризующий упругопластические свойства бетона, численно равный полноте эпюры напряжений неполностью сжатых сечений;

$\mathcal{B}_o, \mathcal{B}$ – параметры, характеризующие положение равнодействующей в бетоне сжатой зоны;

σ_s – напряжение в арматуре;

σ_{sp} – предварительное напряжение арматуры;

$\sigma_{0,02}$ – предел упругости арматуры;

$\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести арматуры;

$\sigma_{sв}$ – временное сопротивление арматуры;

E_s – модуль упругости арматуры;

ε_s – полные деформации в арматуре;

ε_{sp} – деформации в арматуре от предварительного напряжения.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
I. Общие положения и область применения	4
2. Методика экспериментальных исследований	4
3. Обработка результатов испытаний	8
4. Метод расчета прочности нормальных сечений элементов из различных видов бетонов, учитывающий фактические прочностные и деформационные характеристики	II
Приложения:	
I. Построение опытной диаграммы "$\sigma_b - \varepsilon_b$"	I7
2. Журнал испытаний бетонных призм на осевое сжатие	I8
3. Журнал испытаний бетонных призм на внецентренное сжатие	I8
4. Журнал испытаний изгибаемых элементов	I9
5. Примеры расчета прочности железобетонного ригеля прямоугольного сечения со смешанным армированием	20
6. Основные буквенные обозначения	30

Рекомендации по методике определения параметров, характеризующих свойства различных бетонов при расчете прочности нормальных сечений стержневых железобетонных элементов

Отдел научно-технической информации НИИЖБ
I09389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6

Редактор Н.А.Романова

Л - II546I Подписано в печать 20/XII-83 г. Заказ № 5
Формат 60x84/I6 Усл.кр.-отт. 2 Т-500 экз. Цена 30 коп.

Типография ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР
I2I47I, Москва, Можайское шоссе, д.25

gost.e-ecolog.ru