

Расчет и проектирование строительных конструкций

УДК 69:624.012.3/4

DOI: 10.22363/1815-5235-2017-6-25-36

ОШИБКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ НОРМ ПО ЖЕЛЕЗОБЕТОНУ И ПРАВИЛА ЕВРОКОДА

*Р.С. САНЖАРОВСКИЙ, *д.т.н., проф.*

**М.М. МАНЧЕНКО, *к.т.н., ст. науч. сотр.*

*ЕНУ им. Л.Н. Гумилева

010000, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2

**ФГУП "Крыловский государственный научный центр"

196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44; manchenko.se@gmail.com

Выявлены и исследуются три типа грубых ошибок международных норм бетона и железобетона, вызванных нарушением правил Еврокодов. Два типа – связаны с потерей мгновенной нелинейности бетона: ошибочная замена упругопластической деформации деформациями линейной ползучести бетона; подмена процесса непрерывного нагружения конструкции скачком, минуя упругопластическую стадию, из упругой стадии в пластический шарнир. Третий тип – вызван принципом наложения при ползучести бетона, состоящим в ошибочном копировании принципа линейной суперпозиции Больцмана. Статья написана в соответствии с рекомендациями круглого стола, состоявшегося в Российском университете дружбы народов 09.06.2016 под руководством д.т.н., проф. С.Н. Кривошапко.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: упругопластические деформации бетона, теория ползучести бетона, длительное сопротивление конструкций, современные строительные нормы.

«Тщательное последование порядку или, что то же, системе служит в каждой науке ручательством успеха в ней ... Отвержение системы ... служит источником превратных понятий, источником знания, которое хуже незнания, будучи знанием неправильным, отрицательным».

Игнатий Брянчанинов

Еврокод по бетону и железобетону вообрал в себя многочисленные научные разработки и опыт выдающихся ученых различных стран, мотивированную формулировку основных принципов и правил, общую теорию расчета упругопластических систем и обстоятельные экспериментальные данные. Еврокод указывает на нераздельную совокупность своих частей [1], [9], [10]:

1. Принципов и Правил применения Еврокода;
2. национального приложения (*National Annex*), реализующего эти Принципы и Правила;
3. запрещается каким-либо образом «изменять или модифицировать» установленный перечень Принципов и Правил.

Правила устанавливают фундаментальные упругопластические свойства бетона и арматуры, способы описания этих свойств, методы их использования в расчетах конструкций (часть I):

1. основным предельным состоянием является «потеря статического равновесия конструкции ..., когда прочность материалов конструкции обычно не играет роли» (Принципы проектирования по предельным состояниям содержатся в *EN 1990*. Раньше в СССР сущность метода расчета по предельным состояниям была сформулирована в виде: выполнять «анализ всего процесса перехода конструкции в предельное состояние в его последовательном развитии»);

2. непрерывно сохраняются условия равновесия железобетонной конструкции на всех этапах ее нагружения;

3. непрерывно выполняются условия совместности деформаций бетона и арматуры;

4. для определения напряженно-деформированного состояния железобетонных сечений привлекается гипотеза плоских сечений и гипотезы пп. 5, 6, 7;

5. считаются известными для случая неоднородного напряженного состояния упругопластические диаграммы σ - ε ограниченной протяженности для бетона и арматуры, позволяющие по известным деформациям найти напряжения в различных точках сечения;

6. считается обоснованным указанные в п. 5 диаграммы получать из опытов по однородному напряженному состоянию простого сжатия и растяжения (для описания этих диаграмм предложены различные аналитические зависимости, в том числе *Sargina M.* (Канада) с ниспадающим участком);

7. сопротивление бетона растяжению можно не учитывать;

8. используется приближенное значение кривизны изогнутой оси элемента конструкции.

Реализация (часть II) перечисленной выше совокупности не состоит только в её цитировании, но эта реализация имеет свой математический порядок:

а. формулировка совокупности Принципов и Правил;

б. математическая реализация совокупности в конкретном расчете конструкции;

в. построение вычислительной механики расчета данной конструкции, в том числе исследование «ряда формальных процедур, например, такие атрибуты, как сходимость, устойчивость, оценка точности решения»;

г. проведение численных экспериментов;

д. анализ результатов расчета и формулировка удобных для проектировщика нормативных схем;

е. примеры применения этих схем.

Разработчики Еврокода продемонстрировали образец этой реализации (часть I + часть II), и построили график, приведенный на рисунке 1, для расчета внецентренно сжатых бетонных конструкций [2].

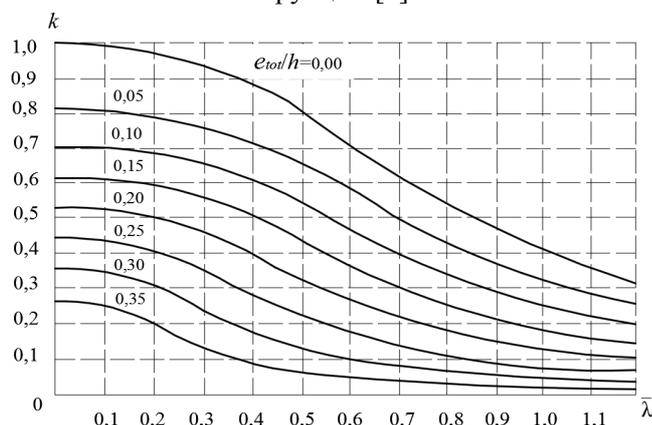


Рис. 1. График расчета внецентренно сжатых бетонных конструкций

По оси абсцисс обычно располагают длину колонны L , либо гибкость λ , либо условную гибкость $\bar{\lambda}$. По оси ординат откладывают продольную силу сжатия P , либо коэффициент продольного изгиба k . Положение каждой кривой на диаграмме определяется относительным e/h (либо приведенным m) эксцентриситетом, либо относительным начальным прогибом f_{00}/L , либо относительной величиной поперечной нагрузки.

Изменение расчетной схемы сжатия конструкции может существенно изменить характер поведения кривых предельных состояний. Например, для сжато-изогнутых конструкций с начальной погибью, также при наличии поперечной нагрузки, поведение кривых предельной несущей способности, рисунок 2, существенно отличается от данных рисунка 1: при нулевой длине ($\lambda=0$) все кривые сходятся в одной точке $k=1$, давая более экономичные решения расчета конструкций. В области малых гибкостей отличия несущей способности составляют несколько раз. Это обстоятельство свидетельствует о том, что формальная подмена лишь расчетной схемы колонны может привести к существенным неэкономичным решениям.

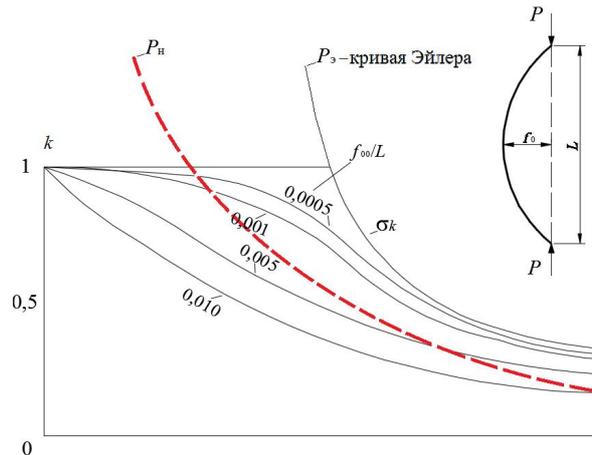


Рис. 2. График расчета сжато-изогнутых бетонных конструкций с начальной погибью

В нормативных методах расчета часто делается подмена (без необходимых разъяснений) модели внецентренно-изогнутого стержня моделью сжато-изогнутого и наоборот. Такая замена расчетных моделей сопряжена с получением достаточно существенных различий и неэкономичных решений в результатах проектирования [1], [11], [12].

Следует обратить внимание, что при изменении вида диаграммы σ - ϵ бетона и арматуры, характер поведения кривых по рисункам 1, 2 не изменяется; он также не изменяется при изменении вида поперечного сечения конструкции. Однако расположение на диаграмме кривых относительно друг друга при этом заметно меняется: например, форма поперечного сечения колонны оказывает существенное влияние на значения предельных сил, различие в которых может достигать до 90 %. Обратим внимание, что диаграммы на рисунках 1, 2 полностью соответствуют по Еврокоду упругопластической теории работы сжатоизогнутой конструкции; справа упругопластическая стадия работы ограничена упругой кривой Эйлера, указанной на рисунке 2.

В данной статье мы рассмотрим три типа грубых ошибок: два из них – по расчету несущей способности в области кратковременного нагружения железобетонных конструкций, учитывающей только мгновенные нелинейные свойства бетона и арматуры; третий тип – содержится в принципе наложения, на котором основана вся теория длительного сопротивления железобетона.

Система Правил и Принципов Еврокода (для случая кратковременного нагружения) является полной и независимой, то есть отдельные Правила не являются частным случаем или следуют из других Правил этой системы.

Выявляются два варианта нарушения этой системы: подмена либо одного из правил системы, либо подмена системы в целом.

Первый вариант ошибки. Нормы грубо искажают значение пластической составляющей деформации ε_n , присутствующей в значении полной мгновенной деформации $\varepsilon_M = \varepsilon_l + \varepsilon_n$, рис. 3. [5], [7].

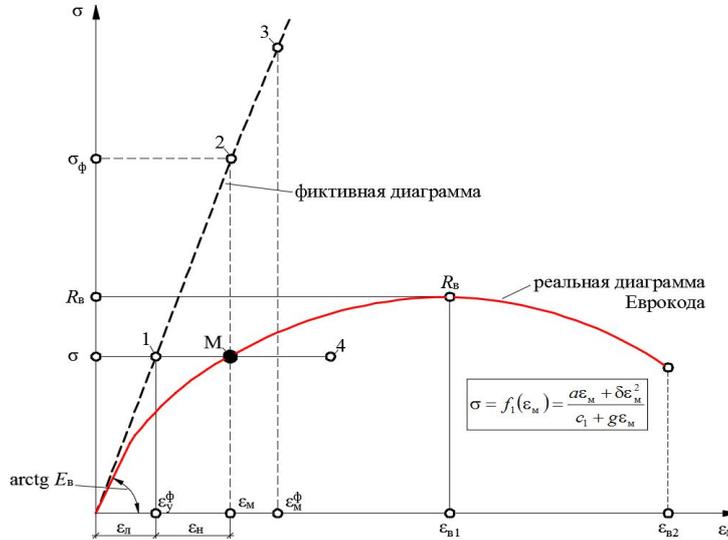


Рис. 3. Искажение диаграммы σ - ε бетона

Пластическая деформация Еврокода ε_n подменяется, вопреки очевидной целесообразности, и определяется с помощью математических уравнений линейной теории ползучести бетона, совместно с присущими этой теории ошибками. Основное уравнение для деформации $\varepsilon_\sigma(t)$ в результате напряжения σ записывается в виде (сохранены оригинальные обозначения [3], [4], [5])

$$\varepsilon_\sigma(t) = \sigma(t_0)I(t, t_0) + \int_{t_0}^t I(t, t')d\sigma(t'). \quad (1)$$

Здесь t – рассматриваемое время, t' – время приложения «удельного длительного одноосно приложенного» напряжения $\sigma(t')$.

«Функция податливости» $I(t, t')$ в этом уравнении является суммой упругой деформации и деформации ползучести

$$I(t, t') = \frac{1}{E_c(t')} + \frac{\phi(t, t')}{E_c(t')},$$

где $E_c(t')$ – модуль упругости бетона; $\phi(t, t')/E_c(t') = C(t, t')$;

$\phi(t, t')$ – характеристика ползучести бетона; $C(t, t')$ – мера ползучести бетона.

Последняя записывается в виде суммы:

$$C(t, t') = C_n(t, t') + C_o(t, t'). \quad (2)$$

Здесь $C_n(t, t')$ предназначено для нахождения той части деформации (подменяющей собой пластическую мгновенную деформацию) $\varepsilon_n(t)$, которая проявляется при малых значениях $(t-t')$, определяемых секундами и минутами – например, до 1 мин.; $C_o(t, t')$ предназначено для нахождения деформации линейной ползучести $\varepsilon_n(t)$ при значениях $(t-t')$, определяемых сутками и годами («явление медленно протекающих деформаций бетона»).

Из множества различных выражений, предложенных для описания (2), мы (для наглядности последующего анализа ошибок) в дальнейшем подробно рассмотрим одно из известных выражений Мак-Генри, Александровского С.В. [8]:

$$C(t, t') = A_4 \left[1 - e^{-\alpha(t-t')} \right] + A_3 \left[1 - e^{-\gamma(t-t')} \right]. \quad (3)$$

Следует иметь в виду, что усложнение выражений, предназначенных для описания (2), повышает лишь порядок дифференциального уравнения задачи, но не изменяет сущность проводимого анализа ошибок, в частности, нарушения принципа независимости действия сил (принцип наложения) – фундамента любой теории ползучести.

Рассмотрим интервал времени $t - t' \leq 1$ мин, на котором деформацию ползучести $\varepsilon_n(t)$ можно считать равной нулю, так как для проявления ползучести бетона необходим минимальный интервал $t - t' \leq 24 \cdot 60 = 1440$ мин, виду принятого масштаба описания $C_0(t, t')$. На интервале времени $t - t' \leq 1$ мин уравнение (1) примет вид:

$$\varepsilon_n(t) = \sigma(t_0)I_n(t, t_0) + \int_{t_0}^t I_n(t, t') d\sigma(t'), \quad (4)$$

где
$$I_n(t, t') = \frac{1}{E_c(t')} + \frac{\phi_n(t, t')}{E_c(t')} = \frac{1}{E_c(t')} + C_n(t, t').$$

После очевидных преобразований запишем из (4) основной закон мгновенного упругопластического деформирования бетона

$$\varepsilon_M(t) = \frac{\sigma(t)}{E_c(t)} - \int_{t_0}^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \frac{1}{E_c(\tau)} - \int_{t_0}^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C_n(t, \tau) d\tau, \quad (5)$$

соответствующих ряду известных международных норм.

Пластические деформации бетона, описываемые последним слагаемым в (5), носят название «быстронатекающей ползучести», которое часто используется в научных публикациях многих известных ученых. Известны и другие названия, например «минутная ползучесть», «начальный крутой подъем кривых ползучести» и т.д.

Использованием зависимости (5) отвергается нелинейная упругопластическая зависимость (3.14) Еврокода 2:

$$\frac{\sigma_c}{f_{ct}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}, \quad (6)$$

где $\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$, а также грубо искажается расчет реальных конструкций: диаграмма по рисунку 1.

Из этой зависимости (6) $\sigma_c = f_1(\varepsilon_c)$ (для получения обратной функции $\varepsilon_c = f_2(\sigma_c)$ можно воспользоваться рядом Лагранжа) имеем:

$$\varepsilon_M = \varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c} + B_2 \sigma_c^2 + \dots, \quad (7)$$

где
$$B_2 = \frac{E_c \left(\frac{E_c}{f_{ct}} - \frac{2}{\varepsilon_{c1}} \right) + \frac{f_{ct}}{\varepsilon_{c1}^2}}{E_c^3};$$

первое слагаемое σ_c/E_c описывает мгновенные упругие деформации; остальные слагаемые в алгебраической форме дают значения мгновенной пластической деформации бетона, причем достаточно ограничиться вторым слагаемым $B_2 \sigma_c^2$.

Сопоставление (5) и (7) показывает, что нарушение правил Еврокода в международных нормах без надобности осложняет математическое описание пластических деформаций и не дает никакого положительного результата [6].

Во-первых, запись в виде линейного интегрального уравнения (5) не может описать мгновенного нелинейного упругопластического деформирования бетона. Во-вторых, в записи (5) содержатся две грубые ошибки: первые два слагаемых неверно описывают свойство линейных (потенциальных) сил, исходя из правил аналитической механики, так как второе слагаемое является лишним – используемая форма принципа наложения нестационарных линейных сил неверна; в третьем слагаемом (5) также содержится ошибка, состоящая в следующем.

Найдем скорость деформации $\dot{\epsilon}_H(t)$:

$$\dot{\epsilon}_H(t) = \dot{\sigma}(t) \cdot C_H(t, \tau) + \sigma(\tau) \frac{\partial C_H(t, \tau)}{\partial \tau} + \sigma(\tau) \frac{\partial C_H(t, \tau)}{\partial t},$$

и её величину

$$\epsilon_H(t) = \sigma(t_0) \cdot C_H(t, t_0) + \int_{t_0}^t \dot{\sigma}(\tau) \cdot \partial C_H(t, \tau) \partial \tau + \int_{t_0}^t \sigma(\tau) \cdot \frac{\partial C_H(t, \tau)}{\partial \tau} \partial \tau.$$

После преобразований имеем:

$$\epsilon_H(t) = \int_{t_0}^t \sigma(\tau) \cdot \frac{\partial C_H(t, \tau)}{\partial \tau} \partial \tau. \quad (8)$$

Последнее слагаемое в (5) и выражение (8) не отличаются друг от друга только при использовании разностных ядер, что характеризует соответствующий принцип наложения.

Выявляются еще три дефекта, возникающие от ошибочной идеи (2). Первый дефект состоит в искажении экспериментальных данных по мгновенным диаграммам сжатия бетона. С 1899 года известные во всем мире ученые (Риттер, Франк, Залигер, Бах, Шюле, Эмпергер и др.) подчеркивали мгновенную нелинейность бетона, описывали её аналитически, четко разделяя деформации упругие, пластические и деформации ползучести. С появлением же ошибочной идеи, записанной нами в виде (5), резко изменились высказывания в научных изданиях: «Бетон часто рассматривается как материал в значительной степени неупругий, во всяком случае, не следующий закону Гука ... поэтому нередко считают модуль упругости бетона величиной переменной, убывающей по мере роста напряжений ... К счастью, это не так. Отличия от закона Гука для бетона объясняются влиянием времени ... Путем экстраполяции получается «кривая мгновенных деформаций», которая оказывается четко прямолинейной».

А как же обстоятельные эксперименты *Yoschida* 1930 г., рис. 4, как же иные многочисленные эксперименты, обосновавшие Еврокод 2.

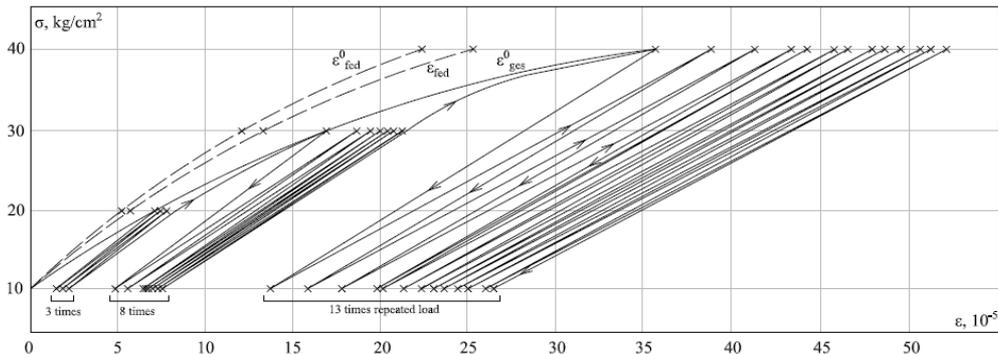


Рис. 4

Появляется версия ряда работ о скоростном нагружении бетона: «Под упруго-мгновенными следует понимать деформации, развивающиеся под действием статической нагрузки с весьма большой скоростью». Здесь игнорируется тот факт, что скоростное нагружение бетона – это другая научная проблема (*Watsteen, Hatana, Susumu*, Майоров, Шарипов и др.). В этой проблеме рассматривается диаграмма динамического нагружения бетона, соответствующая импульсивному нагружению конструкций в динамических задачах. В конце концов появилось формальное утверждение об абстрактных экспериментах: «мгновенные деформации линейно связаны с напряжениями и соответственно модуль упруго-мгновенных деформаций не зависит от значения и знака напряжений».

Второй дефект обнаруживается при использовании ошибочной идеи (2), (5) для расчета упругопластических конструкций, представленных на рисунках 1, 2. Рассмотрим поучительный пример продольного изгиба сжатой колонны в промежутке времени нескольких минут, когда успевает проявиться только первое слагаемое в (2), и деформирование бетона определяется уравнением (5). В соответствии с известными решениями Ржаницына А.Р., Работнова Ю.Н., Бунятяна Л.Б., Прокоповича И.Е. и других ученых, критическая сила продольного сжатия определяется формулой:

$$P_n = P_0 \frac{1}{1 + \phi_n(t_0, \infty)}.$$

В соответствии с данными рис. 3 о соотношениях $\varepsilon_y, \varepsilon_n, \varepsilon_m$, принимаем значение характеристики $\phi_n(t, \infty) \cong 1$. Соответствующая кривая на рис. 2 для значений силы P_n показана пунктирной линией. Сравнивая поведение этой кривой, например, с кривой, соответствующей значению $f_{00}/L = 0,0005$, мы видим, что при уменьшающихся и стремящихся к нулю значениях гибкости, значение силы P_n устремляется к бесконечности, что отвергается и экспериментами над кратковременным нагружением реальных колонн, и здравым смыслом. Этот результат в теории железобетона известен давно после экспериментальных и теоретических работ *L. Baes* 1927 года.

Третий дефект обнаруживается при условии преобразования интегральной формы уравнения (1) к дифференциальному виду с учетом записи (2). Предложено много выражений $C(t, t')$, предназначенных для аппроксимации удельной деформации ползучести. В этих предположениях не учитывается важное обстоятельство: в большинстве выражений среди прочих сил, участвующих в формировании деформаций ползучести, возникают силы, пропорциональные полному ускорению $\ddot{\varepsilon}_\sigma(t)$, что несовместимо с ньютоновой механикой. Сила σ может быть функцией от положения (координаты), скорости, времени, других величин. Если же присутствует (среди прочих) сила σ , пропорциональная ускорению $\ddot{\varepsilon}_\sigma(t)$, то оказывается нарушенным принцип независимости действия сил. Парс Л. давно показал неприменимость таких сил в задачах механики, в частности, в разработках Биркгофа Д.

Чтобы установить наличие сил, пропорциональных $\ddot{\varepsilon}_\sigma(t)$, необходимо уравнение (1) привести к дифференциальной форме.

К примеру, с учетом (3) получаем:

$$a_2 \ddot{\varepsilon}_\sigma(t) + a_1 \dot{\varepsilon}_\sigma(t) + a \varepsilon_\sigma(t) = b_2 \ddot{\sigma}(t) + b_1 \dot{\sigma}(t) + b \sigma(t), \quad (9)$$

где $a_2 = E_c$; $a_1 = (\alpha + \gamma)E_c$; $a = \alpha\gamma E_c$; $b_2 = 1$; $b_1 = (\alpha + \gamma) + E_c A_4 \alpha + E_c A_3 \gamma$;
 $b = (1 + E_c A_4 + E_c A_3) \alpha \gamma$.

Из (9) находим $\sigma(t)$: $\sigma(t) = \mu \ddot{\varepsilon}_\sigma(t) + F_1$, где

$$\mu = \frac{a_1}{b}; \quad F_1 = \frac{a_1}{b} \dot{\varepsilon}_\sigma(t) + \frac{a}{b} \varepsilon_\sigma(t) - \frac{b_2}{b} \ddot{\sigma}(t) - \frac{b_1}{b} \dot{\sigma}(t).$$

Записываем основное уравнение динамики, свидетельствующее о нарушении принципа независимости действия сил

$$m\ddot{\varepsilon}_\sigma(t) = \sigma(t) = \mu\ddot{\sigma}(t) + F_1, \quad \text{где } m - \text{масса.}$$

При предположении о переменных $A_3(\tau)$, $A_4(\tau)$ и устранении математических ошибок, перечисленных выше, также при использовании меры ползучести Мак-Генри, имеем аналогичный результат, свидетельствующий о нарушении принципа наложения.

Второй вариант ошибки. Ввиду сложности и затратности реализации совокупности а-е (часть II Еврокода, см. выше), национальные органы стандартизации ряда стран относят её к задачам рядовых проектировщиков, хотя основной перечень 1-8 может излагаться и отдельным изданием. Такая незатратность (помимо нарушения Еврокода) перетекает в громадную неэкономичность конструкций в реальном строительстве, и которая ложится на плечи потребителей норм. В национальном же приложении используется добавочный (иной) перечень правил, отвергающий систему 1-8 Еврокода, и с её точки зрения – ошибочный. Добавочный перечень правил приставляется к основному перечню и таким способом замещает его:

9. бетон и арматура наделяются свойством неограниченной текучести (по *V.G. Neal* – пластическое течение);
10. за основную расчетную модель сечения принимается пластический шарнир, невозможный в железобетонных конструкциях – рисунки 1, 2;
11. бетон и арматура также наделяются, одновременно с неограниченной текучестью, свойством неограниченной упругости при растяжении и сжатии;
12. из теории упругой устойчивости заимствуется модель колонны с бесконечными прогибами и напряжениями (Тимошенко С.П.);
13. связь несовместимых между собой (по Эмпергеру) расчетных моделей осуществляется введением удивительной гипотезы – упругая модель мгновенно перескакивает в модель пластического шарнира: здесь скачком у упругой колонны исчезает длина, а у колонны с пластическим шарниром и без длины появляется бесконечный прогиб, нарушается непрерывность процесса метода предельных состояний;
14. упругие свойства железобетона искажаются из-за подмены жесткости сечения, либо модуля упругости (фундамента теории) некоторой условной величиной;
15. величина условного модуля упругости (также условной жесткости) определяется с ошибкой ввиду неверного анализа сути экспериментальной модели.

Схема и последовательность реализации второго варианта ошибки демонстрируется на рисунке 5. На нем представлены три типа совершенно разных тел, отличающихся по физическим и геометрическим свойствам. Кривая I на левой стороне рисунка характеризует типичную зависимость «сила-прогиб» колонны длиной L выполненной из неограниченно упругого материала; все кривые имеют предельные силу P_y и бесконечный прогиб f_y .

Правая сторона рисунка представляет типичную для железобетона диаграмму *OABL* Еврокода; произвольная точка $M_{оп}$ связывает между собой три величины: $e_{оп}$, $L_{оп}$, $P_{оп}$ (опытные, либо теоретические); P_T – прочность колонн при осевом сжатии. Средняя вертикальная линия II характеризует все колонны с пластическими шарнирами, возможными только при выполнении правила 9 и отсутствии у колонн длины ($L = 0$).

Горизонтальные стрелки S_1, S_3, S_4 показывают направления перескоков между двумя различными (по физическим и геометрическим параметрам) телами I и II.

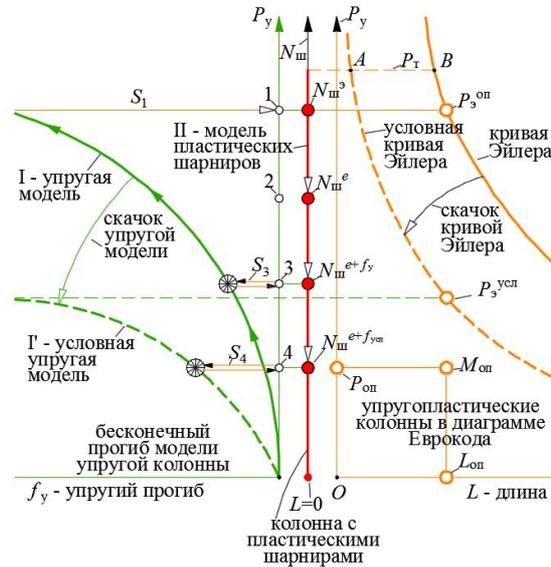


Рис. 5. Система подмены упругопластической диаграммы Еврокода

Вертикальные стрелки $N_{ш}^э N_{ш}^e$, $N_{ш}^e N_{ш}^{e+f_y}$, $N_{ш}^{e+f_y} N_{ш}^{e+f_{yсл}}$ показывают направления перескоков в модели пластических шарниров. Здесь сила $N_{ш}^e$ соответствует пластическому шарниру с заданным эксцентриситетом $e_{ш} = e_{оп}$; она сильно завышает продольную силу в сравнении с заданной силой $P_{оп}$. Ввиду этого в шарнире увеличивается эксцентриситет $e_{ш} = e_{оп} + f_y$ на величину прогиба упругой модели. Получаемая сила $N_{ш}^{e+f_y}$ также сильно превышает заданную силу $P_{оп}$.

Ввиду последнего, организуется скачок упругой модели I путем склонения её в положение I' с названием условная упругая модель. Для целей скачка приравниваются:

- момент упругой колонны: $M_y = P_y \frac{e_y}{1 - P_y / P_3}$;
 - момент колонны с пластическим шарниром: $M_{ш} = N_{ш} e_{ш}$,
- а также их продольные силы.

Из значения P_3 находится жесткость упругой колонны

$$D_y = \frac{P_y L_y^2}{1 - \frac{P_y}{M_{ш}} e_y} \frac{1}{\pi^2}.$$

В эту формулу подставляются экспериментальные данные $e_{оп}$, $L_{оп}$, $P_{оп}$; получается значение условной жесткости

$$D_{усл} = \frac{P_{оп} L_{оп}^2}{1 - \frac{P_{оп}}{M_{ш} P_{оп}} e_{оп}} \frac{1}{\pi^2}.$$

Из структуры данного выражения видно, что при вычислении значений $D_{усл}$ необходимо учитывать значения трех параметров

$$D_{\text{усл}} = D_{\text{усл}}(P, L, e),$$

с соответствующими оценками их значимости. В противном случае мы получим слишком грубые, ненадежные и неэкономичные результаты расчетов.

В большинстве же современных норм, основанных не на Еврокоде, а на использовании условной жесткости, это обстоятельство не учитывается, что является достаточно грубой ошибкой. В некоторых эмпирических формулах зафиксированы постоянные значения $P = C_1$ и $L = C_2$, и использован вырожденный и ошибочный вид условной жесткости

$$D_{\text{усл}} = D_{\text{усл}}(C_1, C_2, e),$$

что не соответствует существующим экспериментальным данным с разбросом $\pm 50\%$, рис. 6.

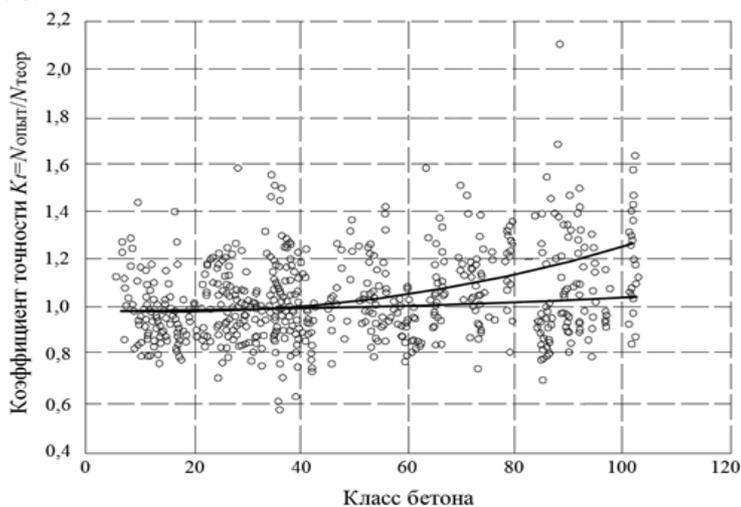


Рис. 6

Нижняя жирная линии на этом рисунке соответствует случаю

$$D_{\text{усл}} = D_{\text{усл}}(C_1, C_2, C_3) = \text{const}.$$

Данные экспериментов по кратковременному сжатию железобетонных колонн, приведенные на рисунке 6, дополняют требования о необходимости строгого исполнения системы Еврокодов. С иной точки зрения они свидетельствуют о несостоятельности тех приемов различных национальных и межнациональных норм, которыми пытаются подменить фундаментальные упругопластические свойства железобетонных конструкций, тщательно исследованные и утвержденные Еврокодом, а также согласованными с *ISO*.

Следует заметить, что помимо изготовления части I и части II норм и проведения необходимых математических разработок, ведущие страны Европы также разрабатывают обстоятельные руководства для проектировщиков по практическому применению правил Еврокода 2, например [9].

Третий тип ошибки возникает вследствие соединения несовместимых между собой нестационарных вязкоупругих свойств бетона (переменный во времени модуль упругости, учет факторов старения бетона) и принципа суперпозиции Больцмана. В результате соединения, в (1), под знаком интеграла утеряны четыре слагаемых, обусловленных необходимостью учитывать скорость изменения функции податливости $I(t, t')$. Кроме того, к деформациям ползучести ошибочно причислены упругие деформации, вызванные изменением во времени модуля упругости бетона. Погрешность принципа наложения существенно возрастает при традиционном способе учета нелинейной ползучести бетона.

Исследованию этих вопросов мы посвятим отдельную статью путем сопоставления свойств принципа наложения и принципа суперпозиции Больцмана.

© Санжаровский Р.С., Манченко М.М. 2017

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Rybnov E, Sanzharovsky R., Figovsky O., Beilin D. Durability and Efficiency of Reinforced Concrete Structures // Scientific Israel – Technological Advantages. Vol. 12. № 2.
2. CEB, CEB-FIP Model Code 1990 / CEB Bulletin d'Information № 213/214, Comite Euro-International du Beton, Lausanne, Switzerland, 1993. 437 p.
3. Chiorino M.A. Analysis of structural effects of time – dependent behavior of concrete: an internationally harmonized format // Concrete and Reinforced concrete – Glance at Future. III All Russian (International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete, Moscow – 2014. Vol.7, plenary papers. P. 338—350.
4. fib, Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst & Sohn.2013. 402 p.
5. ACI 209.3R-XX, Analysis of Creep and Shrinkage Effects on Concrete Structures, Final Draft, Chiorino M.A. (Chairm. of Edit. Team), ACI Committee 209. March 2011. 228 p.
6. Санжаровский Р.С., Манченко М.М. Ошибки в теории ползучести железобетона и современные нормы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 3. – С. 25—32.
7. Sanjarovsky R., Manchenko M. Creep of concrete and its instantaneous nonlinearity of deformation in the structural calculations // Scientific Israel – Technological Advantages. 2015. Vol. 17. № 1-2. P. 180—187.
8. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., and Manchenko M. (2015) Creep of Concrete and Its Instant Nonlinear Deformation in the Calculation of Structures. CONCREEP 10. P. 238—247.
9. International Organization for Standardization (1998) General Principles on the Reliability of Structures. ISO, Geneva, ISO 2934.
10. Designer's Guide to Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992-1-1 and EN 1992-1-2. General rules and rules for buildings and structural fire design. R. S. Narayanan and A. Beeby. 2005. 232 p.
11. Рыбнов Е., Санжаровский Р., Звездов А. Дефекты национальных стандартов по железобетону. Как их устранить в свете требований Еврокодов // Строительная газета. 2011. № 24. – С. 4—5.
12. Rybnov E, Sanzharovsky R., Figovsky O., Beilin D. On the Durability of Reinforced Concrete Structures // Scientific Israel – Technological Advantages. 2011. Vol. 13. № 4.

Поступила в редакцию 9 марта 2017 г. Прошла рецензирование 12 сентября 2017 г.

Принята к публикации 18 октября 2017 г.

Об авторах:

САНЖАРОВСКИЙ РУДОЛЬФ СЕРГЕЕВИЧ окончил Ленинградский инженерно - строительный институт, д.т.н., профессор. Место работы: Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, главный научный сотрудник. Область научных интересов: разработка теории ползучести бетона с учетом мгновенной и длительной нелинейности, а также их учет в расчетах конструкций. Адрес: 010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2.

МАНЧЕНКО МАКСИМ МИХАЙЛОВИЧ окончил Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, к.т.н. Место работы: ФГУП «Крыловский научный центр», старший научный сотрудник. Область научных интересов: ползучесть бетона с учетом мгновенной и длительной нелинейности; прочность корпусных конструкций кораблей из полимерных композиционных материалов. Адрес: 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44

Для цитирования:

Санжаровский Р.С., Манченко М.М. Ошибки международных норм по железобетону и правила Еврокода // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 6. – С. 25—36. Doi: 10.22363/1815-5235-2017-6-25-36.

References

1. Rybnov, E, Sanzharovsky R., Figovsky, O., Beilin, D. (2010) Durability and Efficiency of Reinforced Concrete Structures. *Scientific Israel– Technological Advantages*. Vol. 12, № 2.
2. CEB, CEB-FIP Model Code 1990? CEB Bulletin d'Information №213/214, Comite Euro-International du Beton, Lausanne, Switzerland, 1993. 437 p.

3. Chiorino M.A. (2014) Analysis of structural effects of time – dependent behavior of concrete: an internationally harmonized format. *Concrete and Reinforced concrete – Glance at Future. III All Russian (International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete*, Moscow, 2014, Vol.7, plenary papers. 338—350.
4. fib, Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst & Sohn, 2013/ 402 p.
5. ACI 209.3R-XX, Analysis of Creep and Shrinkage Effects on Concrete Structures, Final Draft, Chiorino M.A. (Chairm. of Edit. Team), ACI Committee 209. March 2011. 228 p.
6. Sanjarovsky, R., Manchenko, M. (2016). Errors in the theory of creep of reinforced concrete and modern norms. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. No 3. 25—32. (In Russ.)
7. Sanjarovsky, R., Manchenko, M. (2015) Creep of concrete and its instantaneous non-linearity of deformation in the structural calculations. *Scientific Israel – Technological Advantages*. Vol. 17, № 1-2. 180—187.
8. Sanjarovskiy, R., Ter-Emmanuilyan, T., and Manchenko, M. (2015) Creep of Concrete and Its Instant Nonlinear Deformation in the Calculation of Structures. *CONCREEP 10*. P. 238—247.
9. International Organization for Standardization (1998) General Principles on the Reliability of Structures. ISO, Geneva, ISO 2934.
10. Designer’s Guide to Eurocode 2: Design of Concrete Structures. EN 1992-1-1 and EN 1992-1-2. General rules and rules for buildings and structural fire design. R. S. Narayanan and A. Beeby. 2005. 232 p.
11. Rybnov, E, Sanzharovsky, R., Zvezdov, A. (2011). Defekty nacional'nyh standartov po zhelezobetonu. Kak ih ustranit' v svete trebovaniy Evrokodov. *Stroitel'naya gazeta*. № 24. 4—5. (In Russ.)
12. Rybnov, E, Sanzharovsky, R., Figovsky, O., Beilin, D. (2011) On the Durability of Reinforced Concrete Structures. *Scientific Israel – Technological Advantages*. Vol. 13. № 4.

ERRORS OF INTERNATIONAL STANDARDS ON REINFORCED CONCRETE AND RULES OF THE EUROCODE

R.S. SANZHAROVSKIY*, M. MANCHENKO**

*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

**Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

The proposed work identified and analyzed the errors in the theory of viscoelasticity of concrete in international norms for concrete and reinforced concrete, new equations of the theory of creep of concrete, taking into account the instant nonlinearity, nonlinear creep and inertial properties of concrete. The results of the study are brought to the charts and tables, convenient for use by ordinary designers. The article was written in accordance with the recommendations of the round table, held at RUDN University on June 9, 2016 under the guidance of Doctor of Technical Sciences, prof. S.N. Krivoshapko.

KEY WORDS: elastoplastic deformation of concrete, theory for concrete creep, sustained resistance of the building structures, modern building regulations.

Article history: Received: March 9, 2017. Revised: September 12, 2017. Accepted: October 18, 2017.

About the authors:

SANZHAROVSKIY RUDOLF graduated from Leningrad Institute of Construction Engineering; Grand Ph.D., Prof. Duty station: L.N.Gumilyov Eurasian National University, Principal Researcher. Research Interests: the development of the theory of creep of concrete with allowance for instantaneous and long-term nonlinearity, as well as their accounting in the calculations of structures. Address: 2 Mirzoyan str., Astana, 010008, Republic of Kazakhstan.

MANCHENKO MAXIM graduated from Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Ph.D. Duty station: Krylov State Research Centre, Senior Researcher. Research Interests: Creep of concrete taking into account instantaneous and long-term nonlinearity; strength of hull structures of vessels made of composite materials. Address: 44 Moskovskoe shosse, St. Petersburg, 196158, Russian Federation.

For citation:

Sanzharovskiy R.S., Manchenko M.M. (2017) Errors of international standards on reinforced concrete and rules of the Eurocode. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. No 6. 25—36. Doi: 10.22363/1815-5235-2017-6-25-36. (In Russ.)