



DOI 10.22363/1815-5235-2021-17-5-455-465

УДК 624.012

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH ARTICLE

Публикуется в порядке обсуждения.

Редакция

## Теория расчета железобетонных конструкций и принципы Еврокода

Р.С. Санжаровский<sup>1</sup> , Ф. Зибер<sup>2</sup>, Т.Н. Тер-Эммануильян<sup>3</sup>  

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Институт Лейбница по междисциплинарным исследованиям, Берлин, Федеративная Республика Германия

<sup>3</sup>Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация

 tanya\_ter@mail.ru

### История статьи

Поступила в редакцию: 12 июля 2021 г.

Доработана: 4 октября 2021 г.

Принята к публикации: 13 октября 2021 г.

**Аннотация.** Анализируется теория расчета железобетона, который, при громадных объемах применения и огромных финансовых затратах, имеет из-за большой сложности его нелинейных свойств удивительно ненаучную теорию расчета, состоящую из двух частей: кратковременного и длительного нагружения. Проблеме заблуждений теории расчета железобетона посвящена работа ряда круглых столов, проведенных в Российском университете дружбы народов по инициативе и под руководством известных ученых: В.М. Бондаренко, С.Н. Кривошапко, В.В. Галишниковой (последний состоялся в 2020 г.), с большим числом участников, авторитетных ученых России и других стран. Показано, что теория расчета железобетонных конструкций, имеющих массовое применение (при длительном нагружении во всем мире), включает в себя пять не соответствующих друг другу (среди них ошибочных) теорий, суть которых и один постулат изложены в работе. Используя правила математики, принципы механики и результаты солидных экспериментов выявлено, что анализируемая теория содержит набор отвергающих друг друга положений различного назначения, в том числе ошибочных.

**Ключевые слова:** теория ползучести бетона, принцип наложения, мгновенные упругие деформации, длительное сопротивление железобетона, современные строительные нормы, принципы Еврокода

### Для цитирования

Санжаровский Р.С., Зибер Ф., Тер-Эммануильян Т.Н. Теория расчета железобетонных конструкций и принципы Еврокода // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. Т. 17. № 5. С. 455–465. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-5-455-465>

**Санжаровский Рудольф Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан, 010000, Нур-Султан, ул. Кажымукана, д. 11; ORCID: 0000-0002-7412-3789, Scopus Author ID: 56926674200, eLIBRARY SPIN-код: 9723-0539; milasanj@gmail.com

**Зибер Фридер**, доктор технических наук, профессор, Институт Лейбница по междисциплинарным исследованиям, Федеративная Республика Германия, 12489, Берлин, ул. Альберта Эйнштейн, д. 16; dr.f.sieber@web.de

**Тер-Эммануильян Татьяна Николаевна**, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики, Российский университет транспорта, Российская Федерация, 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9; ORCID: 0000-0002-4723-8193, Scopus Author ID: 25638119000, eLIBRARY SPIN-код: 9868-6330; tanya\_ter@mail.ru

© Санжаровский Р.С., Зибер Ф., Тер-Эммануильян Т.Н., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## The theory of calculation of reinforced concrete structures and the principles of the Eurocode

Rudolf S. Sanzharovskiy<sup>1</sup> , Frieder Sieber<sup>2</sup>, Tatyana N. Ter-Emmanuilyan<sup>3</sup>  

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Leibniz-Institut für Interdisziplinäre Studien, Berlin, Federal Republic of Germany

<sup>3</sup>Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

 tanya\_ter@mail.ru

### Article history

Received: July 12, 2021

Revised: October 4, 2021

Accepted: October 13, 2021

### For citation

Sanzharovskiy R.S., Sieber F., Ter-Emmanuilyan T.N. The theory of calculation of reinforced concrete structures and the principles of the Eurocode. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2021; 17(5):455–465. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-5-455-465>

**Abstract.** The theory of calculating reinforced concrete is analyzed. As we known reinforced concrete with enormous volumes of application and huge financial costs, due to the great complexity of its nonlinear properties, has a surprisingly unscientific theory of calculation, consisting of two parts: short-term and long-term loading. The work of a number of round tables was devoted to the problem of errors in the theory of calculating reinforced concrete. The round tables held at the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) on the initiative and under the guidance of famous scientists: V.M. Bondarenko, S.N. Krivoshapko, V.V. Galishnikova (the last one took place in 2020) with a large number of participants of authoritative scientists from Russia and other countries. It is shown that the theory of calculation of reinforced concrete structures, which are widely used (with long-term loading all over the world), includes five inconsistent (among them erroneous) theories, the essence of which and one postulate are set further. Using the rules of mathematics, the principles of mechanics and the results of solid experiments, it was revealed that the analyzed theory contains a set of theories rejecting each other for various purposes, including erroneous ones.

**Keywords:** theory of concrete creep, superposition principle, instant elastic deformations, long-term resistance, reinforced concrete, modern building codes, Eurocode principles

### Введение

Проблеме построения теории железобетона посвящены многочисленные работы российских и зарубежных ученых [1–8]. Железобетон, при громадных объемах применения и огромных финансовых затратах, имеет из-за большой сложности его нелинейных свойств удивительно ненаучную теорию расчета, состоящую из двух частей: кратковременного и длительного нагружения. В научной и учебной литературе не исследована и не описана теоретическая сущность основ, составляющих расчеты железобетонных конструкций массового применения.

Приведем пример описания одной из главных моделей теории расчета в последовательности от момента создания до наших дней (сущность ее мы рассмотрим позже):

- сообщается об «образовании так называемого пластического шарнира», также заявляется, что «гипотеза плоских сечений неприменима»;
- описывается «новый принцип рассмотрения сечения в состоянии разрушения... Созданы предпосылки для развития общей теории расчета по предельным состояниям, представляющей собой коренное изменение расчетных принципов на новой научной основе»;

**Rudolf S. Sanzharovskiy**, Grand Ph.D., Professor, principal researcher, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 11 Kazhymukana St, Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan; ORCID: 0000-0002-7412-3789, Scopus Author ID: 56926674200, eLIBRARY SPIN-code: 9723-0539; milasanj@gmail.com

**Frieder Sieber**, Grand Ph.D., Professor, Leibniz-Institut für Interdisziplinäre Studien, 16 Albert Einstein St, Berlin, 12489, Federal Republic of Germany; dr.f.sieber@web.de

**Tatyana N. Ter Emmanuilyan**, Grand Ph.D., Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Russian University of Transport, 9 Obraztsova St, bldg 9, Moscow, 127994, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4723-8193, Scopus Author ID: 25638119000, eLIBRARY SPIN-code: 9868-6330, tanya\_ter@mail.ru

- «Критерием исчерпания прочности нормальных сечений является достижение деформациями сжатого бетона или растянутой арматуры в сечении элемента их предельных значений»;

- «Никакого пластического шарнира нет»;

- «Допускается производить расчет на основе предельных усилий».

Теория длительного сопротивления не соответствует свойствам железобетона, содержит набор ошибок (в том числе достаточно грубых), не замечает их, и заявляет о себе:

- «Новый передовой... Международный гармонизированный формат»;

- «Законченная математическая теория ползучести бетона, получившая всеобщее признание»;

- «Решена задача устойчивости железобетонных стержней при учете... длительных процессов; ...задача *максимально приближена к действительным* условиям их работы»;

- в основу теории положена «теорема об общем виде линейного функционала в подходящем функциональном пространстве, определяемом требованиями, налагаемыми на историю нагружения»;

- «В процессе исправления и актуализации Евроноорм» *эта теория должна быть «включена* в основной текст норм как руководящее правило для оценки влияния работы бетона во времени в любых видах конструкций».

Проблеме заблуждений теории расчета железобетона была посвящена работа ряда круглых столов, проведенных в Российском университете дружбы народов (РУДН) по инициативе и под руководством известных ученых: В.М. Бондаренко, С.Н. Кривошапко, В.В. Галишниковой (последний состоялся в 2020 г.), с большим числом участников, авторитетных ученых России и других стран. В.М. Бондаренко активно участвовал (после утверждения Еврокода) в дискуссиях о несоответствии анализируемой теории Еврокоду [1]. Он предложил сложную проблему «Еврокод – нелинейная теория – стандарты» обсуждать в форме проведения научных круглых столов. Руководство РУДН поддержало это предложение, и первый круглый стол по названной проблеме состоялся в 2016 г.; В.М. Бондаренко принимал в нем активное участие и делал научное сообщение.

Основные вопросы и суждения участников всех состоявшихся круглых столов были вызваны проблемой, названной выше: в научной литературе, в учебниках нет описания свойств теорий, перемешанных в расчетах железобетонных конструкций, нет оценки о соответствии их свойствам материала железобетона и Еврокоду.

Излагаемый анализ теории расчета железобетона основывается на следующих обстоятельствах:

- на ненаучность использования теории ползучести железобетона в проектировании уникальных зданий и сооружений, обратил внимание в 2014 г. Гордон Кларк – президент fib и директор организации RAMBOLL (Великобритания) [9];

- современное состояние международной теории ползучести обстоятельно представлено в [10];

- математические ошибки закона ползучести бетона выявлены нами впервые в 2015–2016 гг. в [11; 12];

- подробный анализ этих ошибок дан в [13; 14];

- основы теории пластического шарнира в железобетоне изложены в [15].

### Особенности анализируемой теории

Анализ показывает, что теория расчета железобетонных конструкций, имеющих массовое применение (при длительном загрузении во всем мире), включает в себя пять не соответствующих друг другу (среди них ошибочных) теорий, суть которых и один постулат изложены ниже.

В рассматриваемой теории перемешаны (вместо исполнения требований Еврокода):

(п. 1) – теория конструкции, не имеющей длины и обладающей пластическим шарниром;

(п. 2) – теория упругоползучей колонны с начальной погибью, имеющей неограниченные напряжения и деформации, а также бесконечные прогибы;

(п. 3) – теория бесконечно упругой колонны из «деформационной теории», ошибочно распространяемая на область сугубых пластических деформаций, также с бесконечными прогибами;

(п. 4) – исковерканная задача Эйлера с критической силой, зависящей от эксцентриситета;

(п. 5) – глубоко ошибочная теория линейной ползучести бетона.

(п. 6) – «новая» теория обосновывается ошибочным постулатом о внезапном «образовании пластического шарнира».

Проведенное исследование показывает, что данная научная совокупность и каждая теория в отдельности не соответствуют ни свойствам железобетона, ни Еврокоду.

### Теория конструкции, не имеющей длины – возникновение пластического шарнира

Здесь необходимо предварительно построить соответствующую теорию упругопластической устойчивости (и иного пути нет):

- записать диаграммы  $\sigma$ – $\varepsilon$  для бетона и арматуры. Отвергнуть Еврокод и считать, что эти диаграммы имеют *неограниченные* площадки текучести ( $\varepsilon_T \rightarrow \infty$ );
- использовать (а не отвергать) гипотезу плоских сечений и найти значения главного вектора и главного момента эпюры нормальных напряжений;
- записать уравнения равновесия сжатой колонны с учетом наличия прогиба;
- рассмотреть геометрическую сторону задачи и связать краевые деформации сечения с прогибом;
- сформулировать условие и вывести уравнение критического состояния;
- провести численные исследования и построить кривые критических зависимостей. Получение таких кривых необходимо для последующего использования в нормах и стандартах, оно обусловлено в задачах проектирования: рядовой проектировщик не сможет проводить научное исследование, указанное в пунктах а–е.

Поведение этих кривых зависит от вида расчетной схемы колонны [16]. Рассмотрим два важных случая: колонна с начальной погибью, продольно-поперечный изгиб.

Расчетная схема колонны с начальной погибью лежит в основе теорий (п. 2) и (п. 3), рассматриваемых далее в рамках линейной теории (рис. 1). Здесь же для наглядности восприятия приведены на рис. 1 кривые критических зависимостей упругопластических колонн с начальной погибью.

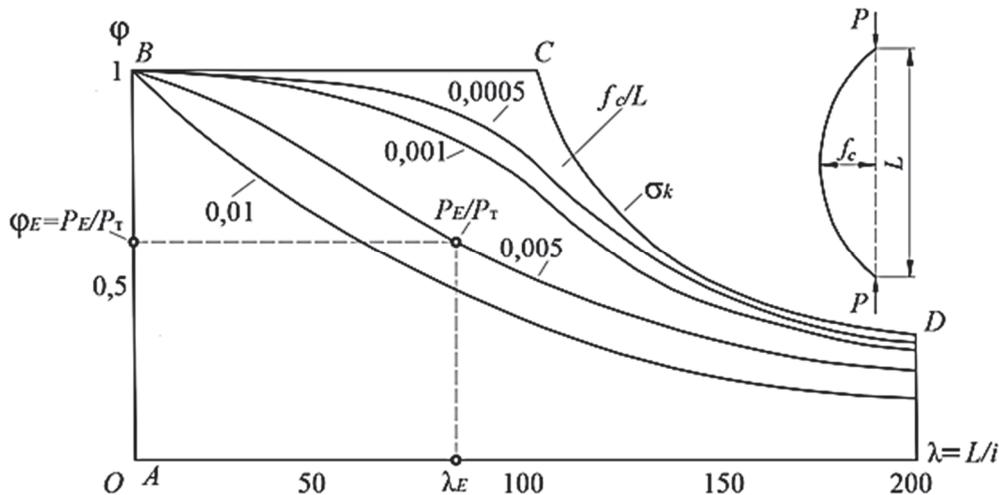


Рис. 1. Критические зависимости «сила – гибкость – начальная погибь» для упругопластической колонны

В случае второй расчетной схемы – продольно-поперечного изгиба – кривые критических зависимостей в упругопластической стадии имеют вид, аналогичный с рис. 1. Обратим внимание на отсутствие в приведенных двух случаях (различных расчетных схем) пластического шарнира по теории (п. 1)<sup>1</sup> [17–18] (рис. 2). На рис. 1 к пластическому шарниру можно отнести точку *B*, характеризующую полностью сжатое сечение ( $x = h$ , рис. 2). Другими словами, теория (п. 1) «принципиально непригодна» в рассмотренных расчетных схемах по терминологии разработчиков анализируемой теории.

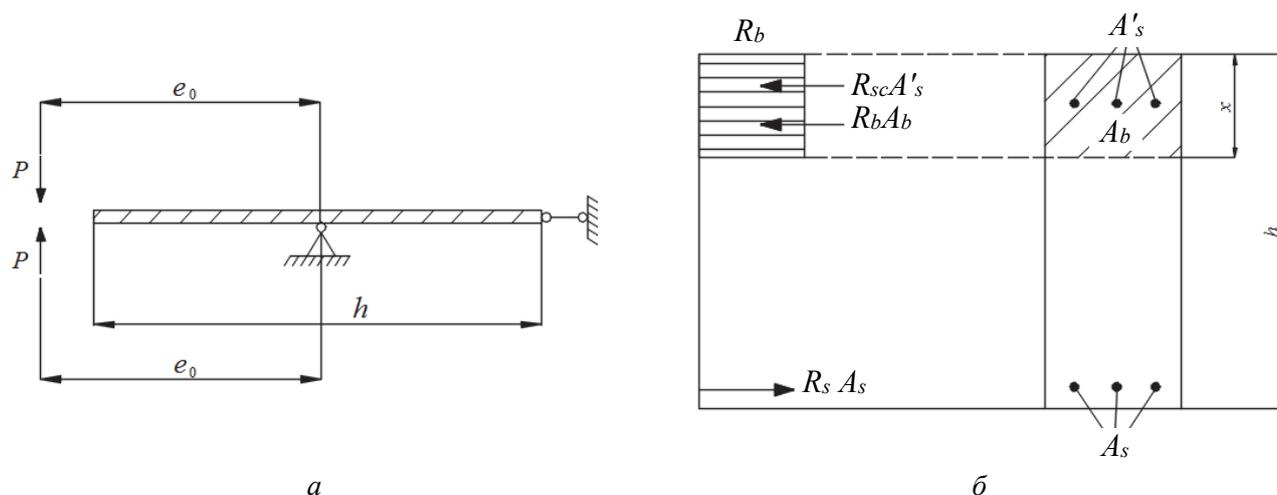
**О пластическом шарнире.** Для получения теории (п. 1) необходимо к вышеизложенной процедуре а–е добавить два действия:

- выбрать специальную расчетную схему колонны (рис. 2);
- осуществить математический предельный переход.

Пластический шарнир является предельной точкой ( $l \rightarrow 0$ ) кривой критических состояний ( $\frac{dl}{df} = 0$ ,  $l$  – длина,  $f$  – прогиб) по устойчивости для колонн, выполненных из бетона и стали с *неограниченной* площадкой текучести; в нем краевые деформации достигают *бесконечных* значений; в предельной точке

<sup>1</sup> СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М., 2012. 156 с.

зоны пластического растяжения и сжатия (удовлетворяющие гипотезе плоских сечений перед началом предельного перехода) смыкаются. И вот эта локальная точка, в весьма частной расчетной схеме, с нереальными свойствами сжатых конструкций, принимается за основу общей теории расчета железобетона.



**Рис. 2.** Колонна без длины, у которой возможен пластический шарнир:  
а – расчетная схема; б – поперечное сечение, предельные усилия и эпюра напряжений бетона

**О нереальности свойств** (у колонны нет длины; сечение колонны имеет свойство абсолютно твердого тела). При предельном переходе упругая зона сечения колонны устремляется к нулю, пластичность охватывает всю высоту сжатой зоны и получается вырожденная модель колонны в виде одного вырожденного сечения, в котором система распределения *усилий* имеет одну степень свободы, с обобщенной координатой  $x$  (рис. 2).

Таким образом, теория (п. 1) не имеет никакого отношения к расчету реальных сжатых конструкций, в том числе железобетонных.

Изложенное также показывает, что в условиях Еврокода, когда диаграммы  $\sigma$ – $\epsilon$  бетона и арматуры ограничены предельной деформацией ( $\epsilon_{b2}$ ,  $\epsilon_{s2}$ ), теория (п. 1) вообще не существует<sup>2</sup>.

Наконец, рассмотрим теорию (п. 1) для случая малых эксцентриситетов, описанную в литературе по железобетону весьма путанно. Здесь сжатая зона с координатой  $x$  захватывает часть сечения нижней арматуры  $A_s$  (рис. 2, б). В этой арматуре  $A_s$  образуется локальный пластический шарнир с локальным главным вектором усилий и главным моментом. Выражения для описания значений локальных главного вектора и главного момента усилий являются весьма громоздкими из-за круглого сечения арматуры. Эта громоздкость преодолевается двумя упрощениями:

– значение локального главного момента усилий в арматуре считается пренебрежимо малым, см. (8.10) в СП 63.13330.2012;

– формулу локального главного вектора упрощают путем замены круглого сечения эквивалентным сечением с постоянной шириной, см., например, (8.13) в СП 63.13330.2012.

Внешняя привлекательность и кажущаяся простота, сделали незаметными (и по сей день) главные особенности теории (п. 1): \*<sup>3</sup>,

- отсутствие у колонны длины;
- наличие у сечения колонны свойства абсолютно твердого тела;
- наделение бетона и арматуры бесконечной площадью текучести;
- невозможность получения (п. 1) иным путем, кроме математического предельного перехода;
- принципиально неверные результаты в расчетах конструкций: качественные и количественные.

Проведенный анализ показывает, что теория (п. 1) является непригодной для расчетов сжатых железобетонных конструкций.

<sup>2</sup> EN 1992-2 2004. Eurocode 2: Design of constructions.

<sup>3</sup> Обозначен перечень ошибок.

### Теория упругоползучей колонны с начальной погибью и теория бесконечно упругой колонны из «деформационной теории»

В теориях (п. 2) и (п. 3) железобетон наделяется новыми фантастическими особенностями, отвергающими теорию (п. 1): \*\*,

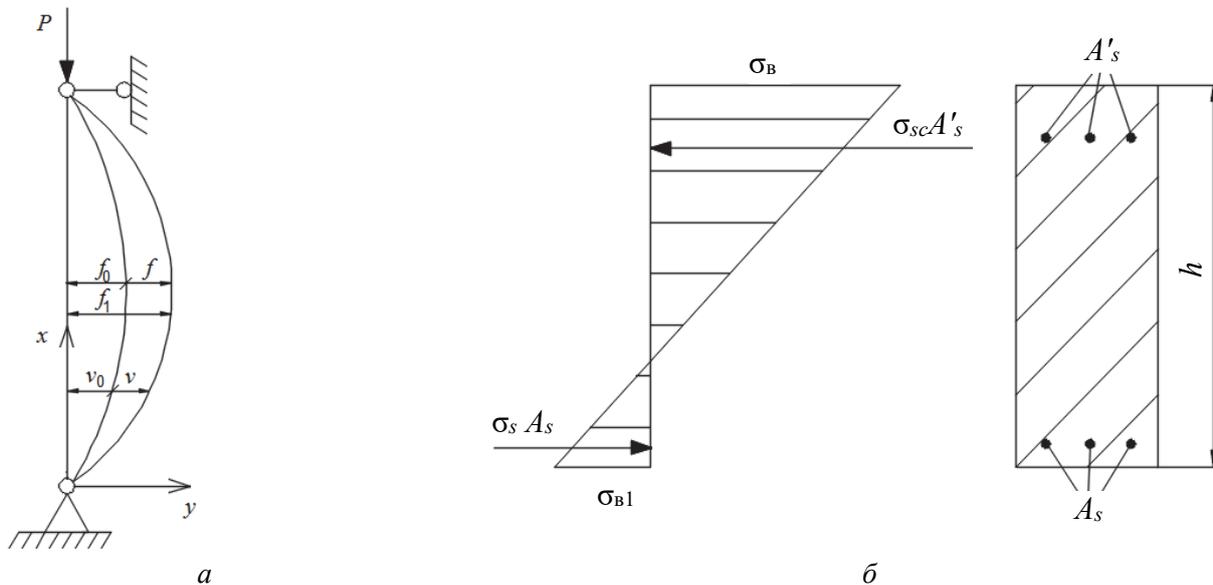
- трещин в сечениях нет;
- бетон хорошо работает на растяжение и на сжатие;
- бетон и арматура являются бесконечно упругими материалами;
- бетон обладает при растяжении и сжатии бесконечными деформациями линейной ползучести (см. также (п.5));
- напряжения (при сжатии и растяжении) могут во много раз превышать пределы прочности бетона и арматуры;
- теории строятся в рамках гипотезы «незначительных прогибов» (по терминологии С.П. Тимошенко), а в результатах расчетов прогиб бесконечно «возрастает»:

$$f(p) \rightarrow \infty;$$

$$f(t) \rightarrow \infty, \dot{f}(t) = \text{const},$$

в общей механике указывают, что при таком противоречии – «метод непригоден». Например, он приводит к созданию (несуществующей) критической силы *при сжатии с изгибом*. В анализируемой теории она носит название «условной критической силы». В задачах рассматриваемого формата, как показали Лагранж и Жичковский (рис. 4), данная гипотеза о линейризации приводит к неверным результатам. В учебной литературе перечисленные под знаком \*\* особенности не замечаются: имеется лишь формальное указание «на умножение на коэффициент η».

Расчетная схема для этих теорий показана на рис. 3.



**Рис. 3.** Упругая, либо упруговязкая, колонна с начальной погибью:

*a* – расчетная схема; *б* – поперечное сечение, неограниченные напряжения в бетоне и арматуре – трещины отсутствуют

В теории (п. 2) «связь между напряжениями и деформациями устанавливается формулой, основанной на линейной зависимости между напряжениями и деформациями и на принципе наложения»

$$\varepsilon^*(t) = \frac{\sigma^*(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^t \sigma^*(\tau) \frac{\partial \delta(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau, \tag{1}$$

где  $\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau)$ ;  $C(t, \tau)$  – мера ползучести.

Здесь и далее использованы общепринятые обозначения построенной теории с ошибками (якобы она максимально приближена к действительным условиям работы). В теории (п. 2) указывается: «Известно, что в случае, когда материал стержня обладает ползучестью и старением (1), задача об устойчивости упругого стержня, имеющего начальную погибь ( $y_0 = f_0$ ) и сжатого постоянной силой  $P$ , сводится к решению уравнения»

$$\frac{d^2 y^*(x, t)}{dx^2} + \frac{P}{I} \left[ \frac{y^*(x, t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^t y^*(x, \tau) \frac{\partial \delta(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau \right] = \frac{d^2 y_0}{dx^2}.$$

Задача определения прогиба  $f(t)$  сводится к решению «интегрального уравнения Вольтерра 2-го рода»

$$f(t) - \frac{E(t)}{1 - \xi(t)} \int_{\tau_1}^t f(\tau) \frac{\partial \delta(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau = f_1(t),$$

где  $\xi(t) = \frac{P_3(t)}{P}$ ;  $P_3(t) = \frac{\pi^2 I E(t)}{l^2}$ ;  $f_1(t) = \frac{f_0}{1 - \frac{P}{P_3(t)}}$ .

Критическое состояние по устойчивости железобетонной колонны при ползучести бетона определяется *несостоятельным* по Еврокоду и *удивительным* для теории железобетона критерием: прогиб среднего сечения колонны увеличивается до *бесконечности* (с постоянной скоростью его нарастания). Структура формулы добавочного бесконечного прогиба, вызванного ползучестью бетона, становится тождественной структуре бесконечно упругого прогиба по теории (п. 3) (см., например, формулу (8.13) в СП 63.13330.2012). Изменяется лишь значение критической силы: вместо кратковременной критической силы Эйлера используется понятие длительной критической силы, равной силе Эйлера, деленной на коэффициент, зависящий от характеристики ползучести бетона.

Следует обратить особое внимание на три обстоятельства в теориях (п. 2, п. 3): \*\*,

- гиперболой Эйлера прерывается в точке  $C$  (рис. 1), то есть на участке  $CB$  пластической области понятие критической силы Эйлера (также длительной критической силы) является вымыслом;
- при неограниченных упругих свойствах у сжатоизогнутых колонн критической силы Эйлера не существует (рис. 4), что дополнительно характеризует несостоятельность теорий (п. 2, п. 3) с точки зрения Еврокода.

В рамках любой теории ползучести теория (п. 2) непригодна для оценки длительного сопротивления железобетона, так как наделяет бетон фантастическими свойствами бесконечных прогибов, бесконечной упругости и отсутствием трещин.

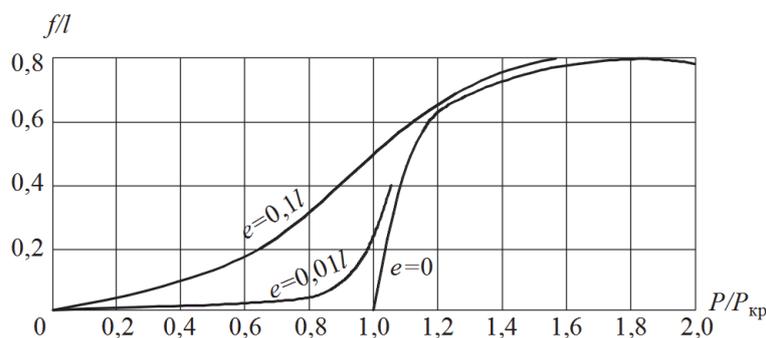


Рис. 4. Зависимость между стрелой прогиба и продольной силой для сжатоизогнутых и центрально сжатых ( $e = 0$ ) колонн

Каждая из изложенных теорий является истиной лишь на своем месте в общей теории расчета сооружений. Так теория (п. 1) является всего лишь одной из четырех линий – границ области в частной схеме нагружения упругопластической устойчивости – лишь одной из многих схем, в которых таких границ вовсе нет (пример – рис. 1). Причем в этой частной схеме рассматривается идеально упругопластический материал с бесконечной площадкой текучести, то есть находящийся вне правил Еврокода 2 и для теории железобетона являющийся ошибкой [13].

Кажущаяся новизна непригодной теории (п. 1) и ее ошибочная привлекательность в 40-е гг. XX в. вызвали решительные действия к внедрению, и в угоду этим действиям была принесена в жертву сущность теории расчета железобетона, о чем свидетельствует выдвинутая гипотеза – теория (п. 6) о связи теорий (п. 2, п. 3) и теории (п. 1):

«При внецентренном сжатии... явление разрушения протекает почти так же, как при изгибе, а расчет строится, исходя из тех же соображений и допущений.

...В интересах простоты расчета еще более желательно, чем при изгибе симметричных сечений, допускать... что сечение ведет себя упруго вплоть до образования *пластического шарнира*».

Итак, рассмотрим последовательности перескоков от одной теории к другой. Пусть изначально имеется железобетонная колонна с заданными свойствами несущей способности. Применяв к ней теорию (п. 1), получаем после исполнения расчета сильно завышенную несущую способность.

По этой причине переходим к теории (п. 3) либо (п.2), подменяя расчетную схему теории (п. 1) на расчетную схему колонны с начальной погибью. Можно было бы использовать теоретические данные по образцу рис. 1, но этого не происходит.

Рассматривается процесс загрузки бесконечно упругой колонны, по окончании которого извлекается цитированная гипотеза и совершается переход от (п. 3) к (п. 1) в виде следующих удивительных действий:

- исчезает скачком длина бесконечно упругой колонны; остается только одно сечение с линейной эпюрой напряжений без трещины;

- упругая эпюра напряжений по рис. 3 мгновенно превращается в эпюру напряжений пластического шарнира по рис. 2;

- начальный прогиб  $f_0$  упругой колонны из (п. 3) мгновенно становится заданным эксцентриситетом в теории (п. 1);

- стрела дополнительного прогиба упругой колонны  $f$  теории (п. 3) превращается в эксцентриситет теории (п. 1), который именуется дополнительным эксцентриситетом и появление которого разрушает теоретическую сущность пластического шарнира, описанную выше как сущность колонны, не имеющей длины.

- появляется «новая» научная сущность общей теории в виде пластического шарнира, не имеющего длины, но имеющего прогиб; сумма  $e_0 + f$  становится расчетным эксцентриситетом  $e_0\eta_1$  в теории (п. 1).

На основании «новой» сущности снова рассчитывается несущая способность заданной железобетонной колонны: результаты расчета снова дают завышение несущей способности заданной колонны.

Еще более парадоксальным является соединение в одну теорию пластического шарнира по (п. 1) с переменным во времени прогибом теории (п. 2). «Новая» научная сущность в этом случае являет удивительное непрерывное изменение продольной силы колонны, происходящее с течением времени, а также непрерывное явление перескоков.

Теория железобетона приобретает в «новой» научной сущности двойственные свойства по многим обстоятельствам и параметрам, что позволяет менять смысл этих параметров, проводить ненаучные дискуссии.

Например, в теории пластического шарнира (п. 1) жесткость сечения  $D = EI$  не нужна. Но для «исправления» анализируемой теории железобетона «новая» научная сущность позволяет использовать и исковеркать это понятие.

### Исковерканная задача Эйлера

В классической задаче Эйлера об устойчивости колонны теория (п. 4), представляющая дифференциальное уравнение изгиба, имеет вид

$$D \frac{d^2 v}{dx^2} = -Pv.$$

Как уже отмечалось, на участке  $BC$  по рис. 1 в пластической области этого уравнения нет. Как и жесткости в теории (п. 1); нет и силы Эйлера. «Новая» научная сущность не только вводит несуществующую здесь силу Эйлера, но и коверкает ее смысл, выдумывая силу Эйлера, зависящую от эксцентриситета  $e_0$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D(e_0)}{l^2}.$$

\*\*\* – «исправляется» таким приемом общая теория: критические силы железобетонной колонны ( $N_{cr}$ ) при кратковременном нагружении и  $R_d$  при длительном нагружении, невозможные при внецентренном сжатии (рис. 4.), объявляются не только возможными, но и «претерпевают эволюционное развитие» в виде нелепой зависимости от эксцентриситета.

Экспериментальные оценки результатов расчета сжатых железобетонных конструкций по анализируемой теории, приведенные известными учеными в публикациях последних лет, составляют  $\pm 50\%$ , свидетельствуя, что ненаучность и несоответствие Еврокоду, помимо политических аспектов, дают низкую экономическую эффективность железобетона.

### Ошибочная теория линейной ползучести бетона

В теории (п. 5), являющейся мировой теорией, интегральные уравнения Вольтерра, представляющие ползучесть бетона с его нестационарными и нелинейными свойствами, имеют выдуманные ядра, нарушающие предусмотренный математический порядок их построения: вследствие этого у бетона образуется ошибочный набор фиктивных сил, неправильно формирующих деформации ползучести [11; 13; 14; 19].

Нами выявлено, что все основные положения теории (п. 5) грубо нарушают правила высшей математики, принципы механики, требования Еврокода и результаты солидных экспериментов. Среди них: \*\*\*\*,

– фундамент теории, ее принцип наложения – нарушает правила дифференцирования функций. Это нарушение сопровождается лукавым обоснованием [2], что «принцип наложения свойственен для теории Вольтерра»: в итоге конструируются ошибочные ядра интегральных уравнений. Существует ряд других нелепых «математических» обоснований этого принципа;

– «никакой линейной ползучести не существует» свидетельствуют известные ученые С.В. Александровский и П.И. Васильев [20], приводя экспериментальные данные по рис. 5;

– мгновенные деформации бетона, нелинейные по Еврокоду, заявляются упругими, что обосновывается несуществующими экспериментами;

– нестационарность мгновенных деформаций неверно отождествляется с моделью Максвелла и описывается с помощью принципа наложения, внося ошибку до 300 %;

– осуществляется недопустимая в механике переделка мгновенных нелинейных свойств бетона свойствами ползучести (минутная ползучесть, цепные модели, быстронатекающая ползучесть); это приводит к появлению сил сопротивления пропорциональным ускорению, создает нарушение принципа независимости действия сил (четвертая аксиома), искажая всю теорию;

– «алгебраизация» теории ползучести отвергает основное уравнение механики Ньютона, возвращает на уровень механики Аристотеля; это подчеркивали неоднократно Н.Х. Арутюнян и С.В. Александровский.

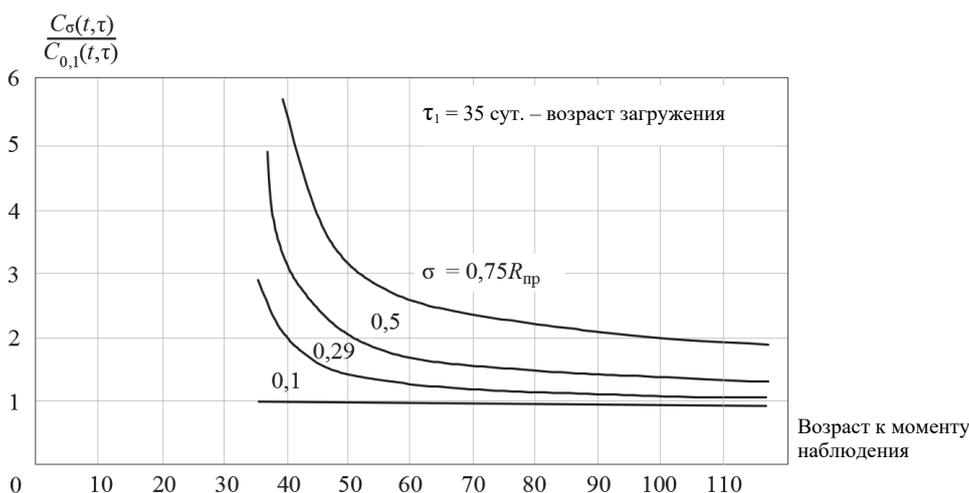


Рис. 5. Изменение отношений удельных деформаций ползучести при разных начальных уровнях напряжений  $C_\sigma(t, \tau)$  к удельным деформациям ползучести при начальном уровне напряжений  $C_{0,1}(t, \tau)$

В анализируемой теории можно найти и более абсурдные ситуации, когда условная (для железобетона) теория (п. 2) упруговязкой устойчивости сжатого стержня с начальной погибью, с бесконечными

напряжениями, с ее значением длительной критической силы  $P_d = \frac{\pi^2 EI}{l^2(c+1)}$ , где  $c = \varphi_\infty$ , становится теорией расчета предельного состояния железобетонных оболочек с трещинами при длительном нагружении. Она включена в методические рекомендации, является под видом модуля упругости  $E_d = \frac{E}{c+1}$  ( $c = \varphi_c = 2$ , предельная характеристика ползучести обычного бетона), маскируется эмпирическими значениями, что особенно наглядно видно из проблемы расчета конструкций «Трансвааль-парка».

### Результаты

В ряде работ, а также в нормах анализируемой теории предшествует разъяснение в виде двух Положений: I – что нужно использовать нелинейную деформационную модель (вывеска); II – что допускается расчет производить на основе анализируемой теории (с разными названиями: расчет по предельным усилиям; расчет по стадии разрушения или по принципу пластического разрушения; метод предельного равновесия; метод расчетных предельных состояний).

Один из разработчиков норм в 2011 г. предупреждал, что рядовой проектировщик не сможет использовать Положение I: «Деформационная модель силового сопротивления в основном реализуется через вычислительные комплексы, поэтому здесь *возникает ряд формальных процедур, например устойчивость, оценка точности решения*. Недостаток инструментария обусловлен также многоитерационным процессом решения, особенно по мере приближения действующего усилия к несущей способности... Результаты зависят от корректности *выбора* исходных (расчетных) диаграмм состояния». Россия вступила в ВТО и обязана исполнять требования Еврокода.

Так как Еврокод запрещает менять свои принципы и правила применения, а рядовой проектировщик не сможет применить Положение I, приходим к заблуждению, что Положение II соответствует Еврокоду. В учебной литературе в связи с этим можно прочесть: «Вместо гипотезы плоских сечений применяется принцип пластического разрушения»; «Предложение определять несущую способность по предельному (пластическому) состоянию на десятки лет опередили мировую практику в этом вопросе»; «В расчетных моделях Еврокода есть и расчет по предельным усилиям» – что вводит специалистов в заблуждение. Сопоставляя национальный норматив и европейские нормы, А.А. Гвоздев с соавт. [21] указал на их существенное отличие в принципах и методах расчета, в частности касающихся «расчета нормальных... сечений, учета влияния гибкости колонн и длительности действия нагрузки».

На ненаучность анализируемой теории железобетона в отдельных аспектах и в разное время указывали авторитетные ученые: Б.Г. Скрамтаев, В.М. Келдыш, Г.В. Никитин, А.Р. Ржаницын, Г.А. Гениев, П.Ф. Дроздов, К.Э. Таль и др. Осредненный ответ на критику звучал уклончиво: «Выбор расчетной схемы определяется соображениями дидактического характера». После утверждения Еврокода ненаучность и несоответствие Еврокоду анализируемой теории стали очевидными.

На проблему ненаучности теории ползучести бетона указывают отрицательные результаты проектной практики, в том числе мировой опыт проектирования уникальных сооружений структурами RAMBOLL (Великобритания) [2]. Президент fib Г. Кларк предупреждает: «Точное прогнозирование влияния ползучести... носит весьма *противоречивый* характер» [9]. Авторами установлены причины ненаучности этой теории, среди них математические ошибки и нарушение принципов классической механики<sup>4</sup> [12–14; 19]. Также авторами разработана новая нелинейная теория ползучести бетона, еще не опубликованная, дополняющая общую теорию [22].

Результаты анализа теории расчета железобетона [23] и сущность математических ошибок теории ползучести бетона докладывались и обсуждались на международном симпозиуме 2018 г. в Бельгии [24] и на международной конференции 2014 г. в Москве [2].

<sup>4</sup> ACI 209.3R-XX. Analysis of creep and shrinkage effects on concrete structures. Final draft / chairm. of edit. team M.A. Chiorino. ACI Committee 209, 2011.

## Заключение

Продemonстрировано, что теория расчета железобетонных конструкций, имеющих массовое применение (при длительном нагружении во всем мире), содержит в себе пять не соответствующих друг другу (среди них ошибочных) теорий, суть которых и один постулат изложены в работе. Используя правила математики, принципы механики и результаты солидных экспериментов, выявлено, что анализируемая теория включает набор отвергающих друг друга теорий различного назначения, в том числе ошибочных.

## Список литературы

1. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С., Бондаренко В.М. Евростандарты и нелинейная теория железобетона. Бетон и железобетон – пути развития // Научные труды II Всероссийской (международной) конференции. Т. 1. Плениарные доклады. М., 2005. С. 119–131.
2. Бетон и железобетон – взгляд в будущее // Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону / под ред. Б.В. Гусева. М.: ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014. 399 с.
3. Прокопович И.Е. О влиянии ползучести и старения на устойчивость сжатых стержней // Строительная механика и расчет сооружений. 1967. № 1. С. 5–13.
4. Salviato M., Kirane K., Bazant Z.P. Statistical distribution and size effect of residual strength of quasibrittle materials after a period of constant load // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2014. Vol. 64. Pp. 440–454. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2013.12.005>
5. Chiorino M.A., Sassone M. Further consideration and updates on time dependent analysis of concrete structures in structural concrete: textbook on behavior, design and performance. Lausanne: International Federation for Structural Concrete, 2010. Vol. 2. Pp. 43–69.
6. Muller H.S., Reinhardt H.W. Beton. Betonkalender 2010. Berlin: Ernst & Sohn, 2010.
7. Yu Q., Bazant Z.P., Wendner R. Improved algorithm for efficient and realistic creep analysis of large creep – sensitive concrete structures // ACI Structural Journal. 2012. Vol. 109. No. 5. Pp. 665–675.
8. Bazant Z.P., Yu Q., Li G.-H. Excessive long-time deflections of prestressed box girders. II. Numerical analysis and lessons learned // Journal of Structural Engineering. 2012. Vol. 138. Pp. 687–696. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000375](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000375)
9. Clark G. Challenges for concrete in tall buildings // Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future: III All Russian (International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete. Moscow, 2014. Vol. 7. Pp. 103–112.
10. 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. 2014. Vol. 7. Pp. 338–350.
11. 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.
12. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko M. Creep of concrete and its instant nonlinear deformation in the calculation of structures // CONCREEP. 2015. No. 10. Pp. 238–247.
13. Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.А., Манченко М.М., Принцип наложения как основополагающая ошибка теории ползучести и стандартов по железобетону // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 2. С. 92–104. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-2-92-104>
14. Sanzharovsky R.S., Manchenko M.M., Gadzhiev M.A., Musabaev T.T., Ter-Emmanuilyan T.N., Varenik K.A. System of insufficiency of the modern theory of long-term resistance of reinforced concrete and designers' warnings // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 1. С. 3–24. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-1-3-24>
15. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Сущность метода и его обоснование. М.: Государственное издательство строительной литературы, 1949. Вып. 1. 280 с.
16. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М., 1967. 984 с.
17. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М., 1991. 767 с.
18. Бондаренко В.М., Суворкин Д.Г. Железобетонные и каменные конструкции. М., 1987. 383 с.
19. 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.
20. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. Состояние проблемы и перспективы развития / под ред. С.В. Александровского. М.: Стройиздат, 1976. 351 с.
21. Гвоздев А.А., Гуца Ю.П., Чистяков Е.А. Сопоставление отечественных и зарубежных норм проектирования // Бетон и железобетон. 1979. № 5. С. 24–25.
22. Санжаровский Р.С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1984. С. 280.
23. Теория расчета бетонных и железобетонных конструкций / под ред. А.А. Гвоздева. М., 1949.
24. Life-cycle analysis and assessment in civil engineering. Proceedings of the Sixth International symposium of life-cycle civil engineering (IALCCE) / ed. by R. Caspeele, L. Taerwe, D.M. Frangopol. Ghent, 2018.