



DOI: 10.22363/1815-5235-2023-19-2-186-198

EDN: MUSLDE

УДК 624.012

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH ARTICLE

Публикуется в порядке обсуждения.

Редакция

Теория кратковременного и длительного сопротивления конструкций на основе принципа пластического разрушения

А.Д. Беглов¹, Р.С. Санжаровский² , Т.Н. Тер-Эммануильян³  

¹Администрация Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Российская Федерация

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан

³Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация

 tanya_ter@mail.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 17 декабря 2022 г.

Доработана: 15 марта 2023 г.

Принята к публикации: 17 марта 2023 г.

Для цитирования

Беглов А.Д., Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.Н. Теория кратковременного и длительного сопротивления конструкций на основе принципа пластического разрушения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2023. Т. 19. № 2. С. 186–198. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-2-186-198>

Аннотация. Проведен анализ теории, применяемой во многих странах, содержащей два самостоятельных направления: 1) теория устойчивости стержневых систем, в том числе плоских рам; 2) теория расчета элементов конструкций из различных материалов. Основная особенность данных теорий состоит в применении принципа пластического разрушения. Допущение о пластическом шарнире из-за несоответствия экспериментальным данным дополняется ошибочным привлечением несовместимых с этим шарниром теорий о бесконечных упругих деформациях, а также о бесконечных деформациях ползучести. Используя правила математики, принципы механики и результаты солидных экспериментов, установлено, что анализируемая теория содержит набор отвергающих друг друга теорий различного назначения, в том числе ошибочных.

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

Беглов Александр Дмитриевич, доктор экономических наук, губернатор Санкт-Петербурга, Администрация Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Российская Федерация; gubernator@gov.spb.ru

Санжаровский Рудольф Сергеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан; ORCID: 0000-0002-7412-3789; milasanj@gmail.com

Тер-Эммануильян Татьяна Николаевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теоретической механики, Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация; ORCID: 0000-0002-4723-8193; tanya_ter@mail.ru

© Беглов А.Д., Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.Н., 2023



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

Theory of short-term and long-term resistance of structures based on the principle of plastic fracture

Alexander D. Beglov¹, Rudolf S. Sanzharovskiy² , Tatyana N. Ter-Emmanuilyan³  

¹Administration of St. Petersburg, St. Petersburg, Russian Federation

²Eurasian National University named after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan

³Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation

✉ tanya_ter@mail.ru

Article history

Received: December 17, 2022

Revised: March 15, 2023

Accepted: March 17, 2023

For citation

Beglov A.D., Sanzharovskiy R.S., Ter-Emmanuilyan T.N. Theory of short-term and long-term resistance of structures based on the principle of plastic fracture. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2023;19(2):186–198. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-2-186-198>

Abstract. The authors analyze the theory used in many countries, containing two independent directions: 1) the theory of stability of rod systems, including flat frames; 2) the theory of calculation of structural elements from various materials. The main feature of these theories is the application of the principle of plastic fracture. The assumption about a plastic hinge, due to the inconsistency with the experimental data, is supplemented by the incorrect application of theories of infinite elastic deformations, as well as of infinite creep deformations, which are incompatible with this hinge. Using the rules of mathematics, the principles of mechanics and the results of reliable experiments, it has been revealed that the analyzed theory contains several theories for different applications that reject each other, including the erroneous ones.

Keywords: theory of concrete creep, superposition principle, instantaneous elastic deformations, plastic hinge, reinforced concrete resistance, modern building codes, Eurocode principles

1. Введение

Анализируемая теория применяется во многих странах и содержит два самостоятельных направления, разрабатываемых независимо друг от друга:

- 1) теория устойчивости стержневых систем, в том числе плоских рам;
- 2) теория расчета элементов конструкций из различных материалов.

Исследования показывают, что эти направления основаны на тождественных либо близких системах правил и принципов.

Главная особенность этих направлений состоит в использовании принципа пластического разрушения (он же пластический шарнир), выявляемого из теории изгиба балок и впервые описанного Г. Казинци и Н. Кистом [1]. В 1926 г. он был самовольно распространен М. Грюнингом на сжатые стержни при рассмотрении ферм; в 1931 г. он без обоснования использовался К. Гиркманом [2] для расчета многоэтажных и многопролетных рам. В известной монографии Б.Г. Нила [3] указывается, что И.Ф. Бакер (1949 г.) «был первым, кто признал, что расчет по разрушающим нагрузкам... является основой для создания простого и рационального метода расчета сложных рам». В последующие годы ошибочное направление интенсивно развивалось многими авторитетными учеными мира: И.А. Броеком, Х.И. Гринбергом, Ф. Блейхом, В. Прагером, Д.С. Друкером, Б.Г. Нилом, М.Р. Хорном и др. [3–6].

Alexander D. Beglov, Doctor of Economics, Governor of St. Petersburg, St. Petersburg Administration, St. Petersburg, Russian Federation; gubernator@gov.spb.ru

Rudolf S. Sanzharovskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientific Associate, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Republic of Kazakhstan; ORCID: 0000-0002-7412-3789; milasanj@gmail.com

Tatiana N. Ter-Emmanuilyan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Theoretical Mechanics, Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation; ORCID:0000-0002-4723-8193; tanya_ter@mail.ru

В нашем анализе мы будем пользоваться, в частности, работами М.Р. Хорна [4; 6], имеющими переводы в сборнике «Механика» 1965 г.

Перечисленные авторы указывают на внедрение направления:

- 1) в государственные документы, например: «...применение расчета по разрушающим нагрузкам разрешено в Англии после 1948 г., когда соответствующие пункты были включены в Британский стандарт № 449...»;
- 2) нормы по железобетону в ряде стран, в учебную литературу.

Оба направления анализируемой теории, к сожалению, неверно оцениваются в разных странах известными учеными:

Направление 1. Результатом подобных исследований явилось создание математически обоснованного расчета по разрушающим нагрузкам, построенного на *четких* и *строгих* предпосылках, подобно тому, как это имеет место в обычном упругом методе расчета статически неопределимых конструкций, якобы оно представляет собой новые вопросы расчета на устойчивость современных строительных конструкций.

Направление 2. Впервые в истории техники создана теория расчета, принципиально одинаково пригодная для разных конструкций и сооружений и для различных материалов. Теория расчета по предельным состояниям содержит все *лучшее и передовое*, что было достигнуто не только в области исследования железобетонных, но также каменных и металлических конструкций. Созданы предпосылки для развития общей теории расчета по предельным состояниям, представляющие собой коренное изменение расчетных принципов *на новой научной основе*.

В связи с такими оценками подчеркнем для наглядности восприятия важное обстоятельство, потерянное в рассматриваемой теории (мы его проанализируем позже): пластический шарнир (он же принцип пластического разрушения) является фрагментом потери устойчивости (условием критического состояния) сжатой конструкции *без длины*, то есть *условной* конструкции, предстающей в виде одного сечения со свойством абсолютно твердого тела и возможной только в одной расчетной схеме – из всего множества расчетных схем сжатоизогнутых конструкций; материал таких конструкций обязательно должен иметь *бесконечную площадь текучести*; в Еврокодах, нормах и стандартах диаграммы σ – ϵ ограничены *предельной деформацией*.

Допущение о пластическом шарнире из-за несоответствия экспериментальным данным дополняется ошибочным привлечением несовместимых с этим шарниром теорий о бесконечных упругих деформациях, а также бесконечных деформациях ползучести.

Направления 1 и 2 имеют и естественные отличия. Среди них: в направлении 1 выдумывается *процесс* последовательного образования пластических шарниров, что приводит к такому числу шарниров, которое превратит конструкцию в механизм, что вызовет разрушение без дальнейшего возрастания нагрузки. В направлении 2 рассматривается переменное повторное нагружение, теорема приспособления.

В данном исследовании мы не будем рассматривать эти отличия.

В обоих направлениях теории сначала рассматривается упругая стадия, из которой затем предполагается мгновенный перескок в несуществующий пластический шарнир. Дополнительно в направлении 1 имеются исследования, представленные в известных монографиях, в которых выдумывается зависимость «момент – кривизна» (рис. 1), «завершающаяся образованием пластического шарнира» [7]: здесь дополнительной ошибкой является характер начальной линии загрузки, заимствованный из теории балок.

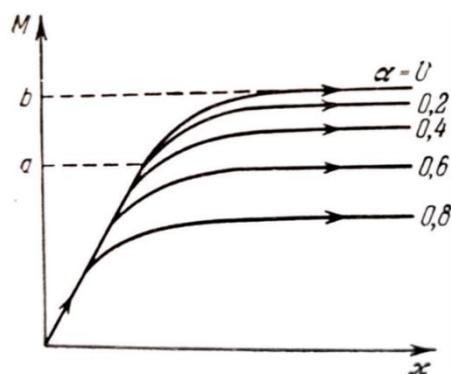


Рис. 1. Образование пластических шарниров в конструкции при разном уровне сжимающей силы
Figure 1. Formation of plastic hinges in the structure at different levels of compressive force

Обратим, наконец, внимание на недопустимость вышеприведенного отождествления строгости предпосылок классической упругой теории и предпосылок теории расчета по разрушающим нагрузкам.

2. Материалы и методы

2.1. Особенности анализируемой теории

Анализ показывает, что теория расчета железобетонных конструкций [8–15], 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 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, имеющая 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) – неправильное применение задачи 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.

2.2. Теория конструкции, не имеющей длины – возникновение пластического шарнира

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

а) записать диаграммы σ – ϵ для бетона и арматуры. Отвергнуть Еврокод и считать, что эти диаграммы имеют *неограниченные* площадки текучести ($\epsilon_T \rightarrow \infty$);

б) использовать (а не отвергать) гипотезу плоских сечений и найти значения главного вектора и главного момента эпюры нормальных напряжений;

в) записать уравнения равновесия сжатой колонны с учетом наличия прогиба;

г) рассмотреть геометрическую сторону задачи и связать краевые деформации сечения с прогибом;

д) сформулировать условие и вывести уравнение критического состояния;

е) провести численные исследования и построить кривые критических зависимостей. Получение таких кривых необходимо для последующего использования в нормах и стандартах, оно обусловлено задачами проектирования: рядовой проектировщик не сможет проводить научное исследование, указанное в пунктах а–е.

Поведение этих кривых зависит от вида расчетной схемы колонны [7].

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 позже (рис. 4, а) в рамках линейной теории. Здесь же для наглядности восприятия на рис. 1 приведены кривые критических зависимостей упругопластических колонн с начальной погибью. Обратим внимание, что принцип пластического разрушения на рис. 2 соответствует линии АВ.

В случае второй расчетной схемы – продольно-поперечного изгиба – кривые критических зависимостей в упругопластической стадии имеют вид, аналогичный рис. 1. Обратим внимание на отсутствие в приведенных случаях (различных расчетных схем) пластического шарнира по теории (п. 1) [9; 10] (рис. 2). На рис. 2 к пластическому шарниру можно отнести точку В, характеризующую полностью сжатое сечение ($x = h$, рис. 3). 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:

ж) выбрать специальную расчетную схему колонны (рис. 3);

з) 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

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.

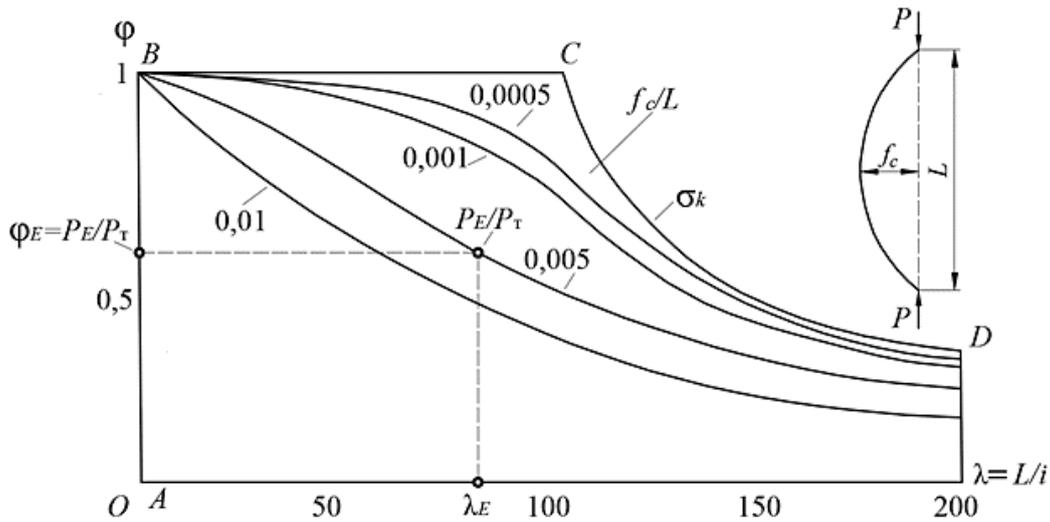


Рис. 2. Критические зависимости «сила – гибкость – начальная погибь» для упругопластической колонны
Figure 2. Critical dependences “force – flexibility – initial deflection” for an elastic-plastic column

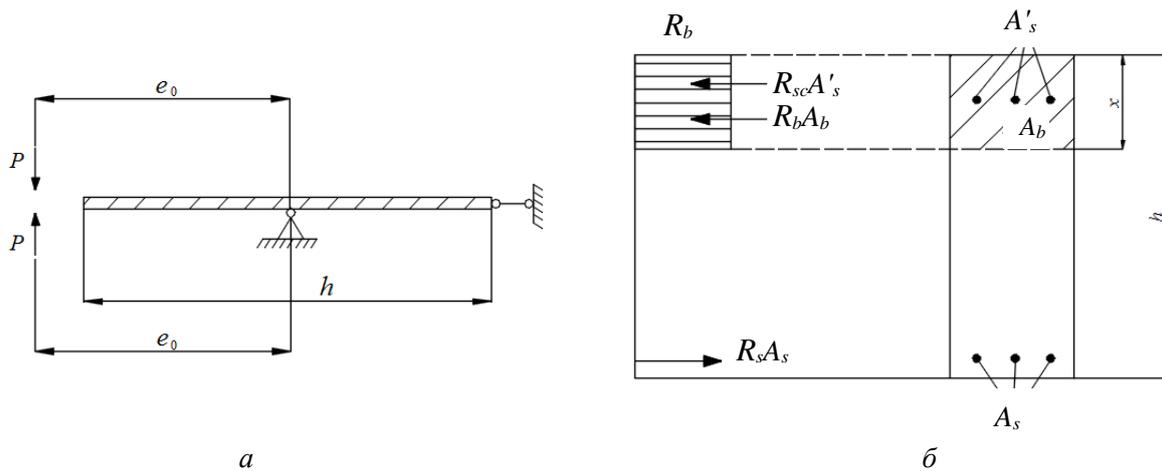


Рис. 3. Колонна без длины, у которой возможен пластический шарнир:
 а – расчетная схема; б – поперечное сечение, «предельные усилия» и эпюра напряжений бетона

Figure 3. Column without length, where a plastic hinge is possible:
 a – computational scheme; б – cross-section, “ultimate forces” and stress diagram for concrete

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. 3).

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 σ – ε бетона и арматуры ограничены предельной деформацией (ε_{b2} , ε_{s2}), теория (п. 1) вообще не существует¹.

¹ EN 1992-2 2004. Eurocode 2: Design of constructions. Brussels, 2004. 255 p.

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. 3, 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 EN 1992-2 2004;
- формула локального главного вектора упрощается путем замены круглого сечения эквивалентным сечением с постоянной шириной, см., например: (8.13) в СП 63.13330.2012².

Внешняя привлекательность и кажущаяся простота сделали незаметными (и по сей день) главные особенности* (здесь и далее звездочкой обозначен перечень ошибок) теории (п. 1):

- отсутствие у колонны длины;
- наличие у сечения колонны свойства абсолютно твердого тела;
- надделение бетона и арматуры бесконечной площадкой 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. Формулы и расчетная схема сечения с пластическим шарниром из монографии А.А. Гвоздева заимствованы в современных нормах.

2.3. 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 линеаризации 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. 4.

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

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

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

² СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М., 2012. 156 с.

Здесь и в дальнейшем использованы общепринятые обозначения построенной теории с ошибками (якобы она максимально приближена к действительным условиям работы).

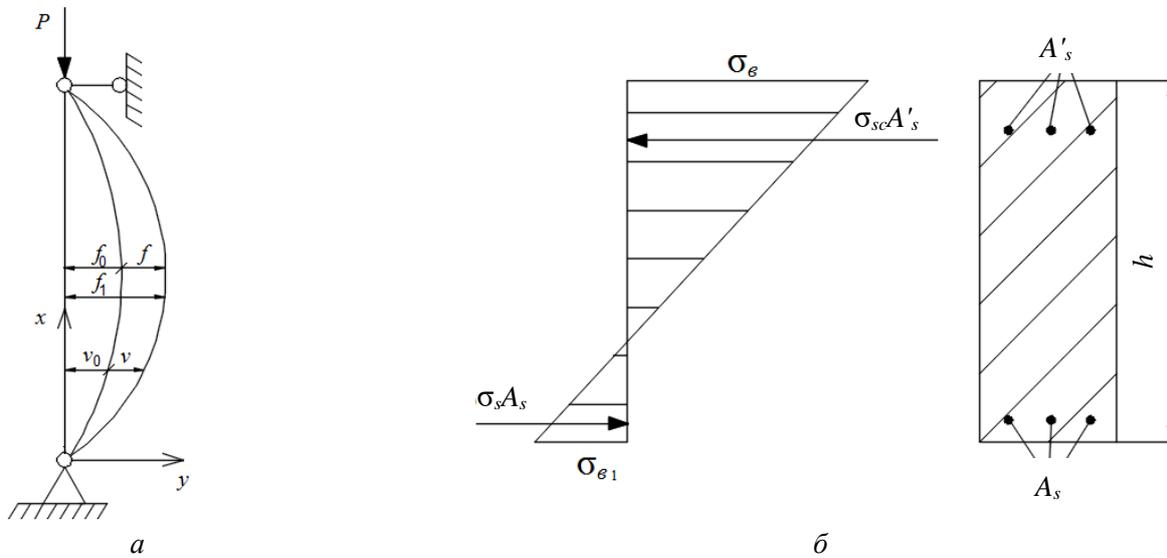


Рис. 4. Упругая, либо упруговязкая, колонна с начальной погибью:
 а – расчетная схема; б – поперечное сечение, неограниченные напряжения в бетоне и арматуре – трещины отсутствуют
Figure 4. Elastic, or elastic-viscous, column with initial deflection:
 а – calculation diagram; б – cross-section, unlimited stresses in concrete and reinforcement – there are no cracks

В теории (п. 2) указывается, 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

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

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

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 теории (п. 2, п. 3):

- гипербола Эйлера прерывается в точке C (см. рис. 1), то есть на участке СВ 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 теории (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. В гиперболе Эйлера отмечена одна точка, лежащая на горизонтальной оси с координатой 1,0 (рис. 5).

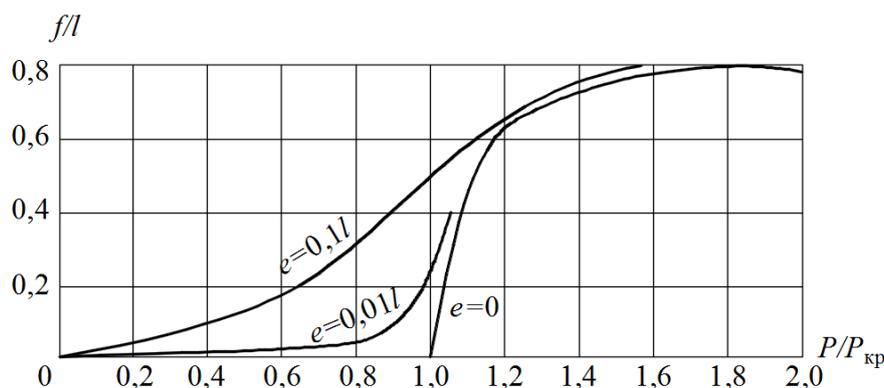


Рис. 5. Зависимость между стрелой прогиба и продольной силой для сжатоизогнутых и центрально сжатых ($e = 0$) колонн
Figure 5. Dependence between the deflection boom and the longitudinal force for compressed-curved and centrally compressed ($e = 0$) columns

Каждая из изложенных теорий является истиной лишь на своем месте в общей теории расчета сооружений. Так, теория (п. 1) – только одна из четырех линий – границ области в частной схеме нагружения упругопластической устойчивости – лишь одной из многих схем, в которых таких границ вовсе нет (см. 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 [15].

Кажущаяся новизна непригодной теории (п. 1) и ее ошибочная привлекательность в сороковые годы прошлого столетия вызвали решительные действия к внедрению, и в угоду этим действиям была принесена в жертву сущность теории расчета железобетона, о чем свидетельствует выдвинутая гипотеза теории (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. Применив 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 нагружения 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 эпурой напряжений, без трещины;
- упругая эпюра напряжений (рис. 3) мгновенно превращается в эпюру напряжений пластического шарнира (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.

2.4. Неправильное применение задачи 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 ВС 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 P_d при длительном нагружении, невозможные при внецентренном сжатии (см. 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.

2.5. Ошибочная теория линейной ползучести бетона

В теории (п. 5), являющейся мировой, 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 [15–18].

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 [19], 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 (рис. 6);

- 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, пропорциональных 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.

Фундаментальные экспериментальные данные на рис. 6 не используют название «мера ползучести». В них отсутствует понятие «мера ползучести»: по этой причине на данный рис. 6 в научной литературе не обращают внимания. По этим данным и другим понятиям закона ползучести нами написана отдельная статья, готовящаяся к публикации.

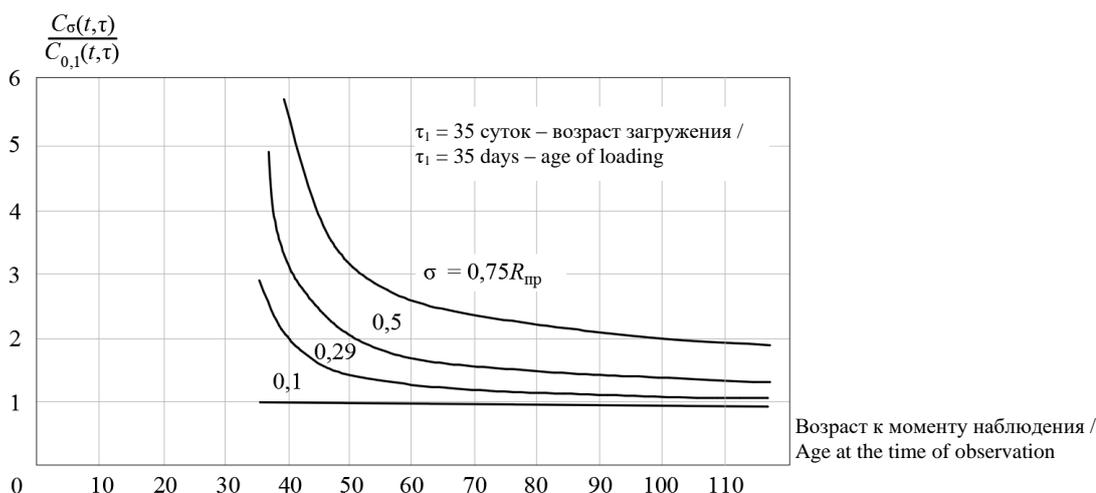


Рис. 6. Изменение отношений удельных деформаций ползучести при разных начальных уровнях напряжений $C_\sigma(t, \tau)$ к удельным деформациям ползучести при начальном уровне напряжений $C_{0,1}(t, \tau)$

Figure 6. Changing the ratios of specific creep deformations at different initial levels of stress $C_\sigma(t, \tau)$ to the specific creep deformations at the initial level of stress $C_{0,1}(t, \tau)$

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

выражениями, что наглядно видно из проблемы расчета конструкций «Трансвааль-парка».

Ненаучность ошибочной теории длительного сопротивления железобетона, ее основного закона ползучести бетона, оценки фирмы RAMBOLL [19] (президент fib Гордон Кларк) свидетельствуют, что данная теория наносит огромный вред мировому строительству.

3. Результаты и обсуждение

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 допустимо производить расчет 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.

Поскольку 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 опередило мировую практику в этом вопросе»; «В расчетных моделях Еврокода есть и расчет по предельным усилиям» – все это 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.

Президент fib Гордон Кларк предупреждает: «Точное прогнозирование влияния ползучести... носит *весьма противоречивый характер*». Нами установлены причины ненаучности этой теории – среди них математические ошибки и нарушение принципов классической механики [15–17; 22]³. Также нами разработана новая нелинейная теория ползучести бетона, еще не опубликованная, дополняющая общую теорию [23].

Результаты анализа теории расчета железобетона [24], а также сущность математических ошибок теории ползучести бетона докладывались и обсуждались на международном симпозиуме 2018 г. в Бельгии [25] и на международной конференции 2014 г. в Москве [19].

4. Заключение

Показано, что теория расчета железобетонных конструкций, получившая широкое распространение (при длительном нагружении), включает в себя пять противоречивых (в том числе ошибочных) теорий, суть которых и один постулат были установлены ранее. Используя правила математики, принципы механики и результаты солидных экспериментов, выявлено, что анализируемая теория содержит совокупность теорий, отвергающих друг друга в различных целях, в том числе и ошибочных.

Список литературы

1. *Kazinczy G.* Kiserletek befalazott tartokkal // *Betonszemle*. 1914. No. 2. Pp. 68–71.
2. *Girkmann K.* Bemessung von Rahmentragwerken unter Zugrundelegung eines ideal – plastischen Stahles. Akademie der Wissenschaften in Wien (Abschnitt IIa), 1931. No. 140. 679 p.
3. *Neal B.G.* The plastic methods of structural analysis. London: Chapman and Hall, 1956. 353 p.
4. *Horne M.R.* The stability of elastic – plastic structures // *Progress in Solid Mechanics*. 1961. No. 2. Pp. 227–322.
5. *Prager W.* The general variational principle of the theory of structural stability // *Quarterly of Applied Mathematics*. 1947. No. 4. Pp. 378–384. <https://doi.org/10.1090/qam/21843>
6. *Horne M.R.* Plastic theory of structures. Cambridge: MIT Press, 1972. 184 p.
7. *Вольмир А.С.* Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 984 с.
8. *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*. Пленарные доклады. М., 2005. Т. 1. С. 119–131.

³ ACI 209.3R-XX. *Analysis of creep and shrinkage effects on concrete structures. Final draft*. ACI Committee 209; March 2011. 228 p.

9. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1991. 767 с.
10. Бондаренко В.М., Суворкин Д.Г. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 1987. 383 с.
11. Chiorino M.A., Sassone M. Further considerations and updates on time dependent analysis of concrete structures // *Structural Concrete: Textbook on Behaviour, Design and Performance*. Lausanne: International Federation for Structural Concrete, 2010. Pp. 43–69.
12. Muller H.S., Reinhardt H.W. Beton // *Betonkalender 2010*. Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2010. Band 1. Pp. 293–436.
13. 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.
14. Прокопович И.Е. О влиянии ползучести и старения на устойчивость сжатых стержней // *Строительная механика и расчет сооружений*. 1967. № 1. С. 5–9. URL: <https://dwg.ru/dnl/12318> (дата обращения: 12.11.2022).
15. 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>
16. 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.
17. Санжаровский Р.С., Манченко М.М., Гаджиев М.А., Мусабиев Т.Т., Тер-Эммануильян Т.Н., Вареник К.А. Система несостоятельности современной теории длительного сопротивления железобетона и предупреждения проектировщиков // *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>.
18. 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.
19. Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону. М., 2014. 468 с.
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. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko M. Creep of concrete and its instant nonlinear deformation in the calculation of structures // *10th International Conference on Mechanics and Physics of Creep, Shrinkage, and Durability of Concrete and Concrete Structures*. 2015. No. 10. Pp. 238–247. <https://doi.org/10.1061/9780784479346.028>
23. Санжаровский Р.С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1984. С. 280.
24. Теория расчета бетонных и железобетонных конструкций / под общ. ред. А.А. Гвоздева. М., 1949.
25. Life-cycle analysis and assessment in civil engineering. Proceedings of the Sixth international symposium of life-cycle civil engineering (IALCCE), Ghent, Belgium, 28 October 2018 / ed. by R. Caspeele, L. Taerwe, D.M. Frangopol. Ghent: CRC Press, 2018. 604 p. <https://doi.org/10.1201/9781315228914>

References

1. Kazinczy G. Kiserletek befalazott tartokkal. *Betonszemle*. 1914;(2):68–71.
2. Girkmann K. *Bemessung von Rahmentragwerken unter Zugrundelegung eines ideal – plastischen Stahles* (no. 140). Akademie der Wissenschaften in Wien (Abschnitt IIa); 1931.
3. Neal B.G. *The plastic methods of structural analysis*. London: Chapman and Hall; 1956.
4. Horne M.R. The stability of elastic – plastic structures. *Progress in Solid Mechanics*. 1961;(2):227–322.
5. Prager W. The general variational principle of the theory of structural stability. *Quarterly of Applied Mathematics*. 1957;(4):378–384. <https://doi.org/10.1090/qam/21843>
6. Horne M.R. *Plastic theory of structures*. Cambridge: MIT Press; 1972.
7. Volmir A.S. *Stability of deformable systems*. Moscow: Nauka Publ.; 1967. (In Russ.)
8. Begliv A.D., Sanjarovskiy R.S., Bondarenko V.M. European standards and nonlinear theory of reinforced concrete. *Concrete and Reinforced Concrete – Ways of Development: Proceedings of the II All-Russian (International) Conference. Plenary reports* (vol. 1, p. 119–130). Moscow; 2005. (In Russ.)
9. Bayikov V.N., Sigalov E.E. *Reinforced concrete structures*. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1991. (In Russ.)
10. Bondarenko V.M., Suворкин D.G. *Reinforced concrete and stone structures*. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 1987. (In Russ.)
11. Chiorino M.A., Sassone M. Further considerations and updates on time dependent analysis of concrete structures. *Structural Concrete: Textbook on Behaviour, Design and Performance*. Lausanne: International Federation for Structural Concrete; 2010. Pp. 43–69.
12. Muller H.S., Reinhardt H.W. Beton. *Betonkalender 2010* (band 1, p. 293–436). Berlin: Ernst & Sohn Verlag; 2010.
13. Yu Q., Bazant Z.P., Wendner R. Improved algorithm for efficient and realistic creep analysis of large creep – sensitive concrete structures. *Acı Structural Journal*. 2012;109(5):665–675.

14. Prokopovich I.E. On the influence of creep and aging on the stability of compressed rods. *Structural Mechanics and Calculation of Structures*. 1967;(1):5–9. Available from: <https://dwg.ru/dnl/12318> (accessed: 12.11.2022).
15. Sanzharovsky R.S., Ter-Emmanuilyan T.N., Manchenko M.M. Superposition principle as the fundamental error of the creep theory and standards of the reinforced concrete. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2018;14(2):92–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-2-92-104>
16. Sanzharovskij R.S., Manchenko M.M. Errors in the concrete theory and creep modern regulations. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2016;(3):25–32. (In Russ.)
17. Sanzharovskij 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. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2019;15(1):3–24. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2019-15-1-3-24>
18. Sanzharovskij R.S., Manchenko M.M. Errors of international standards on reinforced concrete and rules of the Eurocode. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2017;(6):25–36. (In Russ.)
19. *Concrete and reinforced concrete – a look into the future. Scientific papers of the III All-Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete*. Moscow; 2014. (In Russ.)
20. Alexandrovsky S.V. (ed.) *Creep and shrinkage of concrete and reinforced concrete structures. The state of the problem and prospects for development*. Moscow: Strojizdat Publ.; 1976. (In Russ.)
21. Gvozdev A.A., Gushcha Yu.P., Chistyakov E.A. Comparison of domestic and foreign design standards. *Concrete and Reinforced Concrete*. 1979;(5):24–25. (In Russ.)
22. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko M. Creep of concrete and its instant nonlinear deformation in the calculation of structures. *10th International Conference on Mechanics and Physics of Creep, Shrinkage, and Durability of Concrete and Concrete Structures*. 2015;(10):238–247. <https://doi.org/10.1061/9780784479346.028>
23. Sanzharovskij R.S. *Creep stability of building structure elements*. Leningrad: LGU Publ.; 1984. (In Russ.)
24. Gvozdev A.A. (ed.) *The theory of calculation of concrete and reinforced concrete structures*. Moscow; 1949. (In Russ.)
25. Caspeele R., Taerwe L., Frangopol D.M. (eds.) *Life-cycle analysis and assessment in civil engineering. Proceedings of the Sixth international symposium of life-cycle civil engineering (IALCCE), Ghent, Belgium, 28 October 2018*. Ghent: CRC Press; 2018. <https://doi.org/10.1201/9781315228914>