

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ANALYSIS AND DESIGN OF BUILDING STRUCTURESDOI: 10.22363/1815-5235-2024-20-1-3-13
УДК 624.012
EDN: WVKFJM

Научная статья / Research article

Современная теория ползучести железобетона

А.Д. Беглов¹ , Р.С. Санжаровский² , Т.Н. Тер-Эммануильян³  ¹ Администрация Санкт-Петербурга, *Санкт-Петербург, Россия*² Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, *Астана, Республика Казахстан*³ Российский университет транспорта, *Москва, Россия*

✉ tanya_ter@mail.ru

История статьи

Поступила в редакцию: 29 сентября 2023 г.

Доработана: 10 декабря 2023 г.

Принята к публикации: 20 декабря 2023 г.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Нераздельное соавторство.

Аннотация. Исследованы важные особенности теории ползучести железобетона, выявленные и опубликованные ранее. В основе создания и развития теории ползучести железобетона заложены ненаучные принципы, заимствованные из несоответствующих этой теории систем классической механики. Проведен подробный анализ теории, применяемой во многих странах, при этом выявлено пять переупрощений, отвергающих фундаментальные эксперименты, Еврокоды, правила математики и механики: перечисленные в законе ползучести, переупрощений, грубо искажающих результаты расчета не только самих деформаций, но и последующие методы расчета железобетонных конструкций. К ним относятся: без надобности измененный классический закон Гука; навязывание отсутствующего у бетона свойства — алгебраической меры ползучести; ошибочный принцип наложения (он же принцип суперпозиции Больцмана); использование вместо мгновенных нелинейных пластических деформаций упруговязких деформаций; замена точных — нелинейных и нестационарных свойств бетона — линейными, искажающими качественную сторону явлений, присущих только нелинейным системам. Эти ошибки перекрываются необоснованными коэффициентами запаса, что подрывает экономическую составляющую проблемы, и ввиду громадных объемов применения железобетона во всем мире анализируемая ненаучная теория его расчета приносит значительный экономический ущерб в мировом строительстве.

Ключевые слова: минутная ползучесть, мера ползучести, принцип наложения, мгновенные упругие деформации, пластический шарнир, длительное сопротивление железобетона, современные строительные нормы, принципы Еврокода

Для цитирования

Беглов А.Д., Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.Н. Современная теория ползучести железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2024. Т. 20. № 1. С. 3–13. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2024-20-1-3-13>

Беглов Александр Дмитриевич, доктор экономических наук, губернатор Санкт-Петербурга, администрация Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0004-2350-492X; E-mail: 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; E-mail: milasanj@gmail.com

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

© Беглов А.Д., Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.Н., 2024

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

Modern Theory of Creep of Reinforced Concrete

Alexander D. Beglov¹ , Rudolf S. Sanjarovskiy² , Tatyana N. Ter-Emmanuilyan³  

¹ Administration of St. Petersburg, *Russia*

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

³ Russian University of Transport, *Moscow, Russia*

✉ tanya_ter@mail.ru

Article history

Received: September 29, 2023

Revised: December 10, 2023

Accepted: December 20, 2023

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Authors' contribution

Undivided co-authorship.

Abstract. The important features of the theory of creep of reinforced concrete, identified and published earlier, are explored. The creation and development of the theory of creep of reinforced concrete is based on non-scientific principles taken from systems of classical mechanics that do not correspond to this theory. A detailed analysis of the theory used in many countries was performed, while five oversimplifications were identified that reject fundamental experiments, Eurocodes, rules of mathematics and mechanics: listed in the law of creep, oversimplifications that grossly distort the calculation results, not only the deformations themselves, but also subsequent methods for calculating reinforced concrete structures. These include: unnecessarily modified classical Hooke's law; imposing a property missing from concrete — an algebraic measure of creep; erroneous superposition principle; use of viscoelastic deformations instead of instantaneous nonlinear plastic deformations; replacement of obvious — nonlinear and non-stationary properties of concrete with linear ones, distorting the qualitative side of phenomena inherent only in nonlinear systems. These errors are covered by unreasonable safety factors, which undermines the economic component of the problem, and of the enormous volumes of reinforced concrete used throughout the world, the analyzed unscientific theory of its calculation causes enormous economic damage in global construction.

Keywords: minute creep, creep measure, superposition principle, instantaneous elastic deformations, plastic hinge, long-term resistance of reinforced concrete, modern building codes, Eurocode principles

For citation

Beglov A.D., Sanjarovskiy R.S., Ter-Emmanuilyan T.N. Modern theory of creep of reinforced concrete. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2024;20(1):3–13. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2024-20-1-3-13>

1. Введение

Главный строительный материал современности имеет удивительно ненаучную теорию расчета конструкций, определяемую сложными нелинейными и нестационарными свойствами бетона, его ползучестью.

Мировая теория ползучести железобетона недостоверно высоко оценивается известными учеными Европы и США, такими как З.П. Базант, Р. Венднер, Х.С. Мюллер, М.А. Чиорино и др. [1–3]; она разработана ведущими организациями мира, среди них fib, ACI, RILEM, IASS, различными университетами. Например, в 2018 г. председатель комитета ACI 209 «Ползучесть и усадка в бетоне» подчеркивает, что эта теория «разработана в последние десятилетия международными организациями, занимающимися стандартами и стандартами, на основе общей, хотя и прогрессивно развивающейся научной базы и, по существу, согласованного во всем мире формата» [4].

fib — Международная федерация по железобетону, которая является «организацией, разрабатывающей преднормы, что подразумевает определенную новаторскую деятельность в области технического регулирования: модельный кодекс проектирования железобетонных конструкций — fib — 2020» [5].

Alexander D. Beglov, Doctor of Economics, Governor of St. Petersburg, St. Petersburg Administration, St. Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0004-2350-492X; E-mail: gubernator@gov.spb.ru

Rudolf S. Sanjarovskiy, 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; E-mail: milasanj@gmail.com

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

АСИ — Американский институт бетона, имеющий свои отделения во всем мире. В АСИ свыше 22 тысяч членов, работающих более чем в 500 Технических комитетах. Известны и другие международные организации, некоторые руководители которых активно возглавляют разработку основ анализируемой теории ползучести железобетона.

Сущность записи теории и ее авторские оценки мы приведем в оригинальном изложении, описанном одним из ее основоположников. Также обратим внимание на неверную оценку ее истоков: «...основы этой новой теории были заложены в теоретической механике сплошных сред в начале XX в. Вольтерра [6] (1909) под определением упругого последствия, однако только в начале 1940-х гг. эта теория была признана инженерами-проектировщиками в качестве подходящего математического аппарата для расчета ползучести бетонных конструкций». Исходные положения общей теории железобетона определяются прежде всего законом ползучести, форматом его математической записи кратковременных и длительных деформаций. «Этот формат, впервые принятый в предварительном стандарте СЕВ в рамках типовых норм 1978 г. и широко используемый в родственном Пособии СЕВ, теперь системно принят в последних руководящих документах, рекомендациях и нормах международными организациями по стандартизации [7–9]. Он основан на вводе интегрального уравнения Вольтерра в качестве основного закона для бетона в последующих эквивалентных формах, представляя обобщение по принципу линейного наложения реакции бетона на удельное длительное одноосное наложенное напряжение или деформацию для изменяющихся во времени величин этих приложенных воздействий (мы его приводим в оригинальных обозначениях)» [10]:

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

где $\varepsilon_{\sigma}(t)$ — полная деформация от напряжения $\sigma(t)$;

$$J(t, t') = \frac{1}{E_c(t')} + \frac{\varphi(t, t')}{E_c(t')} \text{ — функция податливости,}$$

где $E_c(t')$ — нестационарный модуль упругости; $\varphi(t, t')$ — нестационарная характеристика ползучести, учитывающая старение.

В научных публикациях обычно интегрируют в (1) по частям, получая (1'):

$$\varepsilon_{\sigma}(t) = \frac{\sigma(t)}{E_c(t)} - \int_{t_0}^t \sigma(t') \frac{\partial}{\partial t'} \left(\frac{1}{E_c(t')} + \frac{\varphi(t, t')}{E_c(t')} \right) dt'. \quad (1')$$

Заметим, что дробь $\frac{\varphi(t, t')}{E_c(t')}$ является мерой ползучести бетона $C(t, t')$, используемой в публикациях в нашей стране, что предпочтительнее применения характеристики ползучести при обработке экспериментов.

Подчеркнем, что в $\varphi(t, t')$ и $C(t, t')$ учитывается старение бетона, а модуль упруго-мгновенной деформации $E_c(t')$ существенно зависит от возраста бетона.

Уравнения (1), (1') обосновываются двумя основополагающими допущениями: принципом линейной связи между напряжениями и деформациями:

$$\varepsilon_{\sigma}(t, t') = \sigma(t')J(t, t'); \quad (1'')$$

принципом наложения, нелепо сформулированным в многочисленных изложениях, в справочниках, а также другими самовольными гипотезами и переупрощениями, отвергающими фундаментальные эксперименты, Еврокоды, правила математики и механики:

- I. Без надобности искаженный классический закон Гука;
- II. Навязывание отсутствующего у бетона свойства — алгебраической меры ползучести;
- III. Ошибочный принцип наложения (он же принцип суперпозиции Больцмана [11]);

IV. Использование вместо мгновенных нелинейных пластических деформаций, упруговязких деформаций (минутная ползучесть);

V. Замена точных — нелинейных и нестационарных свойств бетона — линейными, искажающими качественную сторону явлений, присущих только нелинейным системам.

Далее мы рассмотрим эти переупрощения подробно.

2. Материалы и методы

2.1. Искажение закона Гука

I. Классический закон Гука имеет (подчеркнем это) фундаментальную алгебраическую форму записи

$$\varepsilon_r(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)}. \quad (I.1)$$

Во-первых, корифеи мировой теории без всякого обоснования отвергают его; во-вторых, дифференцирование закона по времени t дает скорость мгновенных деформаций:

$$\dot{\varepsilon}_r(t) = \frac{\dot{\sigma}(t)}{E(t)} + \sigma(t) \frac{d}{dt} \frac{1}{E(t)}. \quad (I.2)$$

В-третьих, из данного выражения выбрасывается второе слагаемое (без объяснения причины):

$$\dot{\varepsilon}_r(t) = \frac{\dot{\sigma}(t)}{E(t)}, \quad (I.3)$$

а фундаментальный закон Гука принимает искаженный вид (I.3).

В-четвертых, искаженный вид (I.3) интегрируют по времени:

$$\varepsilon_r(t) = \varepsilon_r(t_0) + \int_{t_0}^t \dot{\sigma}(t') \frac{1}{E(t')} dt', \quad (I.4)$$

и получают искаженный закон Гука в интегральной форме; в-пятых, со ссылкой на принцип наложения, якобы примененный при выводе интегральных уравнений, если умалчивать о предыдущих четырех математически ошибочных действиях.

Можно описать, что делалось неоднократно, структуру подынтегральной функции (I.4), назвать это принципом наложения и не заметить ошибок, перечисленных выше, подмены закона Гука (I.1): к сожалению, это осуществляют многие весьма авторитетные ученые.

Для наглядности восприятия сказанного приведем сравнение:

➤ классический закон Гука записывается в алгебраическом виде (I.1); ему также соответствует дифференциальное уравнение (I.2);

➤ исковерканный закон Гука записывается в виде интегрального уравнения (I.4) либо в виде интегрального уравнения (I.5)

$$\varepsilon_r(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)} - \int_{t_0}^t \sigma(t') \frac{d}{dt'} \frac{1}{E(t')} dt', \quad (I.5)$$

либо в виде дифференциального уравнения (I.3). Очевидную необоснованность дифференциального уравнения (I.3) в мировой теории не замечают ее разработчики — «мировые авторитеты» США и Европы; также если мы проинтегрируем (I.2), то получим (I.1). Можно оценить численно ошибку, связанную с подменой классического закона Гука, искаженным законом, используя солидные экспериментальные данные института ВНИИГ, показывающие повышение модуля упругости бетона при сжатии, с увеличением возраста бетона (рис. 1). При постоянном значении напряжения сжатия бетона $\sigma = \text{const}$, из (I.3) записываем $\dot{\varepsilon}_r(t) = \text{const}$, в сравнении же с законом Гука (I.1) — ошибка составляет до 300 % для возраста бетона — около 360 дней.

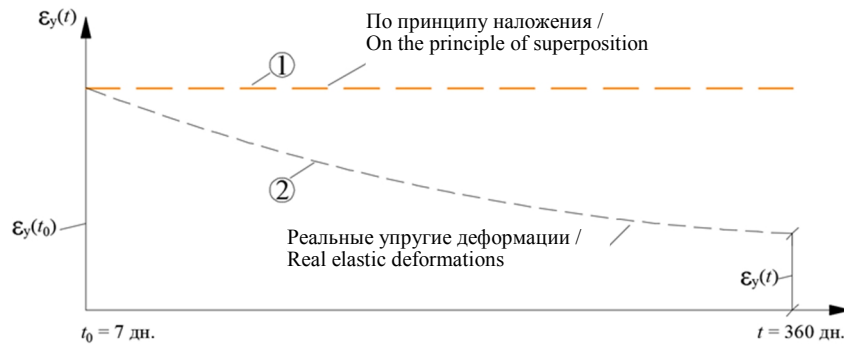


Рис. 1. Сравнение $\varepsilon_y(t_0)$ и $\varepsilon_y(t)$ [12]
Figure 1. Comparison of $\varepsilon_y(t_0)$ and $\varepsilon_y(t)$ [12]

Обращаем внимание: авторами рассмотрена не проблема упрощения мгновенной нелинейной диаграммы с помощью закона Гука, что часто звучит в зарубежных дискуссиях, а исследована особенность грубого искажения самого классического закона Гука в «передовой мировой теории ползучести бетона». Ошибка от замены всей мгновенной диаграммы рассмотрена в IV.

2.2. Несуществующая мера ползучести бетона в (1) и (1')

II. В мировых научных публикациях это свойство бетона (мера ползучести) имеет множество названий:

- деформация от единицы приложенного напряжения;
- реакция деформации на удельное напряжение;
- коэффициент ползучести (характеристика ползучести), поделенный на модуль упругости (1');
- ползучесть бетона при единичной нагрузке;
- удельная относительная деформационная ползучесть;
- мера «простой ползучести»;
- мера ползучести «при монотонном режиме загрузки»;
- мера текучести бетона и др.

Мы приведем здесь два обоснования наличия меры: первое и последнее (по времени). После первых опытов Дэвиса в США (1931 г.): «По-видимому, величина течения пропорциональна нагрузке, испытываемой бетоном, поэтому деформацию, происходящую от его течения, условимся относить к единичной нагрузке». Мы видим здесь указание на необходимость дальнейшей работы. Современное (последнее): «Целесообразно привлечение простейших реологических моделей ползучести», включенных в рекомендации различных стран:

$$C(t, \tau) = f(\tau)(1 - Ke^{-\gamma(t-\tau)}), \quad (\text{II.1})$$

где $f(\tau) = C_{28, \text{besk}} \Omega(\tau)$.

При использовании характеристика ($\varphi(\tau)$) ползучести (по Еврокоду — коэффициента ползучести)

$$f(\tau) = \frac{\varphi(\tau)}{E_c(\tau)}.$$

Константа $K < 1$ считается предназначенной для учета минутной ползучести (подменяющей мгновенные нелинейные деформации). Структура (II.1) заимствована из работы Мак-Генри [13], осуществившего аппроксимацию экспериментальных кривых ползучести.

Уравнение (II.1) восхваляется, обосновывается законом химических реакций (вместо законов классической механики) в виде дифференциального уравнения первого порядка; из работ классиков механики легко увидеть, что (II.1) невозможно получить на основании дифференциального уравнения первого порядка. Уравнения типа (II.1) широко используются сейчас в разных странах, поэтому оценим его с помощью результатов фундаментальных экспериментов. Отсутствие у бетона алгебраической функции меры

ползучести можно усмотреть уже из опытов N. Freundenthal, F. Roll [14]. Мы воспользуемся фундаментальными экспериментами НИИЖБ [15].

Проведем сначала, предусмотренный математикой, первый этап исследования — анализ общего вида меры ползучести (II.1).

Рассмотрим с помощью (II.1) два случая длительного нагружения постоянным напряжением (в разное время): $\sigma_1, t_1; \sigma_2, t_2$:

$$\varepsilon_1(t) = \sigma_1 f(t_1)(1 - Ke^{-\gamma(t-t_1)});$$

$$\varepsilon_2(t) = \sigma_2 f(t_2)(1 - Ke^{-\gamma(t-t_2)}).$$

Избавляемся от времени t и находим связь деформаций ползучести $\varepsilon_1(t)$ и $\varepsilon_2(t)$ между собой:

$$\varepsilon_2(t) = \sigma_2 f(t_2)(1 - e^{\gamma(t_2-t_1)}) + \frac{\sigma_2 f(t_2)}{\sigma_1 f(t_1)} e^{\gamma(t_2-t_1)} \varepsilon_1(t).$$

Вводя очевидные обозначения, имеем уравнения прямой в координатах ε_1 и ε_2 :

$$\varepsilon_2(t) = a \varepsilon_1(t) + b.$$

Другими словами, первый этап исследования эмпирической формулы (II.1) показывает, что значения любых экспериментальных $\varepsilon_i(t)$ деформаций связаны между собой прямой линией с соответствующим угловым коэффициентом. Перенеся начало координат соответствующим образом и разделив на $\varepsilon_1(t)$, получаем зависимость во времени

$$\frac{\varepsilon_2(t)}{\varepsilon_1(t)} = \frac{\sigma_2 f(t_2)}{\sigma_1 f(t_1)} e^{\gamma(t_2-t_1)} = \text{const.}$$

Если же напряжения σ_1 и σ_2 приложены в один момент времени (возраст нагружения), то мы получаем серию прямых параллельных времени t (возраст наблюдения) (рис. 2). На этом же рисунке показаны фундаментальные экспериментальные результаты НИИЖБ в обработке С.В. Александровского и П.И. Васильева [16].

Мы видим, что эти фундаментальные экспериментальные данные, опубликованные почти 50 лет назад, отвергают современную мировую теорию железобетона, основанную на понятии: «мера ползучести бетона»; либо «коэффициент ползучести бетона» (по Еврокоду); также на эмпирических формулах типа (II.1), описывающих это понятие в сегодняшних публикациях и на международных научных форумах. Из данных рис. 2 видно, что ошибка расчетов от применения несуществующей меры ползучести бетона доходит до 500 %.

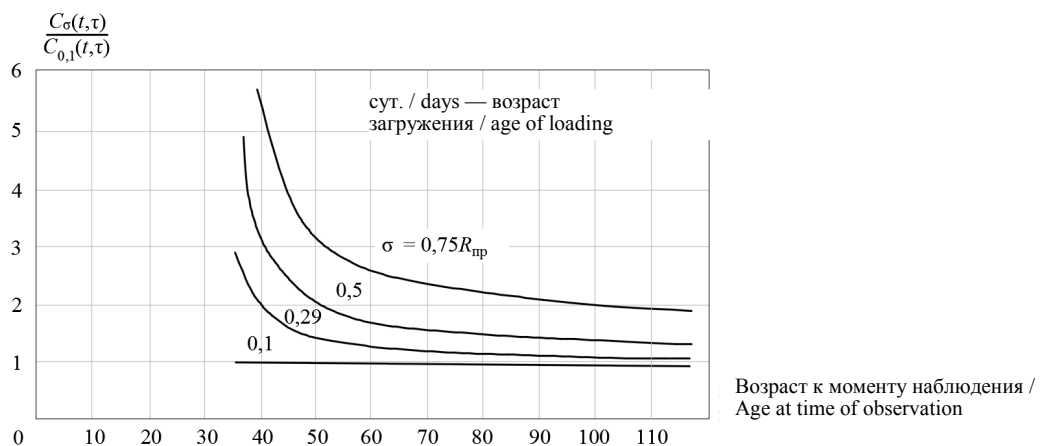


Рис. 2. Изменение отношений удельных деформаций ползучести при разных начальных уровнях напряжений $C_\sigma(t, \tau)$ к удельным деформациям ползучести при начальном уровне напряжений $C_{0,1}(t, \tau)$ [17]

Figure 2. Change in the ratio of specific creep deformations, at different initial stress levels $C_\sigma(t, \tau)$ to specific creep deformations, at an initial stress level $C_{0,1}(t, \tau)$ [17]

Подчеркнем еще раз, что речь идет об алгебраических зависимостях $\frac{\phi(t,t')}{E_c(t')}$, положенных в основу закона ползучести бетона (1) и (1') в мировых стандартах и предстандартах. Также ошибочным является применение меры ползучести (II.1) при простом нагружении либо при алгебраизации теории: подставим (1'') в соответствующий закон ползучести; мы получим линейное дифференциальное уравнение второго порядка относительно переменной величины $\sigma(t)$ с переменными коэффициентами. Как известно из математики, общее решение таких уравнений отсутствует.

2.3. Принцип наложения

III. Принцип наложения добавляет в расчеты свою долю ошибок, в искажение несуществующей характеристики ползучести (либо меры ползучести).

Подынтегральная функция в законе (1) и (1') характеризует величину скорости деформаций ползучести. Учитывая использование в интегральном уравнении гипотезы принципа линейной связи (1''), можно усмотреть *ошибочную вырожденность* в подынтегральной функции (1). Из математики известно, что в случае связи (1''), скорость деформации ползучести равна

$$\dot{\varepsilon}_\sigma = I(t, t')\dot{\sigma}(t') + \frac{\partial I(t, t')}{\partial t'}\sigma(t') + \frac{\partial I(t, t')}{\partial t}\sigma(t'), \quad (1''')$$

причем второе слагаемое содержит в себе несколько слагаемых, вызванных использованием коэффициента ползучести (характеристики ползучести).

В интегральном уравнении (1) потеряны два последних слагаемых из (1'''). Эти грубые ошибки недопустимо приписывать известным ученым В. Вольтерру или Л. Больцману, восхваляя «передовой формат закона» ползучести железобетона. Обратим внимание, что в целях наукообразия можно использовать (для ядра интегрального уравнения) по одному слагаемому из (1'''), можно по два, можно по три: то есть одно выдуманное выражение для функции меры ползучести позволяет построить семь законов механического движения и соответствующие им различные кинематические уравнения движения для расчета одной и той же строительной конструкции.

Можно для каждого из отмеченных законов построить соответствующее дифференциальное уравнение [18; 19] (помимо закона химических реакций). Эти ненаучные результаты мы приводить не будем. Напомним лишь указание президента fib Гордона Кларка [20] (фирма RAMBOLL), что «точное прогнозирование влияния ползучести носит весьма противоречивый характер».

2.4. Минутная ползучесть

IV. Приведем диаграмму $\sigma - \varepsilon$ кратковременных деформаций бетона по Еврокоду, ее аналитическое описание (рис. 3). Эти данные общеизвестны, они обоснованы многочисленными экспериментами.

Фиктивная диаграмма из «мировой теории ползучести» показана пунктирной линией. Еще в 1931 г. Эмпергер показал, что теория упругого бетона является ошибочной; он предложил свое уравнение для описания диаграммы в виде параболы:

$$\sigma = E_c(t)\varepsilon_m - B_c(t)\varepsilon_m^2. \quad (IV.1)$$

В «мировой теории ползучести» бетона восхваляется замена нелинейной части ε_n мгновенной деформации деформациями ползучести, со своей мерой ползучести. В результате таких «упрощений» *алгебраическое уравнение* (IV.1) для полных мгновенных деформаций ε_m «преобразуется» в дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\ddot{\varepsilon}_m(t) + \gamma_m \dot{\varepsilon}_m(t) = \ddot{\sigma}(t) \frac{1}{E_c} + \dot{\sigma}(t) \left(\frac{\gamma_m}{E_c(t)} + \gamma_m \varphi_m \frac{\dot{E}_c(t)}{E_c^2(t)} \right) + \sigma(t) \gamma_m^2 \varphi_m. \quad (IV.2)$$

От таких «преобразований», к примеру, в расчетах сжатых конструкций (для средних и малых гибкостей) ошибки составляют несколько сотен процентов.

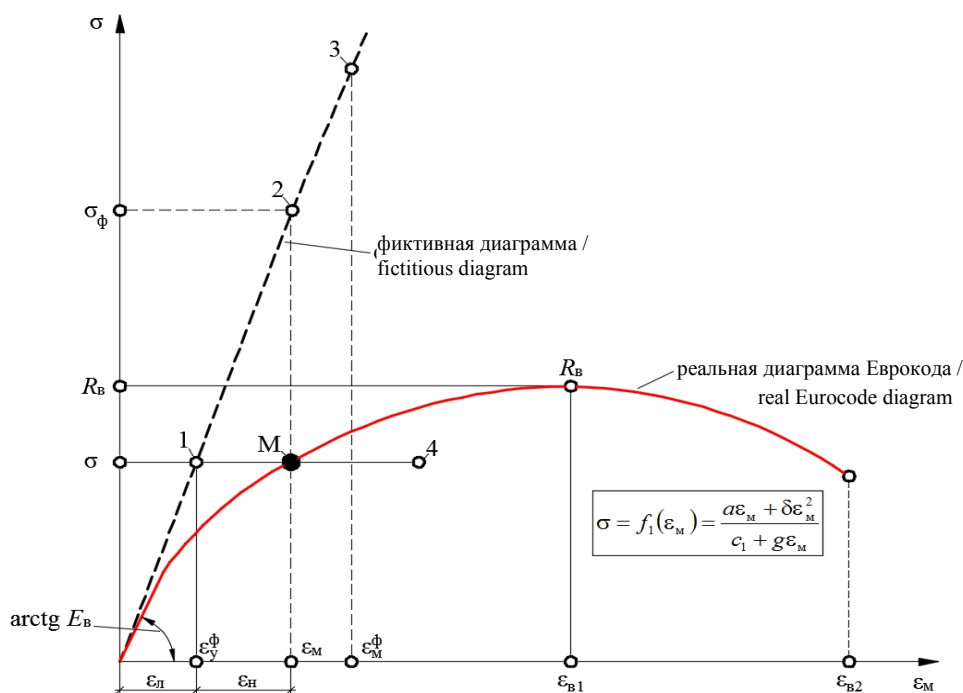


Рис. 3. Искажение диаграммы $\sigma - \epsilon$ бетона [12]
Figure 3. Distortion of the $\sigma - \epsilon$ diagram of concrete
 Фигтивная диаграмма — fictitious diagram [12]

Кроме того, в механике Ньютона, наличие сил сопротивления, пропорциональных ускорению $\ddot{\epsilon}_M(t)$, свидетельствует о нарушении принципа независимости действия сил (закон суперпозиции сил, четвертая аксиома).

2.5. Подмена нелинейных деформаций ползучести линейными

V. Начиная с экспериментов Н. Фройдентала и Ф. Ролла (1958 г.), а также с последовательных фундаментальных опытов НИИЖБ в научной литературе сформировано утверждение: деформации ползучести бетона *нелинейно зависят от напряжений*, начиная с «самых низких уровней». Другими словами: «никакой линейной ползучести бетона не существует». Дополнительно корифеи С.В. Александровский и П.И. Васильев подчеркивают особо: «отсутствие аффинного подобия кривых ползучести, т.е. ошибочность замены в (1) и (1') напряжения $\sigma(t')$ любой функцией $f(\sigma(t'))$ »; ввиду отсутствия свойства — меры ползучести (см. рис. 2). Напомним также указания корифеев по теоретической механике Ленинградского госуниверситета¹: «линеаризация, системы, хотя и осуществляемая путем пренебрежения весьма малых величин, дает грубо упрощенное представление действительных процессов с количественными результатами, иногда неприемлемыми даже в ориентировочных расчетах она приводит к *неправильным заключениям* о поведении системы и является вообще *недопустимой*».

3. Результаты и обсуждение

Разработана новая нелинейная теория ползучести бетона, еще не опубликованная, дополняющая общую теорию расчета строительных конструкций на нелинейную ползучесть. Как известно, эта общая теория [21–24] дает *систему длительных коэффициентов* (табл.), для расчета конструкций, в отличие от *одного условного коэффициента*, закладываемого в нормы различных стран. В связи с этим напомним известные данные из математики (дифференциальные уравнения): при нелинейных и нестационарных

¹ Поляхов Н.Н., Зегжда С.А., Юшков М.П. Теоретическая механика. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 592 с.

свойствах системы у нее не существует аналитической формы реакции ее на единичное воздействие, так как не существует необходимого общего решения однородного уравнения (см. также рис. 2, опытные данные).

**Система длительных коэффициентов для расчета конструкций /
The system of long-term coefficients for calculations of constructions**

| μ | $m_{дл}$ при $m_{пр}$ равном / m_{long} with m_{given} , equal | | | | | | | | | | | |
|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2 |
| 0,2 | 0,838 | 0,845 | 0,855 | 0,860 | 0,875 | 0,890 | 0,910 | 0,928 | 0,945 | 0,968 | 0,980 | 0,990 |
| 0,15 | 0,830 | 0,835 | 0,843 | 0,850 | 0,862 | 0,875 | 0,885 | 0,900 | 0,915 | 0,925 | 0,937 | 0,950 |
| 0,125 | 0,821 | 0,825 | 0,828 | 0,835 | 0,845 | 0,855 | 0,865 | 0,880 | 0,890 | 0,900 | 0,910 | 0,922 |
| 0,1 | 0,817 | 0,820 | 0,821 | 0,822 | 0,828 | 0,838 | 0,847 | 0,855 | 0,865 | 0,875 | 0,882 | 0,895 |
| 0,075 | 0,815 | 0,815 | 0,815 | 0,815 | 0,815 | 0,815 | 0,815 | 0,815 | 0,820 | 0,822 | 0,825 | 0,830 |
| 0,05 | 0,795 | 0,795 | 0,791 | 0,790 | 0,787 | 0,785 | 0,782 | 0,780 | 0,777 | 0,775 | 0,770 | 0,765 |
| 0,025 | 0,785 | 0,780 | 0,772 | 0,767 | 0,755 | 0,740 | 0,730 | 0,712 | 0,690 | 0,670 | 0,650 | 0,625 |
| 0,01 | 0,765 | 0,757 | 0,750 | 0,737 | 0,715 | 0,695 | 0,670 | 0,645 | 0,625 | 0,600 | 0,575 | 0,550 |

4. Заключение

Фундаментом теории железобетона является закон ползучести бетона, по которому опубликовано множество монографий, научной и учебной литературы. Он включен в стандарты и нормы многих стран мира, а его ненаучность наносит громадный вред мировой экономике в виде аварий и ненужных расходов. Каждое из пяти перечисленных в законе ползучести, подробно проанализированных, и рассмотренных выше переупрощений, а именно:

- 1) без надобности искаженный классический закон Гука;
- 2) навязывание отсутствующего у бетона свойства — алгебраической меры ползучести;
- 3) ошибочный принцип наложения;
- 4) использование вместо мгновенных нелинейных пластических деформаций упруговязких деформаций (минутная ползучесть);
- 5) замена точных — нелинейных и нестационарных свойств бетона — линейными, искажающими качественную сторону явлений, присущих только нелинейным системам, грубо искажает результаты расчета (300, 500, 100 % и т.д.), не только самих деформаций, но и последующие методы расчета железобетонных конструкций; эти ошибки перекрываются необоснованными коэффициентами запаса: ненаучная политика победила экономику. Разработанная нами новая нелинейная теория ползучести бетона, еще не опубликованная, дополняющая общую теорию расчета строительных конструкций на нелинейную ползучесть, позволит избежать допущенных ранее ошибок.

Список литературы

1. 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. P. 665–675.
2. Muller H.S., Reinhardt H.W. Beton // Betonkalender 2010. Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2010. Band 1. P. 293–436.
3. 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. P. 43–69.
4. ACI 318R-19, Building Code Requirements for Structural Concrete, 2018. 578 p.
5. fib, Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst & Sohn, 2013. 402 p.
6. Volterra V. Lecons sur les fonctions de lignes. Paris, 1913. URL: <https://archive.org/details/leonssurlesfon00voltoft/page/8/mode/2up> (22.05.2023)
7. 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.

8. ACI 209.2R-08, Guide for Modeling and Calculation of Shrinkage and Creep in Hardened Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008. 48 p.
9. 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. P. 338–350.
10. Creep Analysis, www.polito.it/creepanalysis, DESIGN Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica Politecnico di Torino (currently under revision should be made to new version to be edited in 2018).
11. Boltzmann L.E. Zur Theorie der Elastischen Nachwirkung. Sitzungsberichte Kaiserliche Akademie Wissenhaft Wien Mathematische-Naturwissenschaft, 1874. 70. P. 275–306.
12. Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.Н., 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. 84–92. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-2-92-104>
13. Mac Henry D. A Lattice Antolog for the Solution of stress Problems // Journal of the Institution of Civil Engineers. 1943. Vol. 21(2). P. 59–82. <https://doi.org/10.1680/ijoti.1943.13967>
14. Freudenthal A.M., Roll F. Creep and creep recovery of concrete under high compressive stress // Journal Proceedings. 1958. Vol. 54. No. 6. P. 1111–1142.
15. Крылов С.Б., Арленинов П.Д. Современные исследования в области теории ползучести бетона // Вестник НИЦ «Строительство». 2018. № 1(16). С. 67–76.
16. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести. М.: Стройиздат, 1973. 432 с.
17. 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. 178–186. <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-2-186-198>
18. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 752 с.
19. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М.: Наука, 1977. 383 с.
20. 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. P. 103–112.
21. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. Евростандарты и нелинейная теория железобетона. СПб., 2011. 309 с.
22. Санжаровский Р.С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 280 с.
23. Beglov A., Sanjarovsky R., Ter-Emmanuilyan T. Stationary dissipative systems of classical mechanics in the basis of unscientific principles of the theory of creep of reinforced concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Kosice, Slovakia, 2022. Vol. 1252. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1252/1/012033>
24. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko M. Creep of Concrete and Its Instant Nonlinear Deformation in the Calculation of Structures // Concreep. 2015. 10. P. 238–247. <https://doi.org/10.1061/9780784479346.028>

References

1. 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;109(5):665–675.
2. Muller H.S., Reinhardt H.W. Beton. *Betonkalender 2010*. 2010;1:293–436.
3. 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;2010:43–69.
4. ACI 318R-19, *Building Code Requirements for Structural Concrete*. 2018.
5. fib, Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst & Sohn, 2013.
6. Volterra V. Lecons sur les fonctions de lignes. Paris, 1913. Available from: <https://archive.org/details/leonsurlesfon00volutuoft/page/8/mode/2up> (accessed: 22.05.2023).
7. 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.
8. ACI 209.2R-08, Guide for Modeling and Calculation of Shrinkage and Creep in Hardened Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008.
9. 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;7:338–350.
10. Creep Analysis, www.polito.it/creepanalysis, DESIGN Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica Politecnico di Torino, (currently under revision should be made to new version to be edited in 2018).
11. Boltzman L. Zur Theorie der Elastischen Nachwirkung. *Sitzungsberichte Kaiserliche Akademie Wissenhaft Wien Mathematische-Naturwissenschaft*. 1874;70:275–306.

12. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko 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):84–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-2-92-104>
13. Mac Henry D. A Lattice Antolog for the Solution of stress Problems. *Journal of the Institution of Civil Engineers*. 1943;21(2):59–82. <https://doi.org/10.1680/ijoti.1943.13967>
14. Freudenthal A.M., Roll F. Creep and creep recovery of concrete under high compressive stress. *Journal Proceedings*. 1958;54(6):1111–1142.
15. Krylov S.B., Arleninov P.D. Modern research in the field of the theory of concrete creep. *Bulletin of the Scientific Research Center "Construction" Concrete and reinforced concrete — problems and prospects*. 2018;1(16):67–76. (In Russ.)
16. Aleksandrovsky S.V. *Calculation of concrete and reinforced concrete structures for changes in temperature and humidity, taking into account creep*. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1973. (In Russ.)
17. Beglov A., Sanjarovsky R., Ter-Emmanuilyan T. Theory of short — term and long — term resistance of structures based on the principle of plastic. *Structural mechanics of engineering constructions and buildings*. 2023;19(2):178–186. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-2-186-198>
18. Rabotnov Yu.N. Creep of structural elements. Moscow: Nauka Publ.; 1966. (In Russ.)
19. Rabotnov Yu.N. Elements of hereditary mechanics of solids. Moscow: Nauka Publ.; 1977. (In Russ.)
20. 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;7:103–112.
21. Beglov A.D., Sanzharovsky R.S. *European standards and nonlinear theory of reinforced concrete*. St. Petersburg, 2011. (In Russ.)
22. Sanzharovsky R.S. *Stability of building structure elements under creep*. Leningrad: Publishing house of Leningrad State University; 1984. (In Russ.)
23. Beglov A., Sanjarovsky R., Ter-Emmanuilyan T. Stationary dissipative systems of classical mechanics in the basis of unscientific principles of the theory of creep of reinforced concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Kosice, Slovakia, 2022;1252:012033. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1252/1/012033>
24. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko M. Creep of Concrete and Its Instant Nonlinear Deformation in the Calculation of Structures. *Concreep*. 2015;10:238–247. <https://doi.org/10.1061/9780784479346.028>