РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 624.012
DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-1-3-24
RESEARCH PAPER | НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

System of insufficiency of the modern theory of long-term resistance of reinforced concrete and designers' warnings

Rudolf S. Sanzharovsky[1], **Maxim M. Manchenko**[2], **Muhlis A. Hadzhiev**[3], **Turlybek T. Musabaev**[4], **Tatyana N. Ter-Emmanuilyan**[5*], **Kirill A. Varenik**[6]

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University
11 Kazhymukana St., Astana, 010000, Republic of Kazakhstan
[2]Krylov State Research Center
44 Moskovsky Prospekt, Saint Petersburg, 196158, Russian Federation
[3]Azerbaijan University of Architecture and Construction
11 Ayna Sultanova St., Baku, AZ1073, Republic of Azerbaijan
[4]L.N. Gumilyov Eurasian National University
2 Satpayev St., Astana, 010000, Republic of Kazakhstan
[5]Russian University of Transport
9 Obrazcova St., bldg. 9, Moscow, 127994, Russian Federation
[6]Yaroslav-the-Wise Novgorod State University
41 Big Saint Petersburg St., Velikiy Novgorod, 173003, Russian Federation

*tanya_ter@mail.ru

(*received:* December 10, 2018; *revised:* January 15, 2019; *accepted*: January 22, 2019)

Abstract. ***Aim of the research.*** The essence of the failure of the globally widespread theory of long-term resistance of reinforced concrete is defined and analyzed.

Methods. This failure includes the following interconnected parts: 1) the set of ten basic fundamental properties of structural concrete is completely distorted (for example, instantaneous linear properties are Maxwell scheme); 2) mathematical rules are violated when recording the rates of elastic deformation and creep deformation, due to a misunderstanding of the Boltzmann principle (these violations distort the whole structure of the theory); 3) the rules of classical mechanics are violated, what is caused by substitution of fundamental properties of concrete with various "chain models" (for example, the principle of independence of action of forces, which is the fourth fundamental law of Galileo – Newton, is violated); 4) sections of the general "world theory of creep of reinforced concrete", based on its algebraization, in their essence reject the fundamental law of natural science – Newton's second law: not only the inertial component is rejected, but also forces depending on speed (in this way the "world theory of creep of reinforced concrete" is degraded to the level of Aristotle's mechanics); 5) unacceptably idealized creep theories and structural models that endow concrete with unrealizable properties, especially flagrant in zones of cracks, are incorporated in the normative calculations of structures; 6) solid design companies of the world show that concrete creep is not a scientific theory: this is a warning to designers.

Results. The performed analysis is accompanied by necessary mathematical calculations and experimental estimates.

Keywords: elastoplastic deformation of concrete, theory for concrete creep, long-term resistance of reinforced concrete, modern building codes

Система несостоятельности современной теории длительного сопротивления железобетона и предупреждения проектировщиков

Р.С. Санжаровский[1], М.М. Манченко[2], М.А. Гаджиев[3], Т.Т. Мусабаев[4], Т.Н. Тер-Эммануильян[5*], К.А. Вареник[6]

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева
Республика Казахстан, 010000, Астана, ул. Кажымукана, 11
[2]Крыловский государственный научный центр
Российская Федерация, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44
[3]Азербайджанский университет архитектуры и строительства
Азербайджанская Республика, AZ1073, Баку, ул. Айны Султановой, 11
[4]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева
Республика Казахстан, 010000, Астана, ул. Сатпаева, 2
[5]Российский университет транспорта
Российская Федерация, 127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9
[6]Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Российская Федерация, 173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, 41

*tanya_ter@mail.ru

(*поступила в редакцию:* 10 декабря 2018 г.; *доработана:* 15 января 2019 г.; *принята к публикации*: 22 января 2019 г.)

Цель. Установлена и анализируется сущность несостоятельности мировой теории длительного сопротивления железобетона.

Методы. Несостоятельность рассматриваемой теории включает в себя следующие взаимно связанные части: 1) полностью искажена совокупность десяти основных фундаментальных свойств конструкционного бетона (к примеру, мгновенные линейные свойства являют собой тело Максвелла); 2) нарушены правила математики при записи скоростей упругой деформации и деформации ползучести из-за недопонимания принципа Больцмана (эти нарушения коверкают всю структуру теории); 3) нарушены правила классической механики, вызванные подменой фундаментальных свойств бетона различными «цепными моделями» (например, нарушен принцип независимости действия сил, являющийся четвертым основным законом Галилея – Ньютона); 4) разделы общей «мировой теории ползучести железобетона», основанные на ее алгебраизации, по своей сути отвергают фундаментальный закон естествознания – второй закон Ньютона: отбрасывается не только инерционная составляющая, но и силы, зависящие от скорости, на уровень механики Аристотеля; 5) в нормативных расчетах сооружений заложены недопустимо идеализированные теории ползучести и модели конструкций, наделяющие бетон несбыточными свойствами, особенно для зон с трещинами; 6) солидные проектные компании мира показывают, что ползучесть бетона не является научной теорией – это является предостережением для проектировщиков.

Результаты. Анализ сопровождается необходимыми математическими выкладками и экспериментальными оценками.

Ключевые слова: упругопластические деформации бетона, теория ползучести бетона, длительное сопротивление железобетона, современные строительные нормы

The aim of the research

The analyzed here theory is characterized by its authors as a new global harmonized format; it is "coordinated and promoted by international standards institutes within the framework of the global harmonization scenario" [1]. This theory is being actively promoted now by well-known scientists to introduction into the field of internationally recognized regulatory and technical documents and main rules of application. This theory has been widely published and introduced into the FIB Standard, the ASI manual, and other documents [2; 3]. It is approved at various international conferences in the United States, Europe, and Russia, for example, at the First International Scientific and Technical Gvosdev Readings (Moscow, October 2017). Therefore, the analysis presented below is important not only for scientific theory, but also for the vast international practice of reinforced concrete construction [4]. We identify and analyze errors in the areas of creep theory, where, as pointed by the leaders and authors of this theory, there is an "established consensus" [1]; we do not offer a different point of view or simplifications in standardization, since the elimination of the identified errors will significantly simplify the theory of long-term resistance of reinforced concrete.

The methods

About the inconsistency of the theory of creep of reinforced concrete: this system appeared and develops on a set of erroneous principles, rules and unauthorized methods; the inconsistency is aggravated by numerous incorrect substitutions (random or deliberate) of the fundamental experimental properties of concrete; that is based on the inheritance of the principles of the inappropriate Boltzmann's theory of elastic aftereffect.

The following comprehensively testifies to the failure of the theory: the presence of a system of gross mathematical errors; violations of the principles and rules of classical mechanics and Eurocodes; inconsistencies with well-known experimental data; negative results of design practices, including global experience in designing unique structures by RAMBOLL structures (United Kingdom) [4].

The fundamental errors analyzed in this article are characteristic not only of concrete creep, but also of the rheology of the whole complex of aging materials. It is known that such materials include "concrete, wood, various polymers and plastics, rocks (also soils), ice, etc., (they) are characterized by the fact that their physicomechanical properties change over time, i.e. depend on the age of the material."

We first consider the set of fundamental experimental properties of concrete. Concrete, as a structural material, has substantially non-linear properties; they are well known from Eurocodes, and began to be introduced to the norms of many countries after the work of L. Baes (1927):

1. "Creep deformations are non-linear from the lowest loading levels, ...no linear creep area... exists." So testify the founders of the theory A.A. Gvozdev, N.Kh. Arutyunyan, S.V. Aleksandrovsky, P.I. Vasilyev, figure 18].

As early as in 1931, the nonlinear creep of concrete is manifested in the results of the extensive experiments of R.E. Davis and H.E. Davis.

The world format, considering only linear creep of concrete, describes something that does not exist. The character of the curves in figure 1 shows that any of the three curves ($\sigma = 0,29R_{\text{lim}}$, $\sigma = 0,5R_{\text{lim}}$, $\sigma = 0,75R_{\text{lim}}$) cannot be approximately replaced by a horizontal line $\sigma = 0,1R_{\text{lim}}$: The values of specific deformations differ by 2–5 times, although we are talking only about a particular situation – simple creep. At variable stresses $\sigma(t)$, it is necessary to additionally consider the transition from one curve to another curve.

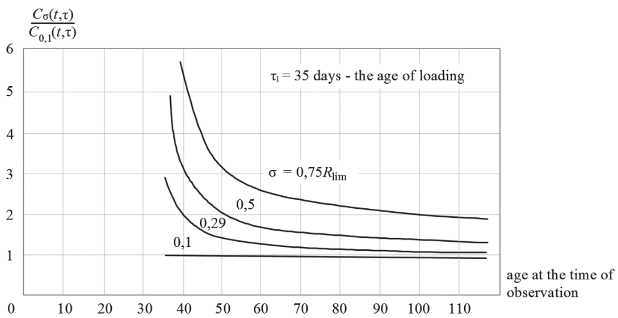

Figure 1. Change in the ratio of specific creep deformations at different initial stress levels $C_\sigma(t, \tau)$ to specific creep deformations at initial stress level $C_{0,1}(t,\tau)$

Figure 1 shows a fragment of the extensive experimental data of NIIZHB widely published in various scientific journals; the same data can be obtained from the well-known works of A.D. Ross, R.A. Melnik, and other scientists. The ordinate axis in figure 1 shows the values of the ratio $C_\sigma(t,\tau)/C_{0,1}(t,\tau)$, that is, the ratio of nonlinear creep measures (specific creep deformations), found experimentally at different levels of constant stresses σ, to the creep measure corresponding to the minimum experimental level of stress $\sigma = 0,1R_{\text{lim}}$. We remind that the creep measure $C(t,\tau)$ according to G.A. Maslov is the "creep deformation by the time *t* from a single stress state that occurred at time τ".

Let us pay attention here to the inconsistency of attempts to describe the non-linear creep of concrete with the help of linear "chain models" arising from the data in figure 1. These attempts first appeared in the work of McHenry (1943) and are still ongoing in the world theory analyzed here. Additionally, we note that these attempts also lead to a violation of the foundations of classical mechanics.

A.N. Rzhanitsyn, analyzing the experiments, paid attention: "creep curves change their appearance when constant stress changes". This indicates, on the one hand, the presence of some parameter $\mu(\tau)$ in the specific creep curve $C_\sigma(\mu(\tau),t,\tau)$, and on the other hand, the unsuitability of the very common affine similarity condition $C_\sigma = F\left[\sigma(\tau),\tau\right]C(t,\tau)$: $F\left[\sigma(\tau),\tau\right]$ is an experimental nonlinearity function; $C(t,\tau)$ is a measure of concrete creep.

2. Creep deformations of concrete are unsteady; nonstationarity is taken into account using the aging function $\varphi(\tau)$ in the expression of creep measure $C(t,\tau)=\varphi(\tau)f(t-\tau)$, $f(t-\tau)$, "a function that takes into account the increase in time of the creep measure". The function $\varphi(\tau)$ determines the aging process $0\le\tau\le t<\infty$, $\varphi(\tau)=\lim\limits_{t\to\infty}C(t,\tau)$.

In scientific literature there are many proposals for the form of recording function $\varphi(\tau)$, substantiated by extensive experiments [8].

In the world theory format considered here, the creep characteristic $\Phi(t,\tau)$ is used, associated with the creep measure by the relation $\Phi(t,\tau)=$ $=C(t,\tau)E(\tau)$, $E(\tau)$ is the elastic modulus. This shows that the use of creep characteristics leads to a greater number of empirical coefficients determined by different experiments. For example, according to N. Arutyunyan

$$\Phi_{char}(\tau)=\varphi(\tau)E(\tau)=\left(C_0+\frac{A_1}{\tau}\right)E_0\left(1-\beta e^{-\alpha\tau}\right),$$

where E_0, β, α are additional elastic modulus constants complicating the aging function. This remark is of no fundamental importance; it points to the unjustified cumbersomeness of the unsuccessful choice.

3. Creep deformations of concrete are damped. As early as in 1955, A.A. Gvozdyev pointed out: "If the effective voltage is still below the limit of long-term resistance, then the deformation is non-linear, but fading" [14].

4. Creep deformations (years) and short-term deformations (minutes) of concrete in the experiments appear separately and independently of each other; their average speeds differ in 518 400 times. For this reason, the substitution of short-term non-linear deformations by deformations of linear "minute creep" is an error. This substitution leads to a violation of the classical mechanics principle of independence of action of forces.

5. Short-term deformations of concrete are nonlinear [5]; the σ–ε_M diagram has a drop-down section and a limited length, figure 2.

This property of concrete has been known for more than a hundred years (Ritter, Frank, Zaliger, Bach, Süle, Gastev, Boguslavsky, Rosh, Sakhnovsky, Yoshida, Emperger, Schreier, Nilender, Onishchik, Podolsky, Baykov and others). The curve proposed by Sardzhin (Canada) is used in Eurocode 2.

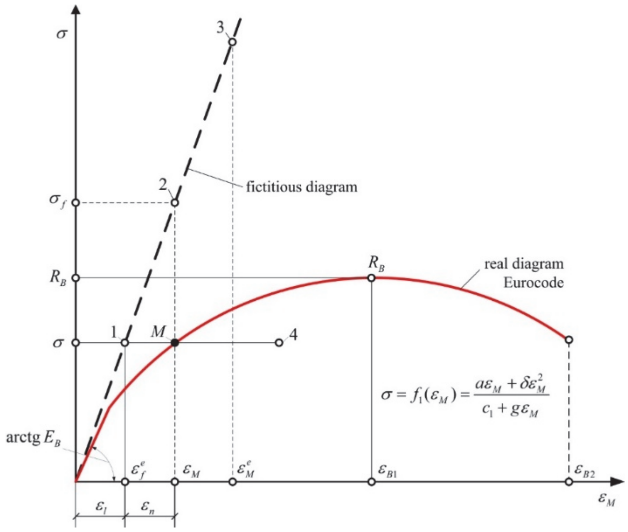

Figure 2. The distortion of the σ–ε diagram of concrete

However, in the world format of creep theory, short-term deformations are replaced by Hooke's law.

In scientific literature, this linearity of short-term deformations is justified by various unreliable methods. Numerous and thorough experiments of reputable scientists on nonlinear short-term deformation are disavowed. An erroneous statement appears about the "experimentally grounded" instantaneous elastic properties of concrete: "in experiments, instantaneous deformations are linearly dependent on stresses"; "instantaneous deformations are linearly related to stresses and, accordingly, the modulus of elastic-instantaneous deformations does not depend on the value and sign of stresses"; "elastic-instantaneous should be understood as deformations that develop under action of a statistical load at a very high speed"; "concrete is often viewed as a largely inelastic material... Fortunately, it is not. Differences from Hooke's law for concrete are explained by the influence of time... By extrapolation, an instantaneous strain curve is obtained, which is clearly rectilinear." With surprising persistence, they also fail to hope for chain models, erroneously converting plastic deformation ε_n, to the minute creep deformation.

6. Short-term deformations of concrete are non-stationary; in the short term chart σ–ε_M (figure 2) parameters a, b, g are functions of time. For example: $a=2\cdot10^5\left(1-e^{-0{,}03\tau}\right)$; according to experimental data from VNIIG $b=\dfrac{R_B(\tau)}{\varepsilon_{B0}^2(\tau)}$,

$$g=\left[\frac{E(\tau)}{R_B(\tau)}-\frac{2}{\varepsilon_{B0}(\tau)}\right]\varepsilon_{B0}^2.$$

7. There is non-linearity of deformation due to the low tensile strength of concrete, which rejects models of norms based on the condition of infinite extensibility of concrete $\sigma(\tau)$.

8. Non-stationarity of stresses $\sigma(\tau)$ emphasizes the inadmissibility of the use of simplifications in the form of algebraization of the theory of concrete creep [1; 8].

9. The total deformation of concrete, which occurs under the action of stress $\sigma(\tau)$, is the sum of creep deformations and short-term deformations.

The substitution of the instantaneous nonlinear deformation ε_n by the minute creep deformation caused confusion in the results of experimental values, and also in the normalization of the creep characteristic φ_∞. Depending on experimenter's arbitrary choice, the creep characteristic is determined in four ways.

$$\varphi_{1\infty} = \frac{\varepsilon_n + \varepsilon_{cr}}{\varepsilon_l},\ \varphi_{2\infty} = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_l},$$

$$\varphi_{2\infty} = \frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_l + \varepsilon_n},\ \varphi_{4\infty} = \frac{\varepsilon_n}{\varepsilon_l}.$$

where ε_n is instantaneous nonlinear deformation; ε_l is instantaneous linear deformation; ε_{cr} is creep deformation.

For definiteness, we consider high levels of stresses $\sigma \to R_B$ at which it is possible (for analysis) to assume that the deformations are equal to each other. In this particular case, we have essentially different values of creep characteristic ($\varphi_{1\infty} = 2$, $\varphi_{2\infty} = 1$, $\varphi_{3\infty} = 0{,}5$, $\varphi_{4\infty} = 1$): the difference is up to four times, which is unacceptable for use in design practice.

10. At stresses $\sigma > R_{sus}$, exceeding the limit of long-term resistance of concrete, creep deformation is undamped [14].

The combination of the listed fundamental properties of concrete (established by the Eurocode) is unique in its complexity. This set demonstrates practical interests, the need to take them into account in a robust theory of calculation of reinforced concrete, the inadmissibility of neglect of each of the properties. These neglects constitute the insolvency system of the considered world theory, with numerical errors of up to 300% or more, with gross mathematical errors.

The beginning of the creation of the theory of concrete creep was carried out in 1940 by the outstanding scientist hydrotechnician G.A. Maslov. He introduced the classical linear connection between the stress σ(τ) and the compliance function Φ (in the world theory $\Phi = I(t,t')$), which characterizes the displacement under a single force, by analogy with the potential systems of classical mechanics. He indicated the need to take into account the aging of concrete in the measure of creep and non-stationarity of the modulus of elasticity.

G.A. Maslov emphasized, strongly warned that the first step in building the theory was being taken: "to evaluate the creep effect in the operation of concrete and reinforced concrete (hydrotechnical) structures in the first approximation"; "at the present stage, our knowledge in this area has to be idealized... the physical side of the phenomenon"; "we accept assumptions..., simplifying mathematical calculations".

The initial and cautious assumptions of G.A. Maslov, his urgent warnings are forgotten in the modern world theory of long-term resistance to reinforced concrete. The set of fundamental properties of concrete, including those formulated in the Principles and Rules of Eurocode 2, and obligatory for use in world norms, is unprecedentedly distorted in modern international standards. In them, the theory of concrete creep is based on other properties and rules: on the erroneous principle of superposition; on non-existent linear properties: on fictional "chain models"; unreasonable references to the classical Volterra theory are used; algebraization of theory is applied and other errors.

We first consider the fundamental error in copying the principle of Boltzmann's linear superposition.

The overlaying principle is the basis of both the modern scientific theory of concrete creep, which received from foreign scientists the name "world harmonized format", and the developments "in recent decades international standards institutes... for recommendations, norms and technical guidance documents" [1–3]. In these works, it is indicated that McHenry in the USA (1943) "substantiated this tendency by experimental studies of the creep of hermetic specimens according to the principle of superposition characteristic of Volterra's theory."

We give the fundamental law of concrete creep in the original notation [1]:

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

where $\varepsilon_\sigma(t)$ is total strain from stress σ(*t*); $J(t,t') = \dfrac{1}{E_c(t')} + \dfrac{\varphi(t,t')}{E_c(t')}$ is the compliance function; $E_c(t')$ is the non-stationary modulus of elasticity; $\varphi(t,t')$ is non-stationary creep characteristic, taking into account aging.

In scientific publications it is usually integrated in (1) in parts, obtaining

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

We note that the term $\frac{\varphi(t,t')}{E_c(t')}$ is a creep measure of concrete $C(t,t')$, used in publications in in the countries of the former USSR, which is preferable to using the creep characteristic in processing experiments.

We emphasize that the aging of concrete is taken into account in $\varphi(t,t')$ and $C(t,t')$, and the modulus of elastic-instantaneous deformation $E_c(t')$ essentially depends on the age of concrete.

Equations (1a) and (1b) are justified by two fundamental assumptions: the principle of linear connection between stresses and strains

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

overlaying principle, verbally formulated in various presentation options in numerous well-known publications on the theory of concrete creep, reference books, for example, in [9].

Serious errors in (1a) make the normative theory inappropriate to the Eurocode, unreliable and uneconomical. With an annual volume of 4 billion m^3 of application of concrete and reinforced concrete in the world, the losses from such norms and calculations are a significant amount. Recall also the tragedy of the collapse of Transvaal-Park (Moscow, 2004), caused by the problems of concrete creep.

We first consider the terms in (1a), (1b), describing short-term properties and deformations. Here, in the world format of the theory, a number of substitutions of properties are made from the fundamental set (1.–10.).

The first substitution is a violation of property 5. Nonlinear instantaneous deformation $\varepsilon_M=\varepsilon_l+\varepsilon_n$, point M in figure 2, is replaced by the elastic deformation ε_l, point 1 in figure 2: i.e., the real curvilinear diagram of the Eurocode is thrown out and replaced by a fictitious line diagram (figure 2).

Article 1.4 (5) of the Eurocode 0 prohibits such unauthorized actions, it indicates the need to justify such actions: it is necessary "to prove that they comply with the principles and, at least, not worse than them in terms of safety, operational suitability and durability, assumed using the relevant article of the Eurocode". Meanwhile, the first substitution underestimates short-term deformations of concrete to 100%, and in the calculations of compressed structures the error in the ultimate load is up to 500%.

The second substitution, unnoticed by scientists, distorts the Hooke elastic model, erroneous here, figure 2; it attaches to the classical linear connection $\sigma(t)/E(t)$ a non-existent and unreal body of a viscous fluid, with Newton's linear viscosity coefficient $\eta(t')=\frac{E_c^2(t')}{\dot{E}_c(t)}$:

$$\varepsilon_l(t)=\frac{\sigma(t_0)}{E_c(t_0)}+\int_{t_0}^{t}\frac{1}{E_c(t')}d\sigma(t')=$$

$$=\frac{\sigma(t)}{E_c(t)}-\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c(t')}dt'. \quad (2)$$

Formula (2) represents the first terms in (1a), (1b), and demonstrates the transformation of a classical nonstationary elastic body into Maxwell's viscoelastic medium.

The essence of the *second substitution* follows from the principle of superposition, the fundamental principle in the construction of the law of creep (1a). The principle of superposition, being a kind of catachresis (abuse), simultaneously combines two concepts that are incompatible in meaning: stationarity and non-stationarity of the mechanical properties of concrete. Borrowing the Boltzmann scheme, the principle of superposition borrows the nonstationarity of the corresponding material properties of this scheme, that is, rejects the fundamental nonstationary linear properties of concrete 6., replacing them with stationary properties. The principle of superposition is applied in non-stationary linear properties (1c), under the conditions of the fundamental meaning of this non-stationarity.

The mathematical essence of the error arises from the second substitution in the values of deformations of concrete, detected as follows.

The rate of elastic deformation is

$$\dot{\varepsilon}_l(t')=\dot{\sigma}(t')\frac{1}{E_c(t')}+\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c(t')}.$$

Integrating, we obtain

$$\varepsilon_l(t)-\varepsilon_l(t_0)=\int_{t_0}^{t}\frac{1}{E_c(t')}d\sigma(t')+\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c(t')}dt'.$$

Integrating the first term in parts, we find

$$\varepsilon_l(t)-\varepsilon_l(t_0)=\frac{\sigma(t)}{E_c(t)}-\frac{\sigma(t_0)}{E_c(t_0)}-$$

$$-\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c(t')}dt'+\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c(t')}dt'.$$

Hence the short-term deformation is equal to

$$\varepsilon_l\left(t\right)=\frac{\sigma\left(t\right)}{E_c\left(t\right)}; \qquad (3)$$

it is also seen that the first term under the integral sign (1a) is excessive, and the use of superposition principle

$$\varepsilon_l\left(t\right)=\frac{\sigma\left(t_0\right)}{E_c\left(t_0\right)}-\int_{t_0}^{t}\frac{1}{E_c\left(t'\right)}d\sigma\left(t'\right)=$$

$$=\frac{\sigma\left(t\right)}{E_c\left(t\right)}-\int_{t_0}^{t}\sigma\left(t'\right)\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c\left(t'\right)}dt' \qquad (4)$$

in (1a) and (1b) is deeply mistaken.

Let us make a numerical estimate of the error arising in determining the instantaneous elastic deformation distorted by the principle of superposition. Using $\sigma\left(t\right)=\sigma_0=\text{const}$ in (3), (4) we obtain $\varepsilon_l\left(t\right)=\dfrac{\sigma_0}{E_c\left(t\right)}$ and $\varepsilon_l\left(t_0\right)=\dfrac{\sigma_0}{E_c\left(t_0\right)}=\text{const}$. Comparison of these deformations is shown in figure 3.

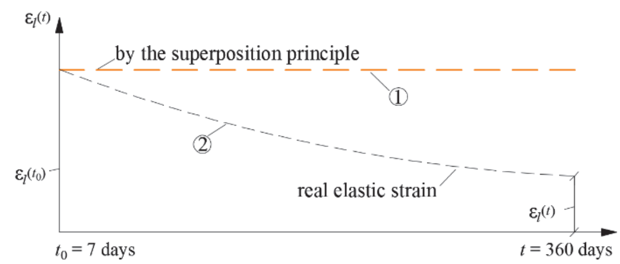

Figure 3. Comparison of $\varepsilon_l(t_0)$ and $\varepsilon_l(t)$

Curve 2 in figure 3 corresponds to the VNIIG data on the change of the elastic modulus $E_c(t)$ with time. Errors in the value of the elastic deformation at t = 360 days reach ≈ 300%.

Distortions of instantaneous nonstationary nonlinear deformations ε_n, their attempts of an untenable description, will be considered later.

The last term under the integral sign in the law (1b) is the third substitution of the fundamental property 1 of nonlinear creep: the non-existent property of linear creep is used instead. It can be seen from data of figure 1, that the error from such a substitution is up to +400% with $t=40$ days. If the average curve corresponding to $\sigma=0{,}5R_{\lim}$ with its experimental parameters is taken as a basis, then the error from such a distortion will be from +200 to –200%.

The fourth substitution is demonstrated by the last part of the integral (1b)

$$\int_{t_0}^{t}\frac{\varphi\left(t,t'\right)}{E_c\left(t'\right)}d\sigma\left(t'\right),$$

describing the development of creep deformations with $\sigma(t')$ variables. The principle of Boltzmann's linear superposition, corresponding to the stationary properties of creep of the material, is copied with the name of the principle of superposition; that is, substitution of the fundamental property 2 of concrete occurs in this case. This substitution, on the one hand, leads to the loss of three components in the basic law (1a), caused by the rate of change of the coefficient of compliance

$$\sigma\left(t'\right)\frac{1}{E_c\left(t'\right)}\frac{\partial\varphi\left(t,t'\right)}{\partial t}+$$

$$+\sigma\left(t'\right)\frac{1}{E_c\left(t'\right)}\frac{\partial\varphi\left(t,t'\right)}{\partial t'}-\sigma\left(t'\right)\varphi\left(t,t'\right)\frac{\dot{E}_c\left(t'\right)}{E_c^2\left(t'\right)},$$

at that they are comparable in importance to the remaining term. These losses cause significant discrepancies between theory and experiments, described in the scientific literature. They lead to the incorrect expression of the creep kernel, even within the framework of the non-existent linear creep theory of concrete. The principle of superposition distorts this linear theory, causing the appearance of additional nonexistent bodies. The number of such bodies depends on the form of the function $\varphi\left(t,t'\right)$, which describes the non-stationary creep characteristic in the basic law (1). We write this function in the well-known, widely used in scientific literature, as

$$\frac{\varphi\left(t,t'\right)}{E_c\left(t'\right)}=\frac{\varphi_\infty\left(t'\right)\left[1-e^{-\gamma\left(t-t'\right)}\right]}{E_c\left(t'\right)}, \qquad (5)$$

where $\varphi_\infty\left(t'\right)$ is a function considering aging of concrete.

In the famous monograph of I.E. Prokopovich the creep characteristic $\varphi(t,t')$ of foreign scientists is designated as $\overline{C}\left(t,\tau\right)$ these are identical values.

In the case of (5) the basic law (1a) forms four superfluous (fictitious) bodies: two bodies of the Voigt type and two viscous elements connected in series with each other. The deformations of these bodies are equal

$$\varepsilon_{1f}\left(t\right)=\int_{t_0}^{t}\sigma\left(t'\right)\frac{1}{\eta_{1f}\left(t'\right)}e^{-\gamma\left(t-t'\right)}dt',$$

$$\eta_{1f}\left(t'\right)=\frac{E_c\left(t'\right)}{\dot{\varphi}_\infty\left(t'\right)}; \qquad (6)$$

$$\varepsilon_{2f}(t)=\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{1}{\eta_{2f}(t')}dt',$$

$$\eta_{2f}(t')=\frac{E_c^2(t')}{\dot{E}_c(t')}\frac{1}{\varphi_\infty(t')}; \tag{7}$$

$$\varepsilon_{3f}(t)=\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{1}{\eta_{3f}(t')}e^{-\gamma(t-t')}dt',$$

$$\eta_{3f}(t')=-\frac{E_c^2(t')}{\dot{E}_c(t')}\frac{1}{\varphi_\infty(t')}; \tag{8}$$

$$\varepsilon_{4f}(t)=\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{1}{\eta_{4f}(t')}dt',$$

$$\eta_{4f}(t')=-\frac{E_c(t')}{\dot{\varphi}_\infty(t')}, \tag{9}$$

where η_{1f}, ... , η_{4f} are viscosity coefficients or coefficients of internal resistance of fictitious bodies; moreover, the bodies (8) of the Voigt and (9) of the viscous element expand when compressed.

Creep deformations (6)–(9), caused by the influence of the superposition principle on the classical connection (1c), are fiction; they are also summarized with short-term fictitious deformation

$$\varepsilon_{5f}(t)=-\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c(t')}dt': \tag{10}$$

$$\varepsilon_{\sigma f}(t)=\sum_{i=1}^{5}\varepsilon_{if}(t),$$

and introduce large errors in the total strain $\varepsilon_\sigma(t)$, determined by the creep law (1b).

This revealed fact of a significant erroneous complication of the theory, caused by the principle of superposition, shows the inconsistency of the judgments of leading scientists currently expressed about the mythical advantages and benefits of this principle, evaluating it with the exact opposite: “and, on the other hand, this hypothesis greatly simplifies the phenomenological theory of creep and makes it simpler and more accessible for use in engineering calculations”; “as applied to linear creep deformations, the superposition principle was first used by L. Boltzmann (1874), but only recently it was proved (B. Persoz) for non-linear creep deformations”.

The fifth substitution violates the fundamental property of concrete 5.

In the framework of the requirements of Eurocode 2 to the diagram of instantaneous deformation of concrete (figure 2) it is necessary to recognize the error of the creep theory, the removal of plastic deformation ε_n from the total instantaneous deformation ε_M and its transfer into the category of creep deformation $\varepsilon_{cr}(t)$: plastic deformation ε_n develops about 1–2 minutes (Aleksandrovsky, Bazant), and creep deformation $\varepsilon_{cr}(t)$ lasts for years; the rate of increase of nonlinear deformations is up to 2000 times the rate of increase of creep deformations (in 1 day); growth rate and time of elastic ε_l and nonlinear deformations ε_n have the same order; an error is the separation of these deformations by splitting the total quantity ε_{cr} in violation of the Eurocode 2 rules.

Plastic instantaneous deformation ε_n is endowed with the name of fast-flowing or minute creep; total deformation of the usual $\varepsilon_l(t)$ and fast-flowing creep ε_n is sought using a creep measure

$$C(t,\tau)=C_{\text{оп}}(t,\tau)+C_{\text{бп}}(t,\tau),$$

presented in the form of two functions for ordinary and for fast-flowing creep. Such a technique artificially creates unnecessary mathematical difficulties, and a violation of the principle of independence of the action of forces that is fundamental in mechanics (more in section 5) arises; ridiculous results also arise in the design calculations.

The mathematical complexity consists in the necessity of constructing an unnecessary integral, followed by defects in the principle of superposition,

$$\varepsilon_n(t)=\int_{\tau_1}^{t}\sigma(\tau)\frac{\partial}{\partial\tau}C_{\text{бп}}(t,\tau),$$

whereas $\varepsilon_{\text{н}}$ is easily found from the Sargin formula, other equations describing instant diagrams, for example, from Emperger's parabola $\varepsilon_n=B_2\sigma^2$ or from the dependence proposed by NIIZHB

$$\varepsilon_n=\frac{\sigma^4}{ER_{\lim}^3}\left(0{,}1+\frac{24}{2+R_{\lim}}\right).$$

Comparing these formulas with each other, we see the fallacy of the integral form, designed to find the fast-flowing creep, its artificiality.

Let us give an instructive example showing the absurdity of the results obtained using fast-flowing creep deformations. Consider the longitudinal bending of the compressed rack in the interval of one day after loading, when, in the main, only fast-flowing creep has time to appear. A long-term critical force in accordance with the well-known decisions of Rzhanitsyn, Rabotnov, Shesterikov, Prokopovich, is equal to $P_d=\frac{\pi^2 HI}{e^2}$, where $H=\frac{E}{1+\varphi_{ff}}$, φ_{ff} – characteristic of fast-flowing creep. This critical force tends to infinity with a length $l \to 0$ (figure 4), what is rejected by both experiments and common sense.

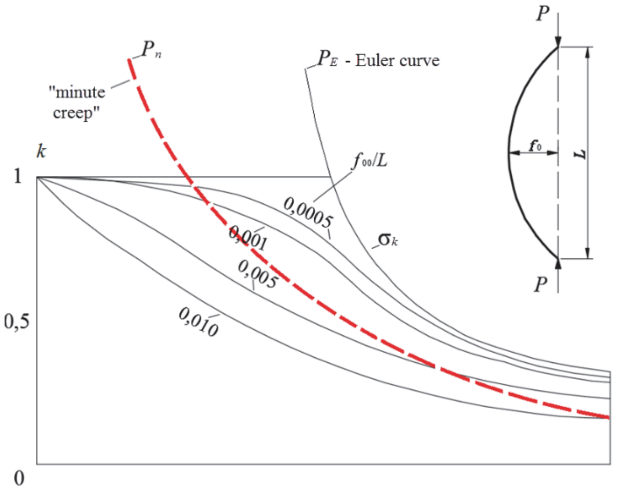

Figure 4. The schedule of calculation of compressed-curved concrete structures with an initial deflection

If instantaneous nonlinear deformations are not added to creep deformations, then we have a tangential-modular (or reduced-modular) critical force with a finite value as $l \to 0$.

Note that the renaming of plastic deformations ε_n (figure 2) in the creep deformation $\varepsilon_l(t)$ and their uniform mathematical description

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^{t} \frac{\sigma(u)}{E(u)} L_E(t,u) du$$

in the record of function $L_E(t,u)$ leads to distortion of the results of experimental research on concrete creep problems in all countries of the world (see [1]). As a result of such mixing, creep deformations mistakenly acquire initial "vertical segments", distorting the values of creep deformations (up to 50%), distracting concrete creep researchers and misleading experts in the theory of reinforced concrete.

The erroneous assumption of "fast-flowing creep", "minute creep" and "vertical segments" has distorted the direction of the development of the theory of creep of reinforced concrete. The introduction of this assumption in the norm is detrimental to reinforced concrete construction.

Writing a concrete creep measure in the form of such a sum not only leads to mathematical complication of the creep theory, but also violates the principle of independence of the action of Newtonian mechanics.

For clarity, we consider a simple and instructive case. We will write down the measure of creep in the form proposed by S.V. Aleksandrovsky (in his notation)

$$C(t,\tau) = A_3\left[1 - e^{-\gamma(t-\tau)}\right] + A_4\left[1 - e^{-\alpha(t-\tau)}\right], \quad (11)$$

where $A_3 = \psi(\infty) = \text{const}$; $A_4 = \Delta(\infty) = \text{const}$; $\alpha >> \gamma > 0$.

"The presence of the second term in the formula... provides an initial steep rise in creep curves for small $t - \tau$".

Differentiating the integral equation (1b) two times in t, taking into account (11), we obtain the second order differential (E = const) equation corresponding to that.

$$\ddot{\varepsilon}E + (\gamma + \alpha)E\dot{\varepsilon} + \gamma\alpha E\varepsilon =$$
$$= \ddot{\sigma} + \left[(\gamma + \alpha) + EA_3\gamma + EA_4\alpha\right]\dot{\sigma} +$$
$$+ \left[1 + EA_3 + EA_4\right]\gamma\alpha\sigma.$$

From this equation it is clear that there is a force proportional to the acceleration

$$\sigma = \frac{E}{(1 + EA_3 + EA_4)\gamma\alpha}\ddot{\varepsilon}(t).$$

The remaining forces are proportional to $\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \dot{\sigma}, \ddot{\sigma}$ insignificant.

In Newtonian mechanics the presence of forces proportional to acceleration, indicates violation of the principle of independence of action of forces, and the impossibility of using expression (11) for concrete creep in practical problems, with variable forces $\sigma(t)$. We will come to the same result if we use many other formulas to describe the creep measure in the form of two or more terms (Yashin, McHenry, Prokopovich, Ulitsky, etc.).

The broad interpretation of the compliance factor in the form of "chain models" of type (11), beginning with the work of McHenry, is widely used for the sixth substitution of the fundamental property 1 of non-linear creep of concrete. McHenry, for example, writes a "chain model" in the form of

$$C(t,\tau) = C_0\left[1 - e^{-\gamma(t-t')}\right] + C_1 e^{-\gamma_2 t'}\left[1 - e^{-\gamma_3(t-t')}\right]. \quad (12)$$

McHenry himself admitted his attempt failed [6], which is not surprising. Here, as in the previous substitution, a violation of the principle of independence of action of forces appears; the principle of superposition here also forms a series of additional fictitious bodies that distort the creep core and the results of the theory. In addition, these defects, complementing each other, give unpredictable results for the theory.

We assign numerous untenable attempts to describe the theory of creep with the help of the so-called condition of affine similarity of creep curves to the seventh substitution of property 1 for non-linear creep of concrete

In this theory, the instantaneous properties of concrete are usually assumed to be non-stationary elastic, and the compliance function $I(t,t')$, depending on the parameter $\mu(t')$, is written in the usual form

$$I(t,t') = \frac{1}{E_c(t')} + C_\sigma\left[\mu(t'),t,t'\right].$$

Further, it is erroneously considered that the parameter μ is the stress σ (the *seventh substitution*).

$$I(t,t') = \frac{1}{E_c(t')} + F\left[\sigma(t'),t'\right]\cdot C(t,t').$$

As the *eighth substitution*, it is considered possible to write the specific creep deformation $C_\sigma\left[\mu(t'),t,t'\right]$ in a degenerate form (see also property 1).

In accordance with the principle of superposition, we have the law of creep

$$\varepsilon_\sigma(t) = \frac{\sigma(t)}{E_c(t)} -$$

$$-\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\left\{\frac{1}{E_c(t')} + F\left[\sigma(t'),t'\right]\cdot C(t,t')\right\}dt'. \quad (13)$$

Then a mathematical error appears, consisting in incorrect differentiation of the second integrand and the loss of the term

$$\left[\frac{\partial F}{\partial\sigma}\dot{\sigma}(t') + \frac{\partial F}{\partial t'}\right]C(t,t'), \quad (14)$$

what distorts the original superposition principle (13) and leads to appearing of the second (*ninth substitution*) principle of superposition in the basic creep law in the second integral term

$$\varepsilon_\sigma(t) = \frac{\sigma(t)}{E_c(t)} - \int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c(t')}dt' -$$

$$-\int_{t_0}^{t}\sigma(t')F\left[\sigma(t'),t'\right]\frac{\partial C(t,t')}{\partial t'}dt', \quad (15)$$

and appearing of the second fictitious force $\sigma_c^*(t') = \sigma(t')F\left[\sigma(t'),t'\right]$, acting independently of the first force $\sigma(t')$ (related to development of instantaneous deformations). We note that the loss of term (14) distorts the meaning of experimental data on the nature of specific creep curves corresponding to different levels of loading, what follows from (15): nonlinearity function $F\left[\sigma(t'),t'\right]$ removed from the essence of the curves C_σ and transferred to the force $\sigma(t')$, what formed a new non-linear relationship between stress and strain.

We present one of the numerous formulations justifying the erroneous law (15) in form of H. Leaderman: "...Boltzmann's principle of superposition of deformation with time was used... When deriving rheological equations for materials 'with memory' satisfying the closed cycle condition, Boltzmann postulated a linear relation between stresses and strains and used a hypothesis allowing to consider recovery. While the principle of superposition was reduced as a natural additional hypothesis. Later it was shown (Leaderman) that the principle of superposition does not require a linear connection between stresses and strains."

Comparing (15) and (1a), we emphasize that the nonlinear theory of concrete creep not only repeats the errors of the linear theory, but also adds two new significant errors to them: it incorrectly determines the parameter and function of nonlinearity of creep; supplements the linear erroneous principle of superposition with additional erroneous principle of superposition, which is nonlinear. The essence of the very principle of superposition, its connection with the Boltzmann scheme and its "chain models", was analyzed in detail in [15].

Recently, works have emerged that develop the "modification of the principle of strain superposition for nonlinear creep" in the form

$$\varepsilon(t,t_0) = \varepsilon(t_0) + \int_{t_0}^{t}\left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t,\tau)\right]d\sigma_c(\tau), \quad (16a)$$

where $\sigma_c(\tau) = S[\sigma(\tau)]$ is known stress function $\sigma(\tau)$.

The fallacy of this record is similar to that used in (1a). The total strain rate here is

$$v_\sigma(t,\tau) = \dot{S}\left[\sigma(\tau)\right]\left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t,\tau)\right] + S\left[\sigma(\tau)\right]\frac{d}{d\tau}\frac{1}{E(\tau)} +$$

$$+S\left[\sigma(\tau)\right]\frac{\partial}{\partial\tau}C(t,\tau) + S\left[\sigma(\tau)\right]\frac{\partial}{\partial t}C(t,\tau). \quad (16б)$$

This shows that in (16a) the last three terms of (16b) are lost. The significance of these terms is identical to the significance that we described above in paragraphs 1–3. It should be additionally taken into account that the identity of the nonlinear function $S[\sigma(\tau)]$ is also incorrect for short and long deformations.

"Modification" not only saves the gross errors of the nonlinear theory (15), but also adds new ones:

– instantaneous deformation, as before, is endowed with a mythical body of viscous fluid according to Maxwell's scheme, but the error is qualitatively preserved in the complicated structure shown in figure 3;

– nonlinear creep is based on the untenable and non-existent condition of affine similarity, however, the nonlinearity function is now determined not from creep experiments, corresponding to figure 1, and from experiments on short-term loading (figure 2), and has no relation to the creep measure $C(t,t')$.

The results

The mathematical analysis of the existing errors of the modern theory of long-term resistance of reinforced concrete is carried out: in the values of instantaneous deformation, the error is up to 300%; in values of long deformation – up to 250%. There are many substitutions due to the non-stationarity property 8 of the stress $\sigma(\tau)$. With such substitutions, the creep law is empirically converted to the form of some algebraic expression. Stresses here are replaced by a variety of values: constant stress; conditional "average equivalent stress over a period of time $t-t_0$"; stress is replaced by a certain function (linear, parabolic), depending on the creep characteristic of concrete, the mean-theorem is also involved; other empirical untenable substitution. N.Kh. Arutyunyan, S.V. Aleksandrovsky repeatedly show the inconsistency of algebraic creep theories: the condition of a unambiguous algebraic connection between $C(t,\tau)$ and $\sigma(\tau)$ is "devoid of physical meaning"; such a connection "leads" to implausible results.

RU

Цель исследования

Анализируемая в статье теория характеризуется ее авторами как новый мировой гармонизированный формат: он «координируется и продвигается международными институтами по стандартизации в рамках всемирного гармонизационного сценария» [1]. Сейчас эта теория активно пропагандируется известными мировыми учеными с целью внедрения в область международно признанных нормативно-технических документов и основных правил применения. Ей посвящены многочисленные публикации, она включена в Типовые нормы FIB, руководство ASI и другие документы [2; 3]. Ее одобряют на различных международных конференциях США, Европы, России, например на Первых Международных научно-технических «Гвоздевских чтениях» (Москва, октябрь 2017 г.). Следовательно, анализ, излагаемый в данной статье, важен не только для научной теории, но и для громадной международной практики железобетонного строительства [4]. Выявляются и рассматриваются ошибки в той области теории ползучести, где, как свидетельствуют ее руководители и авторы, есть «установившийся консенсус» [1]; речь также не идет об иной точке зрения или упрощениях в стандартизации, поскольку устранение выявленных ошибок существенно упростит теорию длительного сопротивления железобетона.

Методы

Немного о несостоятельности теории ползучести железобетона. Эта система возникла и развивается из-за построения теории на совокупности ошибочных принципов, правил и самовольных приемов, что усугубляется многочисленными подменами (случайными или преднамеренными) фундаментальных опытных свойств бетона, и основывается на наследовании принципов несоответствующей теории упругого последействия Больцмана.

О несостоятельности теории разносторонне и комплексно свидетельствуют: наличие системы грубых математических ошибок; нарушения принципов и правил классической механики и Еврокодов; несоответствия общеизвестным экспериментальным данным; отрицательные результаты проектной практики, в том числе мировой опыт проектирования уникальных сооружения структурами RAMBOLL (Великобритания) [4].

Анализируемые в статье основополагающие ошибки характерны не только для ползучести бетона, но и для реологии всего комплекса стареющих материалов. Известно, что к таким материалам относятся «бетон, древесина, многие полимеры и пластмассы, горные породы (также грунты), лед и др., (они) характерны тем, что их физико-механические свойства меняются во времени, т.е. зависят от возраста материала».

Рассмотрим сначала совокупность фундаментальных опытных свойств бетона. Бетон как конструкционный материал имеет существенно нелинейные свойства; они общеизвестны из Еврокодов и начали внедряться в нормы многих стран после работы L. Baes (1927 г.):

1. «Деформации ползучести нелинейны с самых низких уровней загружения, …никакой области *линейной ползучести… не существует*». Так свидетельствуют основоположники теории А.А. Гвоз-

дев, Н.Х .Арутюнян, С.В. Александровский, П.И. Васильев, рис. 1 [8].

Нелинейная ползучесть бетона уже в 1931 г. проявляется в результатах планомерно проведенных обширных экспериментов R.E. Davis и H.E. Davis.

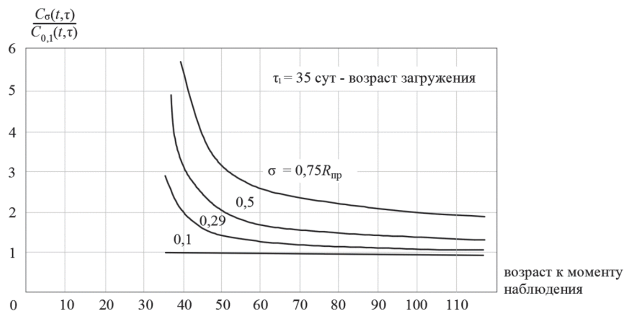

Рис. 1. Изменение отношений удельных деформаций ползучести при разных начальных уровнях напряжений $C_\sigma(t,\tau)$ к удельным деформациям ползучести при начальном уровне напряжений $C_{0,1}(t,\tau)$

Мировой формат, рассматривая только линейную ползучесть бетона, описывает то, чего не существует. Характер графиков на рис. 1 показывает, что любую из трех кривых ($\sigma = 0,29R_{\text{пр}}$, $\sigma = 0,5R_{\text{пр}}$, $\sigma = 0,75R_{\text{пр}}$) невозможно приближенно подменить горизонтальной прямой $\sigma = 0,1R_{\text{пр}}$: значения удельных деформаций различаются в 2–5 раз, причем речь идет только о частной ситуации – простой ползучести. При переменных напряжениях $\sigma(t)$ необходимо дополнительно рассматривать переход от одной кривой к другой кривой.

На рис. 1 приведен фрагмент из обширных экспериментальных данных НИИЖБ, широко опубликованных в различных научных изданиях; такие же данные можно получить из хорошо известных работ A.D. Ross, Р.А. Мельника и других ученых. По оси ординат на рис. 1 показаны значения отношения $C_\sigma(t,\tau)/C_{0,1}(t,\tau)$, то есть отношения мер нелинейной ползучести (удельных деформаций ползучести), найденных экспериментально при разных уровнях постоянных напряжений σ, к мере ползучести, соответствующей минимальному в опыте уровню напряжений $\sigma = 0,1R_{\text{пр}}$. Напомним, что мера ползучести $C(t,\tau)$ по Г.А. Маслову – это «деформация ползучести к моменту времени *t* от единого напряженного состояния, наступившего в момент времени τ».

Обратим здесь внимание на несостоятельность попыток описать нелинейную ползучесть бетона с помощью линейных «цепных моделей», вытекающую из данных рис. 1. Эти попытки начаты в работе Мак-Генри (1943 г.) и продолжаются до сих пор в анализируемой нами мировой теории. Дополнительно заметим, что эти попытки также приводят к нарушению основ классической механики.

А.Н. Ржаницын, анализируя эксперименты, обращал внимание: «кривые ползучести *меняют свой вид* при изменении постоянного напряжения». Это свидетельствует, с одной стороны, о присутствии некоторого параметра $\mu(\tau)$ в кривой удельной меры ползучести $C_\sigma(\mu(\tau),t,\tau)$, а с другой стороны, о непригодности использования весьма распространенного условия аффинного подобия $C_\sigma = F[\sigma(\tau),\tau]C(t,\tau)$: $F[\sigma(\tau),\tau]$ – экспериментальная функция нелинейности; $C(t,\tau)$ – мера ползучести бетона.

2. Деформации ползучести бетона нестационарна; нестационарность учитывается с помощью функции старения $\varphi(\tau)$ в выражении меры ползучести $C(t,\tau) = \varphi(\tau)f(t-\tau)$, $f(t-\tau)$ – «функция, учитывающая нарастание во времени меры ползучести». Функция $\varphi(\tau)$ определяет процесс старения

$$0 \le \tau \le t < \infty,\ \varphi(\tau) = \lim_{t\to\infty} C(t,\tau).$$

В научной литературе имеется много предложений по виду записи функций $\varphi(\tau)$, обоснованных обстоятельными экспериментами [8].

В рассматриваемом здесь мировом формате теории используется характеристика ползучести $\Phi(t,\tau)$, связанная с мерой ползучести соотношением $\Phi(t,\tau) = C(t,\tau)E(\tau)$, $E(\tau)$ – модуль упругости. Отсюда видно, что использование характеристики ползучести приводит к большему числу эмпирических коэффициентов, определяемых различными по постановке экспериментами. Например, по данным Н.Х. Арутюняна

$$\Phi_{\text{хар}}(\tau) = \varphi(\tau)E(\tau) = \left(C_0 + \frac{A_1}{\tau}\right)E_0\left(1-\beta e^{-\alpha\tau}\right),$$

где E_0, β, α – дополнительные константы модуля упругости, усложняющие функцию старения. Это замечание не имеет принципиального значения, оно указывает на неоправданную громоздкость неудачного выбора.

3. Деформации ползучести бетона носят затухающий характер. А.А. Гвоздев еще в 1955 г. указывал: «Если действующее напряжение еще ниже предела длительного сопротивления, то деформация – нелинейная, но затухающая» [14].

4. Деформации ползучести (годы) и кратковременные деформации бетона (минуты) в опытах проявляются раздельно и независимо друг от друга; средние скорости их различаются в 518 400 раз. По этой причине ошибкой является подмена кратковременных нелинейных деформаций деформациями линейной «минутной ползучести», приводящая к нарушению принципа независимости действия сил классической механики.

5. Кратковременные деформации бетона нелинейны [5]; диаграмма σ–$\varepsilon_м$ имеет ниспадающий участок и ограниченную протяженность (рис. 2).

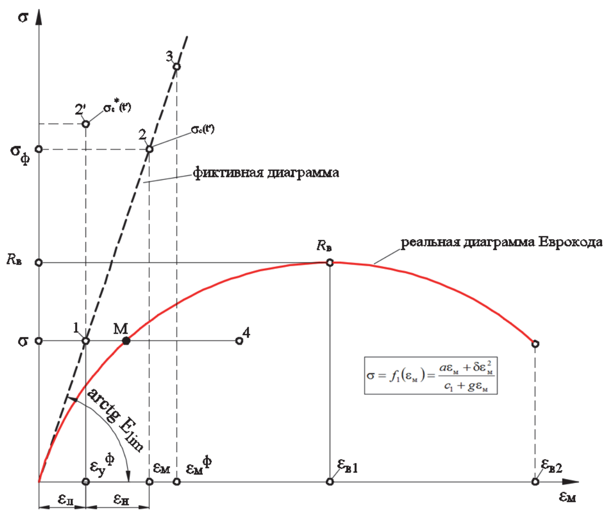

Рис. 2. Искажение диаграммы σ–ε бетона

Это свойство бетона известно более ста лет (Риттер, Франк, Залигер, Бах, Шюле, Гастев, Богуславский, Рош, Сахновский, Иошида, Эмпергер, Шрейер, Нилендер, Онищик, Подольский, Байков и др.). В Еврокоде 2 использована кривая, предложенная Сарджиным (Канада).

Однако в мировом формате теории ползучести кратковременные деформации подменяются законом Гука.

В научной литературе линейность кратковременных деформаций обосновывается различными недостоверными способами; многочисленные и основательные опыты авторитетных ученных о нелинейной кратковременной деформации дезавуируются; появляется ошибочное утверждение об «экспериментально обоснованных» мгновенных упругих свойствах бетона: «в экспериментах мгновенные деформации линейно зависят от напряжений»; «мгновенные деформации линейно связаны с напряжениями и соответственно модуль упруго-мгновенных деформаций не зависит от значения и знака напряжений»; под «упруго-мгновенными следует понимать деформации, развивающиеся под действием *статистической нагрузки с весьма большой скоростью*»; «бетон часто рассматривается как материал в значительной степени неупругий… К счастью, это не так. Отличия от закона Гука для бетона объясняются влиянием времени… Путем экстраполяции получается кривая мгновенных деформаций, которая оказывается четко прямолинейной». С удивительной настойчивостью также несостоятельно уповают на цепные модели, ошибочно переделав пластическую деформацию $\varepsilon_н$ (рис. 2) в деформацию минутной ползучести.

6. Кратковременные деформации бетона нестационарны; в кратковременной диаграмме σ–$\varepsilon_м$ (рис. 2) параметры a, b, g являются функциями времени. Например: $a = 2 \cdot 10^5 \left(1 - e^{-0{,}03\tau}\right)$;

по опытным данным ВНИИГ $b = \dfrac{R_в(\tau)}{\varepsilon_{в0}^2(\tau)}$,

$$g = \left[\frac{E(\tau)}{R_в(\tau)} - \frac{2}{\varepsilon_{в0}(\tau)}\right]\varepsilon_{в0}^2.$$

7. Присутствует нелинейность деформирования, обусловленная малой прочностью бетона на растяжение, отвергающая модели норм, основанных на условии бесконечной $\sigma(\tau)$ растяжимости бетона.

8. Нестационарность напряжений $\sigma(\tau)$ подчеркивает недопустимость использования упрощений в виде алгебраизации теории ползучести бетона [1; 8].

9. Полная деформация бетона, возникающая под действием напряжения $\sigma(\tau)$, является суммой деформаций ползучести и кратковременной деформации.

Подмена мгновенной нелинейной деформации $\varepsilon_н$ деформацией минутной ползучести внесла беспорядок в результаты экспериментальных значений, а также в нормирование характеристики ползучести φ_∞. В зависимости от каприза экспериментатора характеристику ползучести определяют четырьмя способами

$$\varphi_{1\infty} = \frac{\varepsilon_н + \varepsilon_п}{\varepsilon_л}, \quad \varphi_{2\infty} = \frac{\varepsilon_п}{\varepsilon_л},$$

$$\varphi_{2\infty} = \frac{\varepsilon_п}{\varepsilon_л + \varepsilon_н}, \quad \varphi_{4\infty} = \frac{\varepsilon_н}{\varepsilon_л},$$

где $\varepsilon_н$ – деформация мгновенная нелинейная; $\varepsilon_л$ – деформация мгновенная линейная; $\varepsilon_п$ – деформация ползучести.

Для определенности рассмотрим высокие уровни напряжений $\sigma \to R_в$, при которых можно приблизительно (для анализа) принять деформации равными между собой. В этом частном случае имеем существенно разные между собой значения характеристики ползучести ($\varphi_{1\infty} = 2$, $\varphi_{2\infty} = 1$, $\varphi_{3\infty} = 0,5$, $\varphi_{4\infty} = 1$): различие составляет до 4 раз, что недопустимо для применения в практике проектирования.

10. При напряжениях $\sigma > R_{дл}$, превышающих предел длительного сопротивления бетона, деформация ползучести является незатухающей [14].

Совокупность перечисленных фундаментальных свойств бетона (установлена Еврокодом) уникальна по своей сложности. Эта совокупность демонстрирует практические интересы, необходимость учета их в состоятельной теории расчета железобетона, недопустимость пренебрежительного отношения к каждому из свойств. Эти пренебрежения и составляют систему несостоятельности рассматриваемой мировой теории, с численными погрешностями до 300 % и более и грубыми математическими ошибками.

Начало создания теории ползучести бетона положено в 1940 г. выдающимся ученым-гидротехником Г.А. Масловым. Он ввел классическую линейную связь между напряжением σ(τ) и функцией податливости Φ (в мировой теории $\Phi = I(t,t')$), характеризующей перемещение при единичной силе, по аналогии с потенциальными системами классической механики. Им указана необходимость учета старения бетона в мере ползучести и нестационарности модуля упругости.

Г.А. Маслов особо подчеркивал, настоятельно предупреждал, что делается первый шаг в построении теории: «*в первом приближении* произвести оценку эффекта ползучести в работе бетона и железобетонных (гидротехнических) сооружений»; «*на настоящем этапе наших знаний* в этой области приходится *идеализировать*… физическую сторону явления»; «принимаем допущения…, упрощающие математические выкладки».

Начальные и осторожные предположения Г.А. Маслова, его настоятельные предостережения забыты в современной мировой теории длительного сопротивления железобетона. Совокупность фундаментальных основополагающих свойств бетона, в том числе сформулированных в принципах и правилах Еврокода 2, обязательных к применению в мировых нормах, беспрецедентно искажается в современных международный стандартах. В них теория ползучести бетона основывается на иных свойствах и правилах: ошибочном принципе наложения; несуществующих линейных свойствах; выдуманных «цепных моделях»; используются несостоятельные ссылки на классическую теорию Вольтерра; привлекается алгебраизация теории и др.

Рассмотрим сначала основополагающую ошибку, состоящую в копировании принципа линейной суперпозиции Больцмана.

Принцип наложения является основой как современной научной теории ползучести бетона, получившей у зарубежных ученых название «мирового гармонизированного формата», так и разработок «в последние десятилетия международных институтов стандартизации... для рекомендаций, норм и технических руководящих документов» [1–3]. Здесь же указывается, что Мак-Генри в США (1943 г.) «обосновал эту тенденцию экспериментальными исследованиями ползучести герметичных образцов по принципу наложения, свойственному для теории Вольтерра».

Основной закон ползучести бетона приведем в оригинальных обозначениях [1]:

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

где $\varepsilon_\sigma(t)$ – полная деформация от напряжения σ(*t*); $J(t,t') = \dfrac{1}{E_c(t')} + \dfrac{\varphi(t,t')}{E_c(t')}$ – функция податливости; $E_c(t')$ – нестационарный модуль упругости; $\varphi(t,t')$ – нестационарная характеристика ползучести, учитывающая старение.

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

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

Заметим, что слагаемое $\dfrac{\varphi(t,t')}{E_c(t')}$ является мерой ползучести бетона $C(t,t')$, используемой в публикациях в странах бывшего СССР, 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 (1а), (1б) обосновываются двумя основополагающими допущениями: принципом линейной связи между напряжениями и деформациями

$$\varepsilon_{\sigma}\left(t,t'\right)=\sigma\left(t'\right)J\left(t,t'\right); \qquad (1в)$$

принципом наложения, словесно сформулированном в различных вариантах изложения в многочисленных общеизвестных публикациях по теории ползучести бетона, справочниках, например в [9].

Серьезные ошибки в (1а) делают нормативную теорию несоответствующей Еврокоду, ненадежной и неэкономичной. При годовом объеме 4 млрд м^3 применения в мире бетона и железобетона потери от таких норм и расчетов составляют значительную величину. Напомним также о трагедии обрушения Трансвааль-парка (Москва, 2004 г.), обусловленной проблемами ползучести бетона.

Рассмотрим сначала слагаемые в (1а), (1б), описывающие кратковременные свойства и деформации. Здесь в мировом формате теории совершается ряд подмен свойств из фундаментальной совокупности (1.–10.).

Первая подмена состоит в нарушении свойства 5. Нелинейная мгновенная деформация $\varepsilon_{м}=\varepsilon_{л}+\varepsilon_{н}$, точка *M* на рис. 2 заменяется упругой деформацией $\varepsilon_{л}$, точка 1 на рис. 2, то есть реальная криволинейная диаграмма Еврокода, выбрасывается и подменяется фиктивной линейной диаграммой (рис. 2).

Статья 1.4 (5) Еврокода 0 запрещает такие самовольные действия, указывая на необходимость их обоснования: необходимо «доказать, что они соответствуют принципам и, по крайней мере, не хуже их в части безопасности, эксплуатационной пригодности и долговечности, предполагаемых при использовании соответствующей статьи Еврокода». Между тем первая подмена занижает кратковременные деформации бетона до 100 %, а в расчетах сжатых конструкций ошибка в предельной нагрузке составляет до 500 %.

Вторая подмена, незамеченная учеными, коверкает ошибочную здесь упругую модель Гука (рис. 2); она приделывает к классической линейной связи $\sigma(t)/E(t)$ несуществующее и нереальное тело вязкой жидкости с коэффициентом линейной вязкости Ньютона $\eta\left(t'\right)=\dfrac{E_c^2\left(t'\right)}{\dot{E}_c\left(t\right)}$:

$$\varepsilon_{у}\left(t\right)=\frac{\sigma\left(t_0\right)}{E_c\left(t_0\right)}+\int_{t_0}^{t}\frac{1}{E_c\left(t'\right)}d\sigma\left(t'\right)=$$
$$=\frac{\sigma\left(t\right)}{E_c\left(t\right)}-\int_{t_0}^{t}\sigma\left(t'\right)\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c\left(t'\right)}dt'. \qquad (2)$$

Формула (2) являет собой первые слагаемые в (1а), (1б) и демонстрирует превращение классического нестационарного упругого тела в вязкоупругую среду Максвелла.

Сущность *второй подмены* вытекает из принципа наложения, основополагающего принципа в построении закона ползучести (1а). Принцип наложения, являясь своеобразной катахрезой (злоупотреблением), соединяет одновременно в себе два понятия, несоединимые по смыслу: стационарность и нестационарность механических свойств бетона. Заимствуя схему Больцмана, принцип наложения заимствует и нестационарность соответствующих свойств материала этой схемы, то есть отвергает фундаментальные нестационарные линейные свойства бетона 6., подменяя их стационарными свойствами. Реализуется же принцип наложения в нестационарных линейных свойствах (1в) в условиях основополагающего значения этой нестационарности.

Математическая сущность ошибки возникает от второй подмены в значениях деформаций бетона, выявляемых следующим образом.

Скорость упругой деформации равна

$$\dot{\varepsilon}_{у}\left(t'\right)=\dot{\sigma}\left(t'\right)\frac{1}{E_c\left(t'\right)}+\sigma\left(t'\right)\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c\left(t'\right)}.$$

Интегрируя, имеем

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

Интегрируя первое слагаемое по частям, найдем

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

Отсюда кратковременная деформация равна

$$\varepsilon_{у}\left(t\right)=\frac{\sigma\left(t\right)}{E_c\left(t\right)}; \qquad (3)$$

также видно, что первое слагаемое под знаком интеграла (1а) является лишним, а использование в (1а) и (1б) принципа наложения

$$\varepsilon_{у}\left(t\right)=\frac{\sigma\left(t_0\right)}{E_c\left(t_0\right)}-\int_{t_0}^{t}\frac{1}{E_c\left(t'\right)}d\sigma\left(t'\right)=$$
$$=\frac{\sigma\left(t\right)}{E_c\left(t\right)}-\int_{t_0}^{t}\sigma\left(t'\right)\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_c\left(t'\right)}dt' \qquad (4)$$

глубоко ошибочно.

Произведем численную оценку ошибки, возникающей при определении мгновенной упругой деформации, исковерканной принципом наложения. Положив в (3), (4) $\sigma(t)=\sigma_0=\mathrm{const}$, получим $\varepsilon_{\text{у}}(t)=\dfrac{\sigma_0}{E_c(t)}$ и $\varepsilon_{\text{у}}(t_0)=\dfrac{\sigma_0}{E_c(t_0)}=\mathrm{const}$. Сравнение этих деформаций показано на рис. 3.

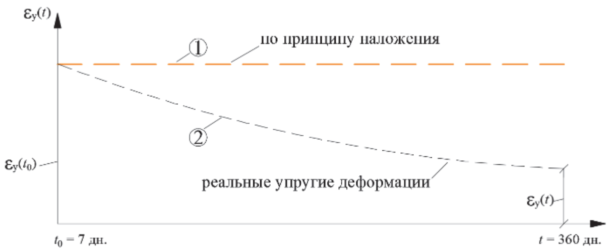

Рис. 3. Сравнение $\varepsilon_{\text{у}}(t_0)$ и $\varepsilon_{\text{у}}(t)$

Кривая 2 на рис. 3 соответствует данным ВНИИГ об изменении модуля упругости $E_{\text{с}}(t)$ во времени. Ошибки в значении упругой деформации при t = 360 дн. достигают ≈ 300 %.

Искажения мгновенных нестационарных нелинейных деформаций $\varepsilon_{\text{н}}$, попытки их несостоятельного описания рассмотрим чуть позже.

Последнее слагаемое под знаком интеграла в законе (1б) являет *третью подмену* фундаментального свойства 1. нелинейной ползучести: вместо него используется несуществующее свойство линейной ползучести. Из данных рис. 1 видно, что ошибка от такой подмены составляет до +400 % при $t=40$ сут. Если взять за основу среднюю кривую, соответствующую $\sigma=0{,}5R_{\text{пр}}$ с ее опытными параметрами, то ошибка от такого искажения будет составлять от +200 до –200 %.

Четвертую подмену демонстрирует последняя часть интеграла (1б)

$$\int_{t_0}^{t}\frac{\varphi(t,t')}{E_c(t')}d\sigma(t'),$$

описывающего процесс развития деформаций ползучести при переменных $\sigma(t')$ В основе здесь, с названием принципа наложения, копируется принцип линейной суперпозиции Больцмана, соответствующий стационарным свойствам ползучести материала, то есть происходит подмена фундаментального свойства 2. бетона. Эта подмена, с одной стороны, приводит к потере трех слагаемых в основном законе (1а), вызванных скоростью изменения коэффициента податливости:

$$\sigma(t')\frac{1}{E_c(t')}\frac{\partial\varphi(t,t')}{\partial t}+$$

$$+\sigma(t')\frac{1}{E_c(t')}\frac{\partial\varphi(t,t')}{\partial t'}-\sigma(t')\varphi(t,t')\frac{\dot{E}_c(t')}{E_c^2(t')},$$

причем по значимости они сопоставимы с оставшимся слагаемым. Эти потери вызывают значительные расхождения между теорией и экспериментами, описанные в научной литературе. Они приводят к неправильному выражению ядра ползучести даже в рамках несуществующей линейной теории ползучести бетона. Принцип наложения коверкает эту линейную теорию, вызывая появления добавочных несуществующих тел. Число таких тел зависит от вида функции $\varphi(t,t')$, описывающей нестационарную характеристику ползучести в основном законе (1). Запишем эту функцию в общеизвестном, широко используемом в научной литературе, виде

$$\frac{\varphi(t,t')}{E_{\text{с}}(t')}=\frac{\varphi_\infty(t')\left[1-e^{-\gamma(t-t')}\right]}{E_c(t')}, \tag{5}$$

где $\varphi_\infty(t')$ – функция, учитывающая старение бетона.

В известной монографии И.Е. Прокоповича характеристика ползучести $\varphi(t,t')$ зарубежных ученых имеет обозначение $\bar{C}(t,\tau)$ – это тождественные величины.

В случае (5) основной закон (1а) образует четыре лишних (фиктивных) тела: два тела типа Фойгта и два вязких элемента, соединенных последовательно между собой. Деформации этих тел равны

$$\varepsilon_{1\text{ф}}(t)=\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{1}{\eta_{1\text{ф}}(t')}e^{-\gamma(t-t')}dt',$$

$$\eta_{1\text{ф}}(t')=\frac{E_{\text{с}}(t')}{\dot{\varphi}_\infty(t')}; \tag{6}$$

$$\varepsilon_{2\text{ф}}(t)=\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{1}{\eta_{2\text{ф}}(t')}dt',$$

$$\eta_{2\text{ф}}(t')=\frac{E_{\text{с}}^2(t')}{\dot{E}_c(t')}\frac{1}{\varphi_\infty(t')}; \tag{7}$$

$$\varepsilon_{3\text{ф}}(t)=\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{1}{\eta_{3\text{ф}}(t')}e^{-\gamma(t-t')}dt',$$

$$\eta_{3\text{ф}}(t')=-\frac{E_{\text{с}}^2(t')}{\dot{E}_c(t')}\frac{1}{\varphi_\infty(t')}; \tag{8}$$

$$\varepsilon_{4\text{ф}}(t)=\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{1}{\eta_{4\text{ф}}(t')}dt',$$

$$\eta_{4\text{ф}}(t')=-\frac{E_{\text{с}}(t')}{\dot{\varphi}_{\infty}(t')}, \qquad (9)$$

где $\eta_{1\text{ф}}$, ... , $\eta_{4\text{ф}}$ – коэффициенты вязкости или коэффициенты внутреннего сопротивления фиктивных тел, причем тела (8) Фойгта и (9) вязкого элемента при сжатии расширяются.

Деформации ползучести (6)–(9), вызванные воздействием принципа наложения на классическую связь (1в), являются фикцией; они суммируются также с кратковременной фиктивной деформацией

$$\varepsilon_{5\text{ф}}(t)=-\int_{t_0}^{t}\sigma(t')\frac{\partial}{\partial t'}\frac{1}{E_{\text{с}}(t')}dt': \qquad (10)$$

$$\varepsilon_{\sigma\text{ф}}(t)=\sum_{i=1}^{5}\varepsilon_{i\text{ф}}(t)$$

и вносят большие погрешности в значение полной деформации $\varepsilon_{\sigma}(t)$, определяемые законом ползучести (1б).

Этот выявленный факт существенного ошибочного усложнения теории, вызванного принципом наложения, показывает несостоятельность суждений ведущих ученых о мифических достоинствах и преимуществах этого принципа, высказываемых в настоящее время, оценивающих его с точностью до наоборот: «неточность, вызванная в результате принятия этой гипотезы, *практически незначительна*, и, с другой стороны, эта гипотеза *значительно* упрощает феноменологическую теорию ползучести и делает ее более простой и доступной для применения в инженерных расчетах»; «применительно к линейным деформациям ползучести принцип суперпозиции впервые был использован Л. Больцманом (1874 г.), но только недавно доказана его *справедливость* (Persoz B.) для нелинейных деформаций ползучести».

Пятая подмена нарушает фундаментальное свойство бетона 5..

В рамках требований Еврокода 2 к диаграмме мгновенного деформирования бетона (рис. 2) следует признать ошибкой теории ползучести изъятие пластической деформации $\varepsilon_{\text{н}}$ из общей величины мгновенной деформации $\varepsilon_{\text{м}}$ и перевод ее в разряд деформации ползучести $\varepsilon_{\text{п}}(t)$: пластическая деформация $\varepsilon_{\text{н}}$ развивается около 1–2 мин. (Александровский, Базант), а деформация ползучести $\varepsilon_{\text{п}}(t)$ длится годами; скорость нарастания нелинейных деформаций до 2000 раз превышает скорость нарастания деформаций ползучести (в 1 сут.); скорость и время роста упругих $\varepsilon_{\text{л}}$ и нелинейных деформаций $\varepsilon_{\text{н}}$ имеют один порядок, ошибкой является разъединение этих деформаций путем разделения общей величины $\varepsilon_{\text{м}}$ в нарушение правил Еврокода 2.

Пластическая мгновенная деформация $\varepsilon_{\text{н}}$ наделена наименованием быстронатекающей, либо минутной ползучести; суммарная деформация обычной $\varepsilon_{\text{п}}(t)$ и быстронатекающей ползучести $\varepsilon_{\text{н}}$ устанавливается с помощью меры ползучести

$$C(t,\tau)=C_{\text{оп}}(t,\tau)+C_{\text{бп}}(t,\tau),$$

представленной в виде двух функций для обычной и для быстронатекающей ползучести. Таким приемом искусственно создаются ненужные математические сложности, и возникает нарушение фундаментального в механике принципа независимости действия сил (подробнее в п. 5); в расчетах конструкций возникают нелепые результаты.

Математические сложности состоят в необходимости построения ненужного интеграла, сопровождаемого дефектами принципа наложения:

$$\varepsilon_{\text{н}}(t)=\int_{\tau_1}^{t}\sigma(\tau)\frac{\partial}{\partial\tau}C_{\text{бп}}(t,\tau),$$

тогда как $\varepsilon_{\text{н}}$ легко находится из формулы Сарджина и других уравнений, описывающих мгновенные диаграммы, например из параболы Эмпергера $\varepsilon_{н}=B_2\sigma^2$ либо из зависимости, предложенной НИИЖБ

$$\varepsilon_{\text{н}}=\frac{\sigma^4}{ER^3_{\text{пр}}}\left(0{,}1+\frac{24}{2+R_{\text{пр}}}\right).$$

Сравнивая эти формулы между собой, видим ошибочность интегральной формы, предназначенной для отыскания быстронатекающей ползучести, ее надуманность.

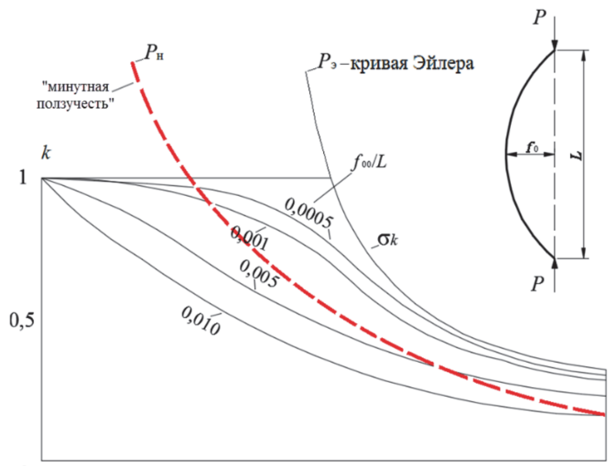

Рис. 4. График расчета сжато-изогнутых бетонных конструкций с начальной погибью

Приведем поучительный пример, показывающий нелепость результатов, полученных с помощью быстронатекающих деформаций ползучести. Рассмотрим продольный изгиб сжатой стойки в промежутке одних суток после загружения, когда успевает проявиться в основном быстронатекающая ползучесть. Длительная критическая сила в соответствии с известными решениями Ржаницына, Работнова, Шестерикова, Прокоповича равна $P_{д} = \frac{\pi^2 HI}{e^2}$, где $H = \frac{E}{1+\phi_{бн}}$, $\varphi_{бн}$ – характеристика быстронатекающей ползучести. Эта критическая сила устремляется по величине к бесконечности при длине $l \to 0$ (рис. 4), что отвергается и экспериментами, и здравым смыслом.

Если же мгновенные нелинейные деформации не присовокуплять к деформациям ползучести, то имеем касательно-модульную (либо приведенно-модульную) критическую силу с конечной величиной при $l \to 0$.

Обратим внимание, что переименование пластических деформаций $\varepsilon_{н}$ (рис. 2) в деформации ползучести $\varepsilon_{п}(t)$ и их однообразное математическое описание

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_{\tau_1}^{t} \frac{\sigma(u)}{E(u)} L_E(t,u) du$$

в записи функции $L_E(t,u)$ приводит к искажению результатов экспериментальных исследований по проблемам ползучести бетона во всех странах мира (см. [1]). Вследствие такого перемешивания деформации ползучести ошибочно приобретают начальные «вертикальные отрезки», искажающие значения деформаций ползучести (до 50 %), отвлекающие исследователей ползучести бетона и вводящие специалистов по теории железобетона в заблуждение.

Ошибочные предположения о «быстронатекающей ползучести», «минутной ползучести» и «вертикальных отрезках» сильно исказили направление развития теории ползучести железобетона. Их внедрение в нормы наносит вред железобетонному строительству.

Запись меры ползучести бетона в виде такой суммы приводит не только к математическому усложнению теории ползучести, но и к нарушению принципа независимости действия сил механики Ньютона.

Для наглядности рассмотрим простой и поучительный случай. Меру ползучести запишем в виде, предложенном С.В. Александровским (в его обозначениях)

$$C(t,\tau) = A_3\left[1 - e^{-\gamma(t-\tau)}\right] + A_4\left[1 - e^{-\alpha(t-\tau)}\right], \quad (11)$$

где $A_3 = \psi(\infty) = \text{const}$; $A_4 = \Delta(\infty) = \text{const}$; $\alpha >> \gamma > 0$.

«Наличие второго слагаемого в формуле... обеспечивает начальный крутой подъем кривых ползучести при малых t–τ».

Дифференцируем с учетом (11) два раза по t интегральное уравнение (1б), получаем соответствующее ему дифференциальное уравнение (E = const) второго порядка:

$$\begin{aligned} &\ddot{\varepsilon}E + (\gamma+\alpha)E\dot{\varepsilon} + \gamma\alpha E\varepsilon = \\ &= \ddot{\sigma} + \left[(\gamma+\alpha) + EA_3\gamma + EA_4\alpha\right]\dot{\sigma} + \\ &+ \left[1 + EA_3 + EA_4\right]\gamma\alpha\sigma. \end{aligned}$$

Из уравнения видно, что в нем присутствует сила, пропорциональная ускорению

$$\sigma = \frac{E}{(1 + EA_3 + EA_4)\gamma\alpha}\ddot{\varepsilon}(t).$$

Остальные силы, пропорциональные $\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \dot{\sigma}, \ddot{\sigma}$, роли не играют.

В механике Ньютона наличие сил, пропорциональных ускорению $\ddot{\varepsilon}$, свидетельствует о нарушении принципа независимости действия сил и невозможности использования выражения (11) для меры ползучести бетона в практических задачах при переменных силах $\sigma(t)$. Такой же результат будет достигнут при использовании других формул для описания меры ползучести в виде двух и большего числа слагаемых (Яшин, Мак-Генри, Прокопович, Улицкий и др.).

Расширительное толкование коэффициента податливости в виде «цепных моделей» типа (11), начиная с работы Мак-Генри, широко используется для *шестой подмены* фундаментального свойства 1. нелинейной ползучести бетона. Мак-Генри, например, записывает «цепную модель» в виде

$$C(t,\tau) = C_0\left[1 - e^{-\gamma(t-t')}\right] + C_1 e^{-\gamma_2 t'}\left[1 - e^{-\gamma_3(t-t')}\right]. \quad (12)$$

Он сам признал свою попытку неудачной [6], что неудивительно. Здесь, как и в предыдущей подмене, появляется нарушение принципа независимости действия сил; принцип наложения также образует ряд дополнительных фиктивных тел, которые коверкают ядро ползучести и результаты теории. Кроме того, эти дефекты, дополняя друг друга, дают непредсказуемые для теории результаты.

К *седьмой подмене* свойства 1. о нелинейной ползучести бетона отнесем многочисленные несостоятельные попытки описать теорию ползучести с помощью так называемого условия аффинного подобия кривых ползучести.

В этой теории обычно принимают мгновенные свойства бетона нестационарными упругими, а функцию податливости $I(t,t')$ – зависящей от параметра $\mu(t')$, и записывают в обычном виде

$$I\left(t,t'\right)=\frac{1}{E_c\left(t'\right)}+C_\sigma\left[\mu\left(t'\right),t,t'\right].$$

Далее ошибочно считают, что параметром μ является напряжение σ (*седьмая подмена*).

$$I\left(t,t'\right)=\frac{1}{E_c\left(t'\right)}+F\left[\sigma\left(t'\right),t'\right]\cdot C\left(t,t'\right).$$

В качестве *восьмой подмены* считают возможным записать удельную деформацию ползучести $C_\sigma\left[\mu\left(t'\right),t,t'\right]$ в вырожденном виде (см. также свойство 1.).

В соответствии с принципом наложения имеем закон ползучести

$$\varepsilon_\sigma\left(t\right)=\frac{\sigma\left(t\right)}{E_c\left(t\right)}-$$

$$-\int_{t_0}^{t}\sigma\left(t'\right)\frac{\partial}{\partial t'}\left\{\frac{1}{E_c\left(t'\right)}+F\left[\sigma\left(t'\right),t'\right]\cdot C\left(t,t'\right)\right\}dt'. \quad (13)$$

Далее появляется математическая ошибка, состоящая в неправильном дифференцировании второго подынтегрального выражения и утере слагаемого

$$\left[\frac{\partial F}{\partial\sigma}\dot{\sigma}\left(t'\right)+\frac{\partial F}{\partial t'}\right]C\left(t,t'\right), \quad (14)$$

что коверкает изначальный принцип наложения (13) и приводит к появлению второго (*девятая подмена*) принципа наложения в основном законе ползучести во втором интегральном члене

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

$$-\int_{t_0}^{t}\sigma\left(t'\right)F\left[\sigma\left(t'\right),t'\right]\frac{\partial C\left(t,t'\right)}{\partial t'}dt', \quad (15)$$

и второй фиктивной силы $\sigma_c^*\left(t'\right)=\sigma\left(t'\right)F\left[\sigma\left(t'\right),t'\right]$, действующей независимо от первой силы $\sigma(t')$ (связанной с развитием мгновенных деформаций). Обратим внимание, что потерей слагаемого (14) извращается смысл экспериментальных данных о сущности удельных кривых ползучести, соответствующих различным уровням загружения, что следует из (15): функция нелинейности $F\left[\sigma\left(t'\right),t'\right]$ изъята из сущности кривых C_σ и передана силе $\sigma(t')$, чем образована новая нелинейная связь между напряжением и деформацией.

Приведем одну из многочисленных формулировок, обосновывающих ошибочный закон (15) в форме Leaderman H.: «…был использован принцип суперпозиции деформации во времени Больцмана… При выводе реологических уравнений для материалов “с памятью”, удовлетворяющих условию замкнутого цикла, Больцман постулировал линейную связь между напряжениями и деформациями и использовал гипотезу, позволяющую учесть восстановление. При этом принцип суперпозиции сводился как *естественная дополнительная гипотеза*. В дальнейшем было показано (Leaderman), что принцип суперпозиции не требует линейной связи между напряжениями и деформациями».

Сравнивая (15) и (1а), подчеркнем, что нелинейная теория ползучести бетона не только повторяет ошибки линейной теории, но и добавляет к ним две новые достаточно весомые: неправильно определяет параметр и функцию нелинейности ползучести; дополняет линейный ошибочный принцип наложения еще одним ошибочным принципом наложения – нелинейным. Сущность самого принципа наложения, его связь со схемой Больцмана и его «цепными моделями» нами подробно проанализирована в [15].

В последнее время появились работы, разрабатывающие «модификацию принципа наложения деформаций для нелинейной ползучести» в виде

$$\varepsilon\left(t,t_0\right)=\varepsilon\left(t_0\right)+\int_{t_0}^{t}\left[\frac{1}{E\left(\tau\right)}+C\left(t,\tau\right)\right]d\sigma_c\left(\tau\right), \quad (16а)$$

где $\sigma_c\left(\tau\right)=S\left[\sigma\left(\tau\right)\right]$ – известная функция напряжений $\sigma[\tau]$.

Ошибочность этой записи аналогична той, которая применяется в (1а). Полная скорость деформации здесь равна

$$v_\sigma\left(t,\tau\right)=\dot{S}\left[\sigma\left(\tau\right)\right]\left[\frac{1}{E\left(\tau\right)}+C\left(t,\tau\right)\right]+S\left[\sigma\left(\tau\right)\right]\frac{d}{d\tau}\frac{1}{E\left(\tau\right)}+$$

$$+S\left[\sigma\left(\tau\right)\right]\frac{\partial}{\partial\tau}C\left(t,\tau\right)+S\left[\sigma\left(\tau\right)\right]\frac{\partial}{\partial t}C\left(t,\tau\right). \quad (16б)$$

Отсюда видно, что в (16а) потеряны три последних слагаемых из (16б). Значимость этих слагаемых тождественна той значимости, которая была описана в пунктах 1–3. Нужно дополнительно обратить внимание, что неверной также является тождественность нелинейной функции $S[\sigma(\tau)]$ для кратковременных и длительных деформаций.

«Модификация» не только сохраняет грубые ошибки нелинейной теории (15), но и прибавляет новые:

– мгновенная деформация, как и раньше, наделяется мифическим телом вязкой жидкости по схеме Максвелла, но в усложненной структуре качественно сохраняется ошибка, показанная на рис. 3;

– нелинейная ползучесть основывается на несостоятельном и несуществующем условии аффинного подобия, однако функция нелинейности $s\left[\sigma\left(t\right)\right]$ теперь определяется не из экспериментов на ползучесть, соответствующих рис. 1, а из опытов на кратковременное загружение (рис. 2), и не имеет никакого отношения к мере ползучести $C(t,t')$.

Результаты

Проведен математический анализ существующих ошибок современной теории длительного сопротивления железобетона: в значениях мгновенной деформации ошибка составляет до 300 %; в значениях длительной деформации – до 250 %. Указано также, что существует множество подмен, обусловленных свойством 8. о нестационарности напряжения $\sigma(\tau)$. При таких подменах закон ползучести эмпирически преобразуется к виду некоторого алгебраического выражения. Напряжения здесь подменяются самыми различными значениями: постоянное напряжение; условное «среднее эквивалентное напряжение за промежуток времени $t-t_0$»; напряжение заменяется некоторой функцией (линейной, параболической), зависящей от характеристики ползучести бетона, привлекается также теорема о среднем; иные эмпирические несостоятельные подмены. Н.Х. Арутюнян, С.В. Александровский неоднократно показывают несостоятельность алгебраических теорий ползучести: условие однозначной алгебраической связи между $C(t,\tau)$ и $\sigma(\tau)$ является «лишенным физического смысла»; такая связь «приводит» к неправдоподобным результатам.

References

1. Chiorino M.A. (2014). Analysis of structural effects of time-dependent behavior of concrete: an internationally harmonized format. *Concrete and Reinforced concrete – Glance at Future. Plenary papers of III All Russian (International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete, Moscow, 2014.* Vol. 7. 338–350.

2. *FIB, Model Code for Concrete Structures 2010.* (2013). Ernst & Sohn, 402.

3. Chiorino M.A. (Chairm. of Edit. Team). (March 2011). *ACI 209.3R-XX. Analysis of Creep and Shrinkage Effects on Concrete Structures. Final Draft.* ACI Committee 209. 228.

4. Gordon Klark. (2014). Vyzovy vysotnyh zdanij [Challenges of high-rise buildings]. *Industriya. Inzhenernaya gazeta,* (11–12). (In Russ.)

5. EN 1992-2 2004. *Eurocode 2: Design of constructions.*

6. McHenry H.I. (1943). A new aspect of creep in concrete and its application to design. *Proc. A.S.T.M.*, (40), 1069–1084.

7. Leaderman H. (1943). Elastic and creep properties of filamentous and other high polymers. *Textile Foundation.* Washington, 278.

8. GOSSTROJ USSR; NIIZB. (1976). Polzuchest' i usadka betona i zhelezobetonnyh konstrukcij. Sostoyanie problemy i perspektivy razvitiya [Creep and shrinkage of concrete and reinforced concrete structures. State of the problem and development prospects]. Moscow: Strojizdat Publ., 351. (In Russ.)

9. Sanjarovsky R., Manchenko M. (2016). Errors in the theory of creep of reinforced concrete and modern norms. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (3), 25–32.

10. Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko M. (2015). Creep of Concrete and Its Instant Nonlinear Deformation in the Calculation of Structures. *CONCREEP 10*, 238–247.

11. Sanzharovskij R.S., Manchenko M.M. (2017). Errors of international standards on reinforced concrete and rules of the Eurocode. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (6), 25–36.

12. Veryuzhskij Yu.V., Golyshev A.B., Kolchunov Vl.I., Klyueva N.V., Lisicin B.M., Mashkov I.L., Yakovenko I.A. (2014). *Spravochnoe posobie po stroitel'noj mekhanike. T. I* [*Reference manual for structural mechanics. Vol. I*]. Moscow: ASV Publ., 506–508. (In Russ.)

13. Rabotnov Yu.N. (1977). *Elementy nasledstvennoj mekhaniki tverdyh tel* [*Elements of hereditary solid mechanics*]. Moscow: Nauka Publ., 383. (In Russ.)

14. Gvozdev A.A. (1955). Polzuchest' betona i puti ee issledovaniya [The creep of concrete and its research paths]. *Issledovaniya prochnosti, plastichnosti i polzuchesti stroitel'nyh materialov* [*Studies of strength, plasticity and creep of building materials*]. Moscow, 126–137.

15. Sanzharovsky R.S., Ter-Emmanuilyan T.N., Manchenko M.M. (2018). Superposition principle as the fundamental error of the creep theory and standards of the reinforced concrete. *Structural Mechanics of Engineering Con-*

structions and Buildings, 14(2), 92–104. doi: 10.22363/1815-5235-2018-14-2-92-104

16. Sanzharovskij R.S. (1984). *Ustojchivost' ehlementov stroitel'nyh konstrukcij pri polzuchesti [The stability of the elements of building structures in creep.]*. Leningrad: LGU Publ., 280. (In Russ.)

17. Varenik K.A., Sanzharovskij R.S., Varenik A.S. (2014). Ustojchivost' szhatyh derevyannyh konstrukcij s uchetom mgnovennoj nelinejnosti i nelinejnoj polzuchesti [Stability of compressed wooden structures taking into account instantaneous nonlinearity and nonlinear creep]. *Nauchnoe obozrenie, 8*(2), 572–575. (In Russ.)

Список литературы

1. *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: Plenary Papers. Vol. 7. Pp. 338–350.

2. FIB, Model Code for Concrete Structures 2010. Ernst & Sohn, 2013. 402 p.

3. ACI 209.3R-XX, Analysis of Creep and Shrinkage Effects on Concrete Structures. Final Draft / M.A. Chiorino (Chairm. of Edit. Team); ACI Committee 209. March 2011. 228 p.

4. *Гордон К.* Вызовы высотных зданий // Индустрия. Инженерная газета. 2014, май. № 11–12.

5. EN 1992-2 2004. Eurocode 2: Design of constructions.

6. *McHenry H.I.* A new aspect of creep in concrete and its application to design // Proc. A.S.T.M. 1943. № 40. C. 1069–1084.

7. *Leaderman H.* Elastic and creep properties of filamentous and other high polymers // Textile Foundation. Washington, 1943. 278 p.

8. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. Состояние проблемы и перспективы развития / ГОССТРОЙ СССР; НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1976. 351 с.

9. *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.

10. *Sanjarovskiy R., Ter-Emmanuilyan T., Manchenko M.* Creep of Concrete and Its Instant Nonlinear Deformation in the Calculation of Structures // CONCREEP 10. 2015. Pp. 238–247.

11. *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.

12. *Верюжский Ю.В., Голышев А.Б., Колчунов Вл.И., Клюева Н.В., Лисицин Б.М., Машков И.Л., Яковенко И.А.* Справочное пособие по строительной механике: в 2 т. Т. I: Учебное пособие. М.: АСВ, 2014. С. 506–508.

13. *Работнов Ю.Н.* Элементы наследственной механики твердых тел. М.: Наука, 1977. 383 с.

14. *Гвоздев А.А.* Ползучесть бетона и пути ее исследования // Исследования прочности, пластичности и ползучести строительных материалов. М., 1955. С. 126–137.

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. doi: 1022363/1815-5235-2018-14-2-92-104

16. *Санжаровский Р.С.* Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Ленингад: Изд-во ЛГУ, 1984. С. 280.

17. *Вареник К.А., Санжаровский Р.С., Вареник А.С.* Устойчивость сжатых деревянных конструкций с учетом мгновенной нелинейности и нелинейной ползучести // Научное обозрение. 2014. № 8(2). С. 572–575.

About the authors

Rudolf S. Sanzharovsky – D.Sc. in Technical Sciences, Professor, Senior Research Fellow, L.N. Gumilev Eurasian National University (Astana, Republic of Kazakhstan). *Research interests*: the development of the theory of concrete creep, taking into account the instantaneous and long-term nonlinearity, as well as their inclusion in the calculations of structures. *Contacts:* e-mail – manchenko.se@gmail.com

Maxim M. Manchenko **–** PhD in Technical Sciences, Senior Research Fellow, Krylov Research Center (Saint Petersburg, Russian Federation). *Research interests:* concrete creep, taking into account instantaneous and long-term nonlinearity. *Contacts:* e-mail – manchenko.se@gmail.com

Muhlis Ahmed Ogly Hadzhiev **–** D.Sc. in Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Structure, Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku, Republic of Azerbaijan). *Research interests*: calculation of reinforced concrete structures taking into account physical non-linearity with short-term and long-term static loading. *Contacts:* e-mail – hajiyevmuxlis@mail.ru

Turlybek T. Mussabaev **–** D.Sc. in Technical Sciences, Professor, Academician, Director of the Eurasian Institute of Technology, L.N. Gumilev Eurasian National University (Astana, Republic of Kazakhstan). *Research interests:* the development of the non-linear theory of reinforced concrete shells and plates with accounting cracks, inelastic properties and creep of materials. *Contacts:* e-mail – manchenko.se@gmail.com

Tatyana N. Ter-Emmanuilyan – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Theoretical Mechanics, University of Transport of Russia (MIIT) (Moscow, Russian Federation). *Research interests:* the development of new numerical methods for analyses of building structures, taking into account the creep of materials. *Contacts:* e-mail – tanya_ter@mail.ru

Kirill A. Varenik **–** PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University (Velikiy Novgorod, Russian Federation). *Research interests*: the study of long-term strength and creep of wood. *Contacts:* e-mail – vkirillv89@mail.ru

Об авторах

Санжаровский Рудольф Сергеевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева (Астана, Республика Казахстан). *Область научных интересов*: разработка теории ползучести бетона с учетом мгновенной и длительной нелинейности, а также их учет в расчетах конструкций. *Контактная информация:* e-mail – manchenko.se@gmail.com

Манченко Максим Михайлович – окончил Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГУП «Крыловский научный центр» (Санкт-Петербург, Российская Федерация). *Область научных интересов:* ползучесть бетона с учетом мгновенной и длительной нелинейности; *Контактная информация:* e-mail – manchenko.se@gmail.com

Гаджиев Мухлис Ахмед оглы – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Азербайджанский университет архитектуры и строительства (Баку, Азербайджанская Республика). *Область научных интересов:* расчет железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности при кратковременном и длительном статическом загружениях. *Контактная информация:* e-mail – hajiyevmuxlis@mail.ru

Мусабаев Турлыбек Туркпенович – доктор технических наук, профессор, академик, директор Евразийского технологического института, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева (Астана, Республика Казахстан). *Область научных интересов:* разработка нелинейной теории железобетонных оболочек и пластин с учетом трещин, неупругих свойств и ползучести материалов. *Контактная информация:* e-mail – manchenko.se@gmail.com

Тер-Эммануильян Татьяна Николаевна – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики, Российский университет транспорта (МИИТ) (Москва, Российская Федерация). *Область научных интересов:* разработка новых численных методов расчета строительных конструкций с учетом ползучести материалов. *Контактная информация:* e-mail – tanya_ter@mail.ru

Вареник Кирилл Александрович – кандидат технических наук, доцент, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого (Великий Новгород, Российская Федерация). *Область научных интересов:* исследование длительной прочности и ползучести древесины. *Контактная информация:* e-mail – vkirillv89@mail.ru

For citation

Sanzharovsky R.S., Manchenko M.M., Hadzhiev M.A., Musabaev T.T., Ter-Emmanuilyan T.N., Varenik K.A. (2019). System of insufficiency of the modern theory of long-term resistance of reinforced concrete and designers' warnings. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings, 15*(1), 3–24. DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-1-3-24

Для цитирования

Санжаровский Р.С., Манченко М.М., Гаджиев М.А., Мусабаев 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. DOI: 10.22363/1815-5235-2019-15-1-3-24