

Н.Б. АНДРОСОВА<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия  
<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия

## НЕРАВНОВЕСНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА ЖИВУЧЕСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

*Аннотация.* Представлен обзор научных исследований, связанных с вопросами оценки потенциала живучести железобетонных конструктивных систем с учетом неравновесных и нелинейных процессов. Особое внимание в научном обзоре уделено анализу работ, относящихся к теории ползучести бетонных и железобетонных строительных конструкций зданий и сооружений. Систематизированы основные разновидности феноменологической теории ползучести и дана их классификация. Значимость предлагаемого научного обзора состоит в том, что представлены основные достоинства и недостатки существующих феноменологических теорий ползучести бетона применительно к расчету железобетонных конструктивных систем с учетом неравновесных и нелинейных процессов.

*Ключевые слова:* прогрессирующее обрушение, потенциал живучести, железобетонные конструкции, ползучесть, особое воздействие.

N.B. ANDROSOVA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia  
<sup>2</sup>Scientific and Research Institute of construction physics of RAASN, Moscow, Russia

## NON-EQUILIBRIUM AND NONLINEAR PROCESSES IN SURVIVABILITY POTENTIAL EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS: ANALYTICAL REVIEW

*Abstract.* A review of scientific research related to the limitation of the right to life of reinforced concrete structural systems, taking into account incompatible and non-linear processes. Particular attention in the scientific review is devoted to the analysis of the work necessary to study the use of concrete and reinforced concrete building structures of buildings and structures. The fundamental phenomenological theory of creep is systematized and given from the classification. The significance of the proposed scientific review lies in the fact that there is a high value and transience of phenomenological theories of concrete creep, primarily for the calculation of reinforced concrete structural systems, taking into account non-equilibrium heavy and nonlinear processes.

*Keywords:* progressive collapse, survivability potential, reinforced concrete structures, creep, accidental action.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райзер В.Д. К проблеме живучести зданий и сооружений // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 5. С. 77-78.
2. Назаров Ю.П., Городецкий А.С., Симбиркин В.Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. № 4. С. 5-9.

3. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 28-31.
4. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009. № 384.
5. СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружений. Особые воздействия».
6. СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения».
7. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: Издательство АСВ, 2016. 208 с.
8. Травуш В.И., Федорова Н.В. Живучесть конструктивных систем сооружений при особых воздействиях // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 5. С. 73-80. doi:10.18720/МСЕ.81.8
9. Колчунов В.И., Тамразян А.Г. Основные направления развития теории конструктивной безопасности и синтеза железобетонных конструкций зданий и сооружений // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12-16 мая 2014 г.): в 7 т. Т.7. Пленарные доклады. Москва: МГСУ, 2014. С. 176-191.
10. Краснощек Ю.В. Живучесть зданий со сборными железобетонными перекрытиями // Вестник СибАДИ. 2017. № 4-5. С. 107-116.
11. Арутюнян Н.Х., Колмановский В.Б. Теория ползучести неоднородных тел. М.: Наука, 1983. 336 с.
12. Александровский С.В., Васильев П.И. Экспериментальные исследования ползучести бетона // Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. С. 97–152.
13. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М.: Стройиздат, 1982. 287 с.
14. Васильев П.И., Лившиц Я.Д. Приложение теории ползучести бетона к расчетам конструкций и мостов // Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. С. 268.
15. Гвоздев А.А., Яшин А.В., Петрова К.В. и др. Прочность, структурные изменения и деформации бетона. М.: Стройиздат. 1978. 299 с.
16. Маслов Г.Н. Термическое напряженное состояние бетонных массивов при учете ползучести бетона // Известия ВНИИГ. 1941. Т. 28. С. 175-183.
17. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести, М., Стройиздат, 1980. 240 с.
18. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 752 с.
19. Ржаницына А.Р. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. 416 с.
20. Санжаровский Р.С. Нелинейная наследственная теория ползучести // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 1. С. 63–68.
21. Улицкий И.И. Определение величин деформаций ползучести и усадки бетонов. Киев.: Госстройиздат УССР, 1963. 132 с.
22. Харлаб В. Д. Принципиальные вопросы линейной теории ползучести (с привязкой к бетону): монография / В.Д. Харлаб. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. 212 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/33300.html>
23. Vařant Z.P., Prasannan S. Solidification theory for concrete creep, I: Formulation // Eng. Mech. ASCE, 115:8. 1989. P. 1691–1703.
24. Gilbert R.I. Creep and Shrinkage Models for High Strength Concrete – Proposals for Inclusion in AS3600 // Australian Journal of Structural Engineering. 2002. No. 4 (2). P. 95–106.
25. Hamed E. Nonlinear creep response of reinforced beams // Journal of mechanics of materials and structures. 2012. Vol. 7. No. 5. P. 435-460. doi:doi.org/10.2140/jomms.2012.7.435
26. Галустов К.З. Некоторые представления о ползучести бетона // Строительные материалы. 2008. № 5. С. 66-67.
27. Александровский С.В., Васильев П.И. Экспериментальные исследования ползучести бетона и железобетона конструкций. М.: Стройиздат, 1976. С. 90-152.
28. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М.: Гостехиздат, 1952. 324 с.
29. Прокопович И.Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружения. М.: Госстройиздат, 1963. 260 с.
30. Галустов К.З. Развитие теории ползучести бетона и совершенствование методов расчета железобетонных конструкций / автореферат диссертации на соискание учетной степени д.т.н., Москва, 2008.
31. Гвоздев А.А. О перераспределении усилий в статически неопределимых железобетонных обычных и предварительно напряженных конструкциях. Научное сообщение. Москва. ЦНИПС. 1955. 30с.

32. Гольшев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона. Киев: Основа, 2009. 432 с.
33. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. О методах решения уравнений ползучести бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2005. № 3. С. 55-63.
34. Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.Н., Манченко М.М. Принцип наложения как основополагающая ошибка теории ползучести и стандартов по железобетону // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 2. С. 92–104. doi:10.22363/1815-5235-2018-14-2-92-104.
35. 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
36. EN 1992-1-2: 2004. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings (Проектирование железобетонных конструкций), 2004.
37. Ларионов Е.А., Римшин В.И., Жданова Т.В. Принцип наложения деформаций в теории ползучести // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. Т. 15. № 6. С. 483–496.
38. Фёдоров. В.С., Золина Т.В., Купчикова Н.В., Левитский В.Е., Завьялова О.Б. Проектирование строительных конструкций и оснований с учётом надёжности и режимных воздействий [Электронный ресурс]: монография, под общей редакцией Н.В. Купчиковой. – Электрон. текстовые данные (13,7Мб). – Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2021.
39. Травуш В.И., Мурашкин В.Г. Влияние ползучести на распределение деформаций и напряжений в изгибаемом элементе // Строительство и реконструкция. 2017. № 2. С. 57-70.
40. Назаренко В.Г., Звездов А.И., Ларионов Е.А., Квасников А.А. Концепция развития прикладной теории ползучести железобетона // Бетон и железобетон. 2020. № 2 (602). С. 8–11.

## REFERENCES

1. Rajzer V.D. K probleme zhivuchesti zdaniy i sooruzhenij // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 2012. No. 5. Pp. 77-78.
2. Nazarov YU.P., Gorodeckij A.S., Simbirkin V.N. K probleme obespecheniya zhivuchesti stroitel'nyh konstrukcij pri avarijnyh vozdeystviyah // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 2009. No. 4. Pp.5-9.
3. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Konceptiya i napravleniya razvitiya teorii konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovyh i sredovyh vozdeystviyah // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2013. No. 2. Pp. 28-31.
4. Federal'nyj zakon «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij» ot 30.12.2009. No. 384.
5. SP 296.1325800.2017 «Zdaniya i sooruzhenij. Osobyje vozdeystviya».
6. SP 385.1325800.2018 «Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya».
7. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Androsova N.B., Buhtiyarova A.S. ZHivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnyh vozdeystviyah. M.: Izdatel'stvo ASV. 2016. 208 p.
8. Travush V.I., Fedorova N.V. ZHivuchest' konstruktivnyh sistem sooruzhenij pri osobyh vozdeystviyah // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2018. No. 5. Pp. 73-80. doi:10.18720/MCE.81.8
9. Kolchunov V.I., Tamrazyan A.G. Osnovnye napravleniya razvitiya teorii konstruktivnoj bezopasnosti i sinteza zhelezobetonnyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij // Beton i zhelezobeton – vzglyad v budushchee: nauchnye trudy III Vserossijskoj (II Mezhdunarodnoj) konferencii po betonu i zhelezobetonu (Moskva, 12-16 maya 2014 g.): v 7 t. T.7. Plenarnye doklady. Moskva: MGSU, 2014. Pp. 176-191.
10. Krasnoshchekov YU.V. ZHivuchest' zdaniy so sbornymi zhelezobetonnyimi perekrytiyami // Vestnik SibADI. 2017. No. 4-5. Pp. 107-116.
11. Arutyunyan N.H., Kolmanovskij V.B. Teoriya polzuchesti neodnorodnyh tel. M.: Nauka, 1983. 336 p.
12. Aleksandrovskij S.V., Vasil'ev P.I. Eksperimental'nye issledovaniya polzuchesti betona // Polzuchest' i usadka betona i zhelezobetonnyh konstrukcij. M.: Strojizdat, 1976. Pp. 97–152.
13. Bondarenko V.M., Bondarenko S.V. Inzhenernye metody nelinejnoj teorii zhelezobetona. M.: Strojizdat, 1982. 287 p.
14. Vasil'ev P.I., Livshic YA.D. Prilozhenie teorii polzuchesti betona k raschetam konstrukcij i mostov // Polzuchest' i usadka betona i zhelezobetonnyh konstrukcij. M.: Strojizdat, 1976. Pp. 268.
15. Gvozdev A.A., YAshin A.V., Petrova K.V. i dr. Prochnost', strukturnye izmeneniya i deformacii betona. M.: Strojizdat. 1978. 299 p.

16. Maslov G.N. Termicheskoe napryazhennoe sostoyanie betonnyh massivov pri uchete polzuchesti betona // *Izvestiya VNIIG*. 1941. T. 28. Pp. 175-183.
17. Prokopovich I.E., Zedgenidze V.A. *Prikladnaya teoriya polzuchesti*. M., Strojizdat, 1980. 240 p.
18. Rabotnov YU.N. *Polzuchest' elementov konstrukcij*. M.: Nauka, 1966. 752 p.
19. Rzhanicyn A.R. *Teoriya polzuchesti*. M.: Strojizdat, 1968. 416 p.
20. Sanzharovskij R.S. *Nelinejnaya nasledstvennaya teoriya polzuchesti // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*. 2014. No. 1. Pp. 63–68.
21. Ulickij I.I. *Opreделение velichin deformatsij polzuchesti i usadki betonov*. Kiev.: Gosstrojizdat USSR, 1963. 132 p.
22. Harlab V.D. *Principial'nye voprosy linejnoj teorii polzuchesti (s privyazkoj k betonu): monografiya / V.D. Harlab*. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, EBS ASV, 2014. 212 c. URL: <https://www.iprbookshop.ru/33300.html>
23. Bažant Z.P., Prasannan S. *Solidification theory for concrete creep, I: Formulation // Eng. Mech. ASCE*, 115:8, 1989. Pp. 1691–1703.
24. Gilbert R.I. *Creep and Shrinkage Models for High Strength Concrete – Proposals for Inclusion in AS3600 // Australian Journal of Structural Engineering*. 2002. No. 4 (2). P. 95–106.
25. Hamed E. *Nonlinear creep response of reinforced beams // Journal of mechanics of materials and structures*. 2012. Vol. 7. No. 5. Pp. 435–460. doi:doi.org/10.2140/jomms.2012.7.435
26. Galustov K.Z. *Nekotorye predstavleniya o polzuchesti betona // Stroitel'nye materialy*, 2008. No. 5. Pp. 66-67.
27. Aleksandrovskij S.V., Vasil'ev P.I. *Eksperimental'nye issledovaniya polzuchesti betona i zhelezobetona konstrukcij*. M.: Strojizdat, 1976. Pp. 90-152.
28. Arutyunyan N.H. *Nekotorye voprosy teorii polzuchesti*. M.: Gostekhizdat, 1952. 324 p.
29. Prokopovich I.E. *Vliyanie dlitel'nyh processov na napryazhennoe i deformirovannoe sostoyanie sooruzheniya*. M.: Gosstrojizdat, 1963. 260 p.
30. Galustov K.Z. *Razvitie teorii polzuchesti betona i sovershenstvovanie metodov rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij / avtoreferat dissertacii na soiskanie uchetoj stepeni d.t.n.*, Moskva, 2008.
31. Gvozdev A.A. *O pereraspredelenii usilij v staticheski neopredelimyh zhelezobetonnyh obychnyh i predvaritel'no napryazhennyh konstrukcijah*. Nauchnoe soobshchenie. Moskva. CNIPS. 1955. 30 p.
32. Golyshev A.B., Kolchunov VI.I. *Soprotivlenie zhelezobetona*. Kiev: Osnova, 2009. 432 p.
33. Beglov A.D., Sanzharovskij R.S. *O metodah resheniya uravnenij polzuchesti betona // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*. 2005. No. 3. Pp. 55-63.
34. Sanzharovskij R.S., Ter-Emmanuil'yan T.N., Manchenko M.M. *Princip nalozheniya kak osnovopolagayushchaya oshibka teorii polzuchesti i standartov po zhelezobetonu // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*. 2018. T. 14. No. 2. Pp. 92–104. doi:10.22363/1815-5235-2018-14-2-92-104.
35. Sanzharovskij R.S., Manchenko M.M., Gadzhiev M.A., Musabaev T.T., Ter-Emmanuil'yan T.N., Varenik K.A. *Sistema nesostoyatel'nosti sovremennoj teorii dlitel'nogo soprotivleniya zhelezobetona i preduprezhdeniya proektirovshchikov // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*. 2019. T. 15. No. 1. Pp. 3–24. doi:10.22363/1815-5235-2019-15-1-3-24
36. EN 1992-1-2: 2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings (Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij)*, 2004.
37. Larionov E.A., Rimshin V.I., Zhdanova T.V. *Princip nalozheniya deformatsij v teorii polzuchesti // Stroitel'naya mekhanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*. 2019. T. 15. No. 6. Pp.483–496.
38. Fyodorov V.S., Zolina T.V., Kupchikova N.V., Levitskij V.E., Zav'yalova O.B. *Proektirovanie stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij s uchyotom nadyozhnosti i rezhimnyh vozdeystvij [Elektronnyj resurs]: monografiya, pod obshchej redakciej N.V. Kupchikovej. – Elektron. tekstovye dannye (13,7Mb). – Astrahan': Astrahanskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2021.*
39. Travush V.I., Murashkin V.G. *Vliyanie polzuchesti na raspredelenie deformatsij i napryazhenij v izgibaemom elemente // Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2017. No. 2. Pp. 57-70.
40. Nazarenko V.G., Zvezdov A.I., Larionov E.A., Kvasnikov A.A. *Koncepciya razvitiya prikladnoj teorii polzuchesti zhelezobetona // Beton i zhelezobeton*. 2020. No. 2 (602). Pp. 8–11.

**Информация об авторе:**

**Андросова Наталия Борисовна**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия,  
кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой строительных конструкций и материалов.

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и  
строительных наук», г. Москва, Россия,  
старший научный сотрудник.

E-mail: [ramia84@rambler.ru](mailto:ramia84@rambler.ru)

**Information about author:**

**Androsova Natalia B.**

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia,

candidate of technical science, docent, head of the department of building constructions and materials.

Scientific and Research Institute of construction physics of RAASN, Moscow, Russia,

starshiy nauchnyy sotrudnik.

E-mail: [ramia84@rambler.ru](mailto:ramia84@rambler.ru)