

DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-6-35-43

*Пшеничкина В.А., доктор технических наук, профессор,  
Гриценко Б.С., доцент,  
Глухов А.В. \*, аспирант,  
Волгоградский государственный технический университет, Россия,  
Бабович Миодраг,  
ООО "Стройконсалтинг", Россия*

\*Ответственный автор E-mail: tracketbow@list.ru

## НАДЕЖНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА

**Аннотация:** в процессе обследования железобетонных конструкций, находящихся в длительной эксплуатации, зачастую фиксируются сверхнормативные прогибы балок и плит, связанные с ползучестью бетона, проявляющейся при его раннем распалубливании. При этом отсутствуют визуальные признаки снижения их несущей способности. Учитывая высокую степень неопределенности факторов, влияющих на длительные деформации бетона, ресурс безопасной эксплуатации таких конструкций может изменяться в достаточно широких пределах, и оценить его фактическую величину можно только на основе вероятностных методов теории надежности. В статье приведены результаты исследования влияния ползучести бетона, вызванной ранним распалубливанием, на надежность сборных железобетонных балок покрытия трехэтажного здания. При расчетном моделировании использовались данные инструментального контроля механических характеристик материалов балок и их деформированного состояния. Проведен вероятностный расчет балки на ползучесть методом статистического моделирования с учетом изменчивости прочности бетона для различных значений относительной влажности воздуха окружающей среды и возраста бетона на момент приложения нагрузки. Получены статистические характеристики модуля деформаций и величины прогибов балки с различным уровнем обеспеченности. Расчет на безопасность показал снижение индекса надежности балки с учетом ползучести бетона при сроке эксплуатации конструкции 70 лет в 2,4 раза.

**Ключевые слова:** ползучесть бетона при длительной эксплуатации, предельные прогибы балок, модуль деформаций, техническая диагностика, вероятностный расчет, индекс надежности

### Введение

При обследовании железобетонных конструкций зданий и сооружений зачастую приходится сталкиваться с чрезмерно большими прогибами балок и плит, но при которых визуально не наблюдается снижения их несущей способности, то есть фиксируется отказ по критериям II группы предельных состояний. Для таких конструкций допускается их дальнейшая эксплуатация, если нет ограничений по технологическим, конструктивным или эстетико-психологическим требованиям при условии выполнения требований безопасности. Как правило, при эксплуатационных нагрузках, не выходящих за проектный расчетный уровень, предельные прогибы связаны с ползучестью бетона, проявляющейся при его раннем распалубливании, не предусмотренном в проекте. При этом остается неизученным вопрос о фактическом значении надежности таких конструкций и насколько она снижается в процессе их эксплуатации по сравнению с проектным значением.

При проектировании расчет и оценка надежности конструкций, включающей в себя в первую очередь безотказность и долговечность (ресурс), выполняется на основе расчетных схем и априорных статистических данных о материалах, элементах, нагрузках и воздействиях в свете действующих норм и условий эксплуатации аналогичных объектов. Все неопределенности, связанные со статистической изменчивостью расчетных параметров конструкций и действующих нагрузок, а также условиями эксплуатации объектов учитываются при помощи системы коэффициентов надежности. С позиции теории надежности ее нормативный уровень должен задаваться определенным числом, соответствующим вероятности, с которой он должен быть реализован в проектируемом объекте. В отечественных нормах понятия нормативной безопасности или нормативного ресурса отсутствуют. В соответствии с Еврокодом (EN 1990) [1] безопасность гарантируется индексом надежности  $\beta$ , который связан с определенной вероятностью отказа. Так, для I группы предельных состояний сооружений класса КС2 индекс надежности  $\beta = 4,7$  при вероятности разрушения  $P = 1,3 \cdot 10^{-6}$  и к 50-ти летнему базовому периоду эксплуатации он должен составлять  $\beta = 3,8$ , что соответствует вероятности  $P = 7,2 \cdot 10^{-5}$ .

На стадии эксплуатации оценка безопасности и ресурса проводится с учетом фактических значений геометрических и прочностных параметров конструкций, наличия в них повреждений. Результаты технического освидетельствования здания снижают уровень неопределенности, заложенный при проектировании, но полученная информация соответствует только времени проведения обследования. Прогнозирование развития технического состояния и оценка остаточного ресурса наряду с данными текущей диагностики требует наличия полной проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, которая для зданий, находящихся в длительной эксплуатации, как правило, отсутствует у собственника. В связи с этим возникает дополнительная неопределенность информации об истории нагружения, фактической прочности бетона на момент ввода объекта в эксплуатацию, которая не во всех случаях может быть восстановлена в полной мере [2]. Особенно высокая степень неопределенности возникает при проявлении ползучести бетона. На характер развития деформаций ползучести и их предельную величину оказывают влияние вид, состав и свойства исходных материалов, состав бетонной смеси, условия изготовления и твердения до начала эксплуатации, возраст бетона на начало загрузки, условия эксплуатации. Влияние этих факторов приводит к тому, что показатели длительной деформативности бетона, и, следовательно, надежность и ресурс железобетонных конструкций имеют значительный разброс относительно средних значений в реальных условиях эксплуатации. Поэтому для оценки износа строительных конструкций должны использоваться вероятностные модели и методы теории надежности [3, 4].

Целью данной работы является исследование влияния ползучести бетона, вызванной ранним расплубливанием, на надежность изгибаемых железобетонных конструкций. В качестве объекта исследования приняты сборные железобетонные балки покрытия. Оценка показателей надежности проводилась расчетно-экспериментальным методом [5] с учетом изменения свойств материалов конструкций во времени [6, 7, 8]. В основу исследований положена модель НИИЖБ [9] для практических расчетов предельных величин деформаций ползучести.

### Методы и материалы

Исследовались сборные железобетонные балки покрытий и перекрытия эксплуатируемого с 1950 года трехэтажного здания высотой 16,75 м и размерами в плане 33,41×38,0 м (рис. 1) [10].



Рис. 1. Общий вид здания  
Fig. 1. General view of the building

По результатам инструментального контроля, проведенного авторами, были получены статистические характеристики прочности бетона, геометрические размеры сечений, армирование и прогибы железобетонных балок.

Текущее техническое состояние балок: отклонения в размерах сечений до 12%; коррозионный износ рабочей арматуры до 5%; совместная работа бетона и арматуры обеспечена. Вместе с тем при визуальном осмотре отмечаются чрезмерные прогибы балок (рис. 2).



Рис. 2. Балки перекрытия с визуально фиксируемыми прогибами  
Fig. 2. Floor beams with visually detectable deflections

Установлены следующие характеристики балок (рис. 3):

- расчетная длина 5,9 м;
- размеры сечений: высота 350 мм, ширина 150 (-10, +3) мм;
- прочность бетона соответствует бетону В15;
- продольное армирование растянутой зоны: верхняя арматура 2Ф16 МСт.3, нижняя – 2Ф20 МСт.3; то же для сжатой зоны – 2Ф10 МСт.3; поперечное армирование Ф7 МСт.3; шаг поперечной арматуры 150 мм, коэффициент армирования 0,02, толщина защитного слоя 20-40 мм.

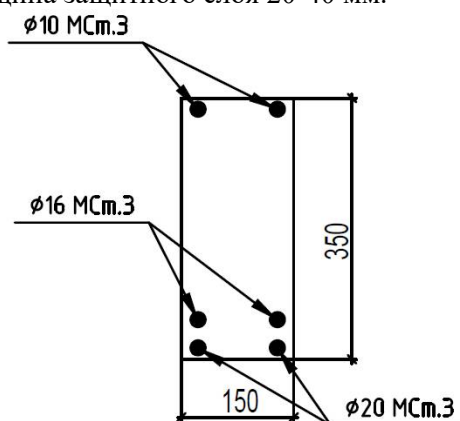


Рис. 3. Схема сечения и армирования балки перекрытия  
Fig. 3. Scheme of the cross-section and reinforcement of a floor beam

### Результаты и обсуждения

Произведен геодезический контроль прогибов 30 наиболее нагруженных балок. Полученные абсолютные величины прогибов приведены в табл. 1, а их статистические характеристики – в табл. 2.

Таблица 1

### Результаты геодезического контроля прогибов балок

Table 1

#### Results of the geodetic control of beam deflections

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Прогиб, мм	37	40	10	21	34	1	10	15	34	24	12	9	9	20	19
№ п/п	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Прогиб, мм	12	29	11	26	6	27	7	32	22	24	13	15	12	6	9

Таблица 2

**Статистические характеристики прогибов балок**

Table 2

**Statistical characteristics of beam deflections**

Характеристика	Величина
Математическое ожидание, мм	18,2
Среднеквадратическое отклонение (стандарт), мм	10,5
Прогиб с обеспеченностью 95%, мм	35,4
Коэффициент вариации	0,57

Измерение прогибов балок проводилось от действия их собственного веса и веса плит перекрытий, что в сумме равно 4,1 кН/м. Среднее значение прогибов 18,2 мм составляет 60% от предельной величины 30 мм. Результаты расчета прогибов приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Сопоставление расчетных и фактических прогибов балок [13]**

Table 3

**Comparison of the design deflections of beam to the actual ones**

Виды прогибов	Значение, мм
Расчетный проектный прогиб при полной нормативной нагрузке 12,2 кН/м, $f_{sum}$	31
Расчетный проектный прогиб от веса плит перекрытия 4,1 кН/м, $f$	10,4
Фактический средний прогиб при нагрузках 4,1 кН/м, $\bar{f}_{real}$	18,2
Фактический прогиб при нагрузках 4,1 кН/м с обеспеченностью 0,95: $f_{real}$	35,4
Средний остаточный прогиб для контрольных выборок балок при нагрузках 4,1 кН/м: $\bar{f}_{\Delta} = \bar{f}_{real} - f$	7,8
Остаточный прогиб для контрольных выборок балок при нагрузках 4,1 кН/м с обеспеченностью 0,95: $f_{\Delta} = f_{real} - f$	25
Средний прогиб с учетом остаточного прогиба при действии полной нормативной нагрузки 12,2 кН/м: $\bar{f}_{full} = \bar{f}_{sum} - \bar{f}_{\Delta}$	38,8
Полный прогиб с обеспеченностью 0,95 при действии нормативной нагрузки 12,2 кН/м: $f_{full} = f_{sum} - f_{\Delta}$	56
Нормативные допустимые прогибы балок, $f_{ult} = 0,005L$	30

Результаты расчета показывают, что при действии полной нормативной нагрузки средний прогиб балок с учетом остаточных деформаций составляет 129% от предельно допустимого значения. Учитывая высокую степень статистической изменчивости фактических прогибов (коэффициент вариации 0,57), можно сделать вывод, что при последующей эксплуатации с вероятностью 5% возможно превышение нормативно допустимых значений до 187%. Прочность, трещиностойкость и деформативность рассматриваемых балок без учета остаточных деформаций при действии проектных нагрузок соответствуют нормативным требованиям.

Указанные дефекты сформировались в процессе длительной эксплуатации конструкций и связаны с явлением ползучести бетона, наиболее вероятной причиной которой явилось их раннее расплывание при изготовлении в условиях строительной площадки.

Расчет на ползучесть проводим согласно методике, изложенной в EN 1992 [11]. Деформации ползучести наиболее интенсивно проявляются на начальном этапе загрузки железобетонных конструкций и стабилизируются в течение нескольких лет, стремясь к некоторому пределу. Характер развития ползучести, и, следовательно, величина предельной деформации зависят от многих факторов, которые остаются неопределенными на момент обследования конструкций, проводящегося через десятки лет эксплуатации здания.

Для вычисления деформаций ползучести используем эффективный модуль упругости бетона  $E_{c,eff}$ :

$$E_{c,eff} = \frac{E_b}{1 + \phi(t, t_0)} \quad (1)$$

Коэффициент ползучести  $\phi(t, t_0)$  зависит от относительной влажности воздуха окружающей среды  $RH$  %, возраста бетона на момент приложения нагрузки  $t_0$ , средней прочности бетона  $\bar{R}$ , а также геометрических параметров сечения.

Рассматриваем модуль деформаций как функцию случайных аргументов  $\hat{E} = E(R\hat{H}, t_0^0, \hat{R})$ . При проведении обследования средняя прочность бетона определяется инструментальными методами, а относительная влажность воздуха  $RH$  и время распулубливания  $t_0$  являются неизвестными параметрами, поэтому в расчете принимаем их определенные фиксированные значения.

По результатам 30 испытаний балок перекрытий получены следующие статистические характеристики прочности бетона: математическое ожидание (среднее значение)  $\bar{R} = 19,6$  МПа; стандарт  $\sigma_R = 6,37$  МПа; коэффициент вариации  $f_R = 0,325$ . С доверительной вероятностью 0,95 значение средней прочности бетона находится в интервале  $I_\beta = (17,625; 21,577)$  МПа. Минимальное значение прочности в экспериментальной выборке 6,35 МПа отстоит от среднего значения на 2,08 стандарта  $\sigma_R$ . Закон распределения прочности бетона принят нормальным.

В таблице 4 показаны результаты вычисления методом статистического моделирования статистических характеристик модуля деформаций с учетом ползучести бетона в зависимости от сроков загрузки бетона 7, 14 и 28 дней, относительной влажности окружающего воздуха  $RH = 52\%$  (по нормативным значениям для г. Волгограда) и  $RH = 40\%$ , времени эксплуатации бетона 70 лет, а также средние прогибы в пределах доверительного интервала для средней прочности бетона. Расчет прогибов проводился на нагрузку от собственного веса 4,1 кН/м<sup>2</sup>. Расчетные прогибы балок с обеспеченностью 0,5 и 0,95 приведены в табл. 5.

Таблица 4

#### Статистические характеристики модуля деформаций

Table 4

#### Statistical characteristics of the stress-strain modulus

Срок приложения нагрузки, дни	Относительная влажность $RH$ , %	Среднее значение модуля деформаций $E_{cp}$ , МПа	Стандарт $\sigma_E$ , МПа	Коэффициент вариации $f_E$	Средний прогиб балки ( $f_{min} \div f_{max}$ ), мм
28	52	5,12	0,79	0,161	15,6 ÷ 16,9
14		4,61	0,73	0,164	17,3 ÷ 18,7
7		4,15	0,66	0,166	19,2 ÷ 20,8
7	40	3,76	0,61	0,169	21,2 ÷ 23,1

Следует отметить, что при относительном разбросе прочности бетона 32,5%, изменчивость модуля деформаций в среднем равна 16,5%, то есть в 2 раза меньше.

Таблица 5

**Прогибы балки с различным уровнем обеспеченности**

Table 5

**Beam deflections with various levels of probability**

Срок приложения нагрузки, дни	Относительная влажность RH, %	Прочность бетона с обеспеченностью 0.5 и 0.95, МПа	Модуль деформаций E, МПа	Прогиб балки f, мм	
				Нагрузка, кН/м <sup>2</sup>	
				4,1	12,2
14	52	$\bar{R} = 19,6$	4,61	18,0	30,9
		$R_{0,95} = 9,154$	3,360	24,7	42,5
7	52	$\bar{R} = 19,6$	4,151	20,0	34,4
		$R_{0,95} = 9,154$	3,001	27,6	47,5
7	40	$\bar{R} = 19,6$	3,759	22,1	37,9
		$R_{0,95} = 9,154$	2,703	30,7	52,8

*Расчет балки на безопасность*

Рассматривается железобетонная балка, характеристики которой приведены на рис.3. Установленная средняя прочность бетона балок составляет  $\bar{R} = 19,6$  МПа. Вычисляем проектный индекс надежности балки  $\beta_0$  и индекс надежности  $\beta_{70}$  по результатам проведенной диагностики на время эксплуатации 70 лет.

Среднее значение предельного изгибающего момента в упругой постановке без учета ползучести  $\bar{M} = 64,34$ . Предельное значение момента с учетом ползучести находим согласно [12]

$$M^*(t) = \bar{M}(t_0) \cdot H^*(t, t_0) \quad (2)$$

где  $H^*(t, t_0)$  – коэффициент затухания, учитывающий изменение усилий вследствие ползучести бетона, начиная с момента времени  $t_0 = 14$  суток.

При  $t \rightarrow \infty$

$$H^*(t, t_0) = \bar{v}(\infty) = \frac{1}{1 + 0,2 \cdot \varphi_0(t_0)} \quad (3)$$

где  $\varphi_0$  – коэффициент ползучести.

Среднее значение предельного изгибающего момента  $t = 70$  лет составляет  $\bar{M}^*(t) = 35,0$  МПа.

Результаты расчета балки на надежность приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Результаты расчета надежности балки перекрытия**

Table 6

**Results of the reliability analysis of a floor beam**

Уси- лие $N_{norm}$ , кН·м	Коэффициент вариации		Математические ожидания			Стандарт резерва прочности $\sigma_S$ , кН·м	Индекс надежности $\beta_0 / \beta_{70}^*$
	$f_r$	$f_q$	Нагрузочный эффект $\bar{M}_q$ , кН·м	Несущая способность $\bar{M}$ , кН·м	Резерв прочности $\bar{S}$ , кН·м		
32,0	0,18	0,10	24,71	69,92	45,22	8,29	5,46 / 2,28
				38,06	13,35	5,85	

\* –  $\beta_0$  – индекс надежности без учета ползучести бетона,  $\beta_{70}$  – индекс надежности с учетом ползучести бетона при сроке эксплуатации конструкции 70 лет.

За 70 лет эксплуатации индекс надежности уменьшился в 2,39 раза, соответственно риск наступления предельного состояния I группы увеличился на 6 порядков с  $P_0 = 8,02 \cdot 10^{-9}$  до  $P_{70} = 0,013$ .

### Выводы

1. При вероятностном моделировании прогибов балок с учетом ползучести получено в среднем хорошее совпадение с экспериментальными данными (расхождение для математических ожиданий составляет 1%). Вместе с тем, принятая нормативная модель ползучести не позволяет в полной мере оценить величину статистической изменчивости прочностных и деформационных характеристик бетона, связанной с образованием микротрещин и накоплением локальных микроразрушений в бетоне при длительной эксплуатации. Так, интервал статистической изменчивости прогибов с обеспеченностью 0,95, полученный при расчетном моделировании, на 20% меньше фактического.

2. Установлено, что развитие сверхнормативных прогибов балок перекрытия, связанных с деформаций ползучести, приводит к снижению их индекса надежности в 2,39 раза. Согласно EN 1990 [1] индекс надежности к 50-ти летнему базовому периоду эксплуатации сооружений данного класса должен составлять  $\beta = 3,8$ .

### Литература

1. EN 1990 Еврокод 0. Основные положения по проектированию несущих конструкций. НИЦ «Строительство», Москва, 2011. 146 с.
2. Самохина М.Н., Ишков А.Н., Шмелев Г.Д. Особенности прогнозирования изменения прочностных показателей бетона в условиях ограниченной информации // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2019. № 1 (8). С. 9 – 17.
3. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 448 с.
4. Sanjeev Kumar Verma, Sudhir Singh Bhadauria, Saleem Akhtar. Probabilistic Evaluation of Service Life for Reinforced Concrete Structures // Hindawi Publishing Corporation Chinese Journal of Engineering Volume 2014. Article ID 648438.
5. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
6. Пшеничкина В.А., Сухина К.Н., Бабалич В.С., Сухин К.А. Оценка остаточного ресурса несущих железобетонных конструкций эксплуатируемых промышленных зданий: монография. М.: Издательство АСВ, 2017. 176 с.
7. Lu D.-G., Jiang W., Fan X.-P., Yang Y.-X. Reliability assessment and life prediction for serviceability of concrete bridges // The 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP 11). Conference Paper (PDF Available). June 2011.
8. Cheung M.S., Kyle B.R. Service life prediction of concrete structures by reliability analysis // Construction and Building Materials. February 1996. Vol. 10. Issue 1. P. 45 – 55.
9. Рекомендации по учету ползучести усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1988. 120 с.
10. Гриценко Б.С., Пшеничкина В.А., Халап Н.Н. Прогнозирование ресурса железобетонных конструкций при запредельных прогибах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. № 1 (78). С. 6 – 19.
11. EN 1992 Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Общие правила и правила для зданий. Минстройархитектуры. Минск, 2010. 207 с.
12. Методические рекомендации по расчету напряженного состояния железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом ползучести и усадки бетона. ЦНИИС, Москва, 1987.
13. Гриценко Б.С., Пшеничкина В.А., Халап Н.Н. Особенности оценки ресурса железобетонных конструкций при запредельных прогибах // Сборник статей международной научно-практической конференции, 2019.

### References

1. EN 1990 Evrokod 0. Osnovnye polozheniya po proektirovaniyu nesushchih konstrukcij. NIC «Stroitel'stvo», Moskva, 2011. 146 p. (rus.)
2. Samohina M.N., Ishkov A.N., SHmelev G.D. Osobennosti prognozirovaniya izmeneniya prochnostnyh pokazatelej betona v usloviyah ogranichennoj informacii. ZHilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura. 2019. 1 (8). P. 9 – 17. (rus.)
3. Bolotin V.V. Resurs mashin i konstrukcij. M.: Mashinostroenie, 1990. 448 p. (rus.)
4. Sanjeev Kumar Verma, Sudhir Singh Bhadauria, Saleem Akhtar. Probabilistic Evaluation of Service Life for Reinforced Concrete Structures. Hindawi Publishing Corporation Chinese Journal of Engineering Volume 2014. Article ID 648438.
5. Russian State Standart GOST 27.002-89 Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. (rus.)
6. Pshenichkina V.A., Suhina K.N., Babalich V.S., Suhin K.A. Ocenka ostatochnogo resursa nesushchih zhelezobetonnyh konstrukcij ekspluatiruemyh promyshlennyh zdaniy: monografiya. M.: Izdatel'stvo ASV, 2017. 176 p. (rus.)
7. Lu D.-G., Jiang W., Fan X.-P., Yang Y.-X. Reliability assessment and life prediction for serviceability of concrete bridges. The 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP 11). Conference Paper (PDF Available). June 2011.
8. Cheung M.S., Kyle B.R. Service life prediction of concrete structures by reliability analysi. Construction and Building Materials. February 1996. 10 (1). P. 45 – 55.
9. Rekomendacii po uchetu polzuchesti usadki betona pri raschete betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij. NII ZHB Gosstroya SSSR. M.: Strojizdat, 1988. 120 p. (rus.)
10. Gricenko B.S., Pshenichkina V.A., Halap N.N. Prognozirovanie resursa zhelezobetonnyh konstrukcij pri zapredel'nyh progibah. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2020. 1 (78). P. 6 – 19. (rus.)
11. EN 1992 Evrokod 2. Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij. Obshchie pravila i pravila dlya zdaniy. Ministrojarhitektury. Minsk, 2010. 207 p. (rus.)
12. Metodicheskie rekomendacii po raschetu napryazhennogo sostoyaniya zhelezobetonnyh konstrukcij transportnyh sooruzhenij s uchetom polzuchesti i usadki betona. CNIIS, Moskva, 1987. (rus.)
13. Gricenko B.S., Pshenichkina V.A., Halap N.N. Osobennosti ocenki resursa zhelezobetonnyh konstrukcij pri zapredel'nyh progibah. Sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 2019. (rus.)

*Pshenichkina V.A., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Gritsenko B.S., Associate Professor,  
Glukhov A.V. \*, Postgraduate,  
Volgograd State Technical University, Russia,  
Babovich Miodrag,  
LLC "Stroyconsulting", Russia*

\*Corresponding author E-mail: tracketbow@list.ru

## RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THE CONCRETE CREEP FACTOR

**Abstract:** in the process of inspection of reinforced concrete structures being in long-term service, deflections of beams and slabs beyond the standard values are often detected, which is attributable to concrete creep occurring in the case of the early dismantling of shuttering. At the same time, any visual signs of their reduced load-bearing capacity are absent. Taking into account the high degree of uncertainty of the factors influencing the long-term strains of the concrete, the safe service life of such structures can vary within a rather wide range, and its actual value can be assessed only through probabilistic methods of the reliability theory. The paper presents the results of the investigation of the influence of concrete creep caused by the early dismantling of the shuttering on the reliability of prefabricated reinforced concrete floor beams of a three-storey building. The data obtained through the instrumental verification of the mechanical characteristics of the beam materials and their deformed state were used for design modelling. The authors carried out the probabilistic creep analysis of the beam through the method of statistical modelling taking into account the variability of concrete strength for various values of the relative humidity of the ambient air and the age of concrete at the moment of the load application. The statistical characteristics of the stress-strain modulus and the beam deflection values with various levels of probability were obtained. Due to concrete creep, the safety analysis showed a 2,4 times reduction in the beam reliability index at the service life of a structure of 70 years.

**Keywords:** creep of concrete during long-term service, beam deflections beyond the standard values, stress-strain modulus, engineering diagnostics, probabilistic analysis, reliability index

**Для цитирования:** Пшеничкина В.А., Гриценко Б.С., Глухов А.В., Бабович Миодраг. Надежность железобетонных конструкций с учетом фактора ползучести бетона // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 6. С. 35 – 43. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-6-35-43

**For citation:** Pshenichkina V.A., Gritsenko B.S., Glukhov A.V., Babovich Miodrag. Reliability of reinforced concrete structures taking into account the concrete creep factor. Construction Materials and Products. 2020. 3 (6). P. 35 – 43. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-6-35-43

*Поступила в редакцию 19 октября 2020 г.  
Принята в доработанном виде 10 ноября 2020 г.  
Одобрена для публикации 16 декабря 2020 г.*

*Received: October 19, 2020.  
Revised: November 10, 2020.  
Accepted: December 16, 2020.*