

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №4, Том 14 / 2022, No 4, Vol 14 <https://esj.today/issue-4-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/08SAVN422.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Щуцкий, В. Л. Особенности трещиностойкости и деформативности стоек кольцевого сечения при длительном воздействии нагрузок / В. Л. Щуцкий, А. М. Блягоз, К. В. Кургин, С. С. Слабуха // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/08SAVN422.pdf>

For citation:

Shchutsky V.L., Blagoz A.M., Kurgin K.V., Slabukha S.S. Peculiarities of crack resistance and deformability of columns of annular section under long-term loading. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(4): 08SAVN422. Available at: <https://esj.today/PDF/08SAVN422.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Щуцкий Виктор Лукьянович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»
Кандидат технических наук, профессор
E-mail: Vikluk75@mail.ru

Блягоз Алик Моссович

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия
Доцент кафедры «Архитектуры»
Кандидат технических наук
E-mail: Alfa-maikop@yandex.ru

Кургин Константин Васильевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»
Кандидат технических наук
E-mail: kkonst77@yandex.ru

Слабуха Светлана Сергеевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студентка магистратуры факультета «Промышленное и гражданское строительство»,
кафедра «Железобетонные и каменные конструкции»
E-mail: Svetass98@gmail.com

Особенности трещиностойкости и деформативности стоек кольцевого сечения при длительном воздействии нагрузок

Аннотация. В данной статье приведены результаты численного эксперимента по исследованию трещиностойкости и деформативности стойки кольцевого сечения при кратковременном и длительном воздействии нагрузок. Авторами была разработана расчетная схема стойки с учетом реальной модели распределения напрягаемой и ненапрягаемой арматуры по высоте стойки. С помощью данной расчетной схемы в программе ЛИРА-САПР 2017 производились испытания стойки со следующими загрузками: постоянное усилие P от предварительного напряжения арматуры, вертикальная нагрузка N , переменное горизонтальное усилие H . В проведенном эксперименте исследовалось изменение прогибов и трещиностойкости при кратковременном и длительном нагружении в зависимости от относительного эксцентриситета $\delta_e = 0,45-0,75$ и вертикальной нагрузке N в долях от критической силы N_{cr} (от 0,2 до 0,4). Полученные результаты сравнивались с предельными значениями по прогибам и ширине раскрытия трещин.

Результаты расчета показали, что прогибы стоек увеличиваются с возрастанием суммарного изгибающего момента, при этом функциональная зависимость близка к линейной. Влияние влажности окружающей среды при длительном действии нагрузок незначительно сказывается на величине прогибов. Однако, с возрастанием величины относительного эксцентриситета вертикальной нагрузки δ_e наблюдается существенное увеличение прогибов при длительном воздействии нагрузок.

Ширина раскрытия трещин увеличивается с возрастанием суммарного изгибающего момента. В отличие от прогибов влияние длительного воздействия нагрузок и влажности окружающей среды приводит к значительному увеличению ширины раскрытия трещин. При этом с увеличением влажности окружающей среды ширина раскрытия трещин возрастает.

Ключевые слова: трещиностойкость; деформативность; стойка кольцевого сечения; программный комплекс; железобетонные конструкции; кратковременное нагружение; длительное нагружение

Введение

Исследованию прочностных и деформативных свойств железобетонных центрофугированных конструкций кольцевого сечения посвящены многочисленные работы различных авторов: И.Н. Ахвердова [1], В.М. Баташева [2; 3], С.Т. Андросова, Т.Ф. Нагорной [3], С.А. Дмитриева [4], А.П. Кудзиса [5; 6].

Следует отметить, что большинство этих исследований базировались на кратковременном воздействии нагрузок, а влиянию длительных нагрузок уделено недостаточное внимание. В работе П.П. Польского [7], а также в проведенных нами исследованиях [8–10] при изучении критической силы, изгибной жесткости стоек кольцевого сечения вопрос влияния длительного нагружения частично был рассмотрен. В данной работе, которая является продолжением наших исследований, был проведен численный эксперимент по оценке трещиностойкости и деформативности стоек кольцевого сечения при кратковременном и длительном нагружениях.

Эксперимент

В качестве исследуемого образца принята стойка цилиндрического типа — СЦ 20.2.1. Исходные данные исследуемой стойки: длина стойки — 20 000 мм, радиус внешнего кольца — 400 мм, радиус внутреннего кольца — 315 мм, армирование стойки в развертке по ГОСТ 22687.2 (рис. 1).

Характеристики материалов:

Характеристики бетона класса В45:

- Начальный модуль упругости, $E_b = 37\,000$ МПа.
- Расчетное сопротивление осевому сжатию $R_b = 25$ МПа.
- Расчетное сопротивление осевому растяжению $R_{bt} = 1.45$ МПа.
- Нормативное сопротивление осевому сжатию $R_{bn} = 32$ МПа.
- Нормативное сопротивление осевому растяжению $R_{btn} = 2.2$ МПа.

Класс арматуры: А600.

- Модуль упругости $E_s = 200\,000$ МПа.
- Расчетное сопротивление растяжению продольной арматуры $R_s = 520$ МПа.
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 470$ МПа (400 — при кратковременных нагрузках).

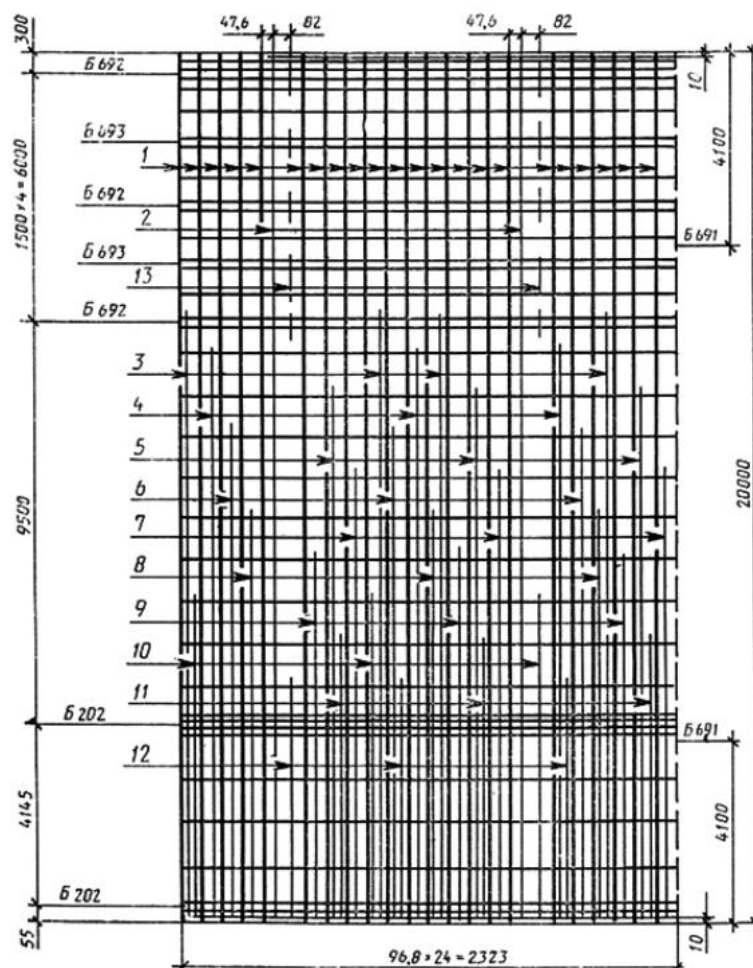


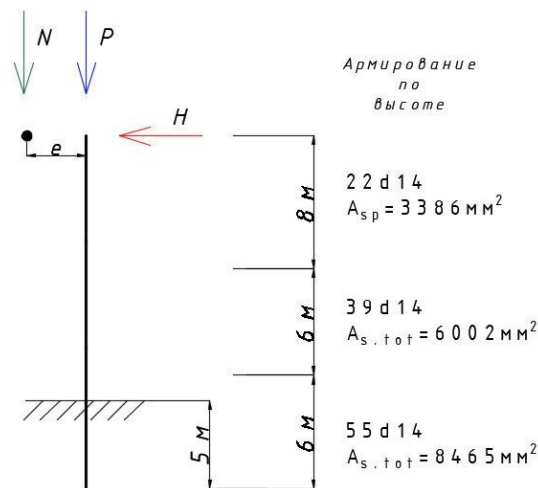
Рисунок 1. Развертка армирования СЦ 20.2.1¹

Для начала расчета в программном комплексе ЛИРА-САПР 2017 необходимо создать схему данной стойки СЦ 20.2.1 с учетом развертки армирования по ГОСТ 22687.2 (рис. 1).

При построении схемы (рис. 2) и внесении исходных данных было учтено, что данная модель стойки имеет преднапряженную арматуру 22d14 (А600) и не напряженную арматуру, количество которой изменяется по высоте стойки. В заземлении стойки общее армирование составляет 55d14 (А600). На основе этого было принято решение расчетную схему разбить по высоте на 3 части с определенным количеством и отношением преднапряженной и не напряженной арматуры.

¹ ГОСТ 22687.2-85 Стойки цилиндрические железобетонные центрифугированные для опор высоковольтных линий электропередачи. Конструкция и размеры.

На рисунке 2 представлена расчетная схема стойки с отображением нагрузок:



где P — усилие от предварительного напряжения арматуры; H — горизонтальная нагрузка; N — вертикальная нагрузка; $e = \delta e * D$ — эксцентриситет, где D — диаметр стойки

Рисунок 2. Расчетная схема стойки (разработан авторами)

Описание армирования стойки по высоте:

Общая высота стойки 20 м, заделка стойки — 5 м.

Нижняя часть расчетной схемы — 55d14 (A600) — 6 м.

Средняя часть расчетной схемы — 39d14 (A600) — 6 м.

Верхняя часть расчетной схемы — 22d14 (A600) — 8 м.

Для наиболее напряженного сечения стойки в заземлении отношение площади напрягаемой арматуры $A_{sp} = 3386 \text{ мм}^2$ к полной площади арматуры $A_{s,tot} = 8465 \text{ мм}^2$ составляет 40 %.

С помощью построенной расчетной схемы в программе ЛИРА-САПР 2017 производились загрузки стойки:

- постоянное усилие P от предварительного напряжения арматуры с осевым приложением нагрузки;
- вертикальная нагрузка N , принимаемая кратной критической силе N_{cr} в долях от 0,2 до 0,4 при кратковременном и длительном нагружении с учетом изменения относительного эксцентриситета $\delta e = 0,45$ и $0,75$;
- переменное горизонтальное усилие H (кратное 10 кН) до достижения предельных допустимых значений напряжений в арматуре и бетоне, приводящих к полному разрушению стойки.

Усилие предварительного обжатия стойки рассчитываем по формуле (1):

$$P = \sigma_{sp} * A_{sp}, \tag{1}$$

где σ_{sp} — предварительное напряжение арматуры, принимаемое не более $0,9R_{s,n}$;

Усилие предварительно обжатия стойки составило:

$$P = 468 * 10^3 \text{ кН/м}^2 \times 0.003388 \text{ м}^2 = 1585,6 \text{ кН}$$

С учетом первых и вторых потерь предварительных напряжений $\Delta\sigma_{sp} = 100 \text{ Мпа}$ усилие обжатия составит $P = 1246,7 \text{ кН}$.

Жесткость и материалы в программном комплексе ЛИРА-САПР 2017 (рис. 3) заданы согласно исходным данным.

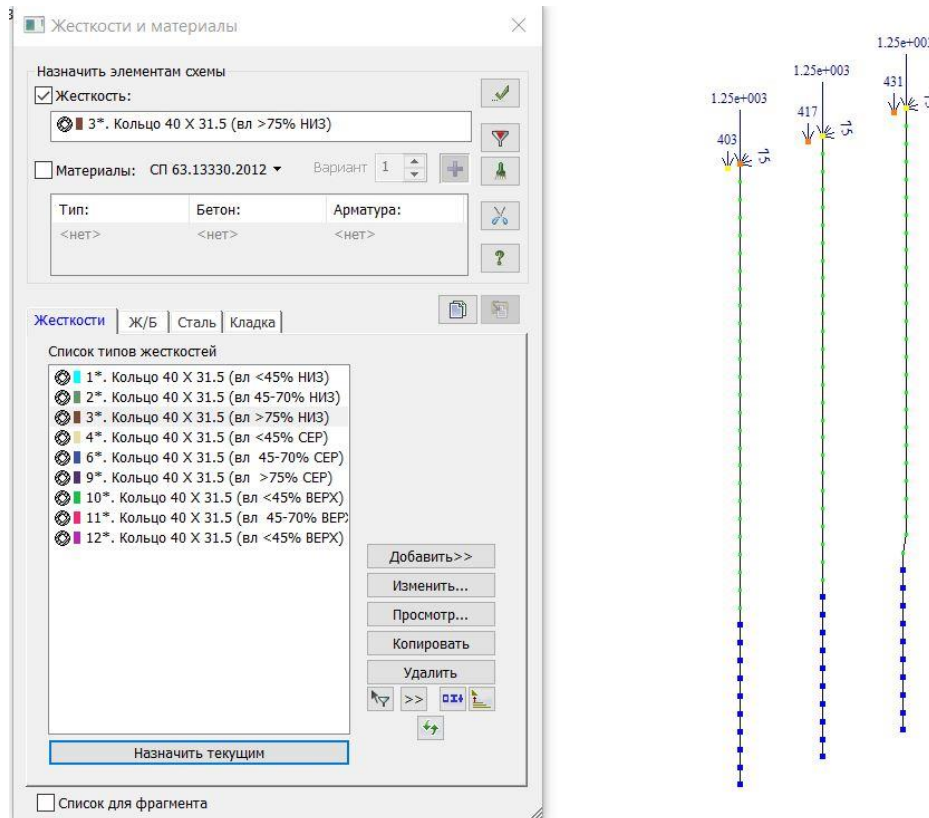


Рисунок 3. Расчетная схема стойки СЦ 20.2.1 в программе ЛИРА-САПР 2017 при длительном нагружении (разработан авторами)

Согласно СП 63.13330.2018² в качестве рабочих диаграмм состояния тяжелого, мелкозернистого и напрягающего бетона, определяющих связь между напряжениями и относительными деформациями была принята трехлинейная диаграмма (рис. 4) по типу диаграмм Прандтля.

На рисунке 5 представлены основные параметрические точки трехлинейной диаграммы при кратковременном нагружении, а на рисунке 6 — параметрические точки при длительном нагружении.

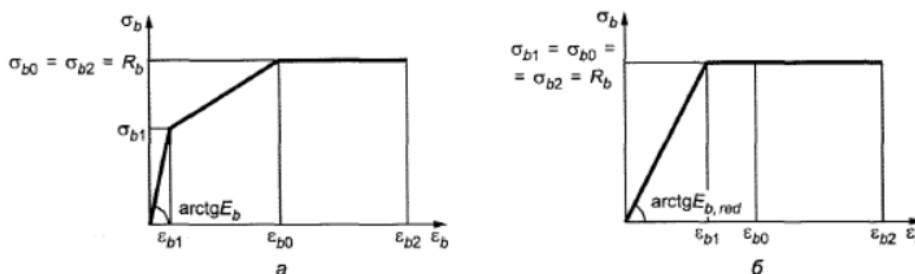


Рисунок 4. Диаграммы состояния сжатого бетона: а — трехлинейная диаграмма состояния сжатого бетона; б — двухлинейная диаграмма состояния сжатого бетона²

² СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения // СНиП 52-01-2003. — М., 2012. — 161 с.

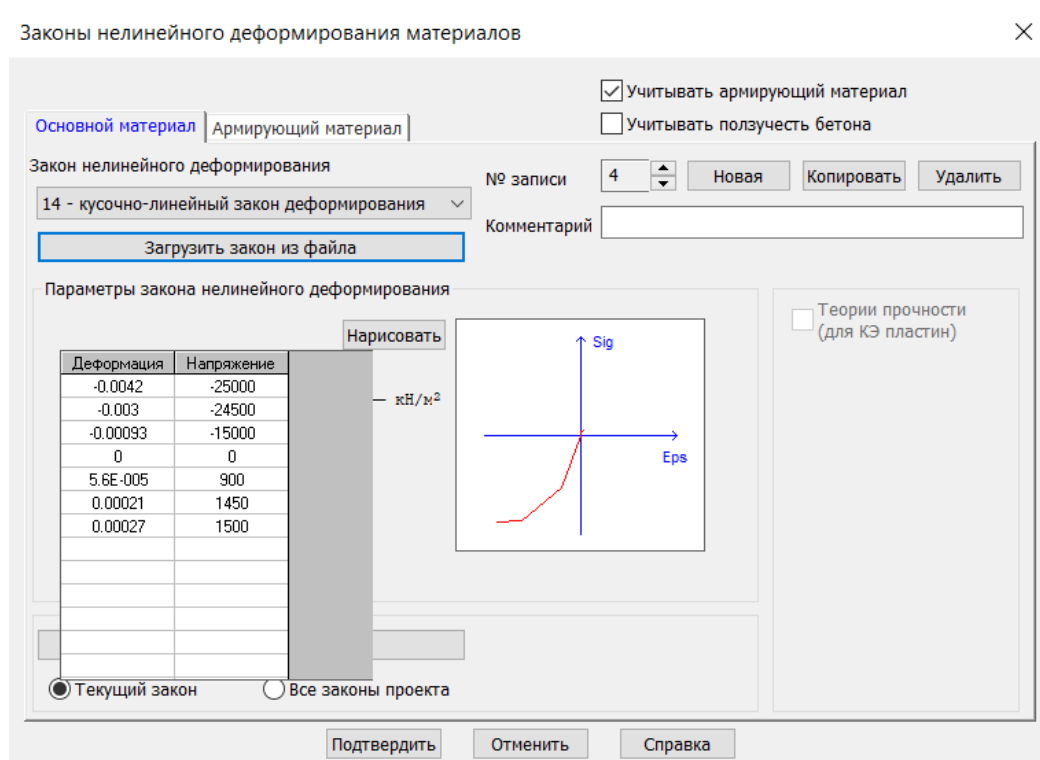


Рисунок 5. Нелинейный расчет по программе ЛИРА-САПР 2017 при кратковременном нагружении (разработан авторами)

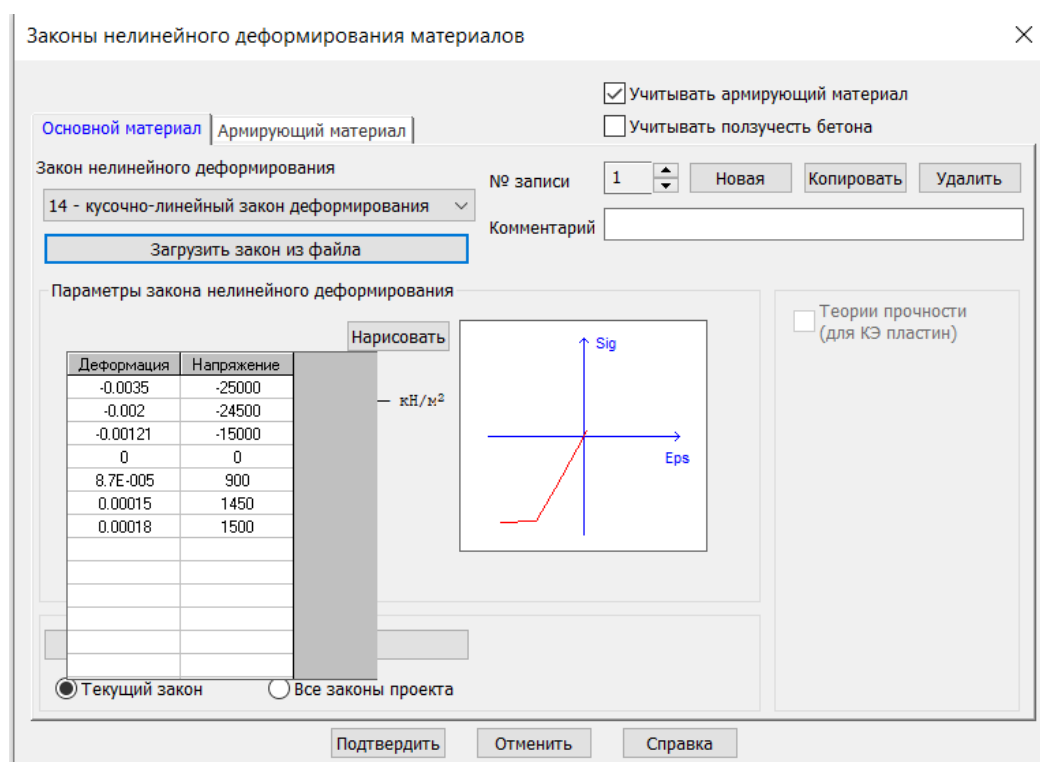


Рисунок 6. Нелинейный расчет по программе ЛИРА-САПР 2017 при длительном нагружении (разработан авторами)

Цель расчета исследовать изменение прогибов и трещиностойкости при кратковременном и длительном нагружении в зависимости от относительного эксцентриситета

$\delta_e = 0,45-0,75$ при прочих равных условиях и сравнить полученные результаты с предельными значениями по прогибам и по ширине раскрытия трещин.

Предварительно напряженные железобетонные стойки кольцевого сечения, армированные стержневой арматуры классов А-600 относятся к 2-ой категории требований к трещиностойкости с предельно допустимой шириной трещин $a_{cr} = 0,2$ мм. Анализ данных ГОСТ на испытание стоек показывает, что прогибы стоек при нагрузках (0,6–0,8) от разрушающих составляют (1/15–1/25) от расчетной длины l_0 . Учитывая это, величина предельно допускаемого прогиба в численных экспериментах принята равной $1/20 l_0 = 1500$ мм.

Критическая сила N_{cr} рассчитывалась по формуле (2):

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2} \quad (2)$$

где D — жесткость стойки; l_0 — расчетная длина стойки.

Значение жесткости D стойки меняется в зависимости от кратковременного и длительного загрузений и рассчитывается по формуле (3):

$$D = D_b + D_s = \frac{0,15 E_b I_b}{\varphi_l(0,3 + \delta_e)} + 0,7 E_s I_s \quad (3)$$

где D_b — жесткость бетонного сечения; D_s — жесткость арматуры; I_b и I_s — моменты инерции, соответственно, бетонного сечения и арматуры; $\delta_e = \frac{e_0}{H}$ — относительный эксцентриситет приложения внешней нагрузки N ; H — внешний диаметр стойки; $\varphi_l = 1$ при кратковременном действии нагрузки; $\varphi_l = 1,2$ и $1,6$ при длительном действии нагрузки; E_b — модуль деформации бетона.

Модуль деформации бетона E_b при кратковременном и длительном загрузении имеет разные значения. Модуль деформации бетона E_b определяется по формуле (4):

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}} \quad (4)$$

где $\varphi_{b,cr}$ — коэффициент ползучести бетона, зависящий от прочности бетона и влажности окружающей среды в соответствии с СП 63.13330.2018³ (табл. 1).

Таблица 1

Влияние влажности на ползучесть бетона. СП 63.13330.2018³

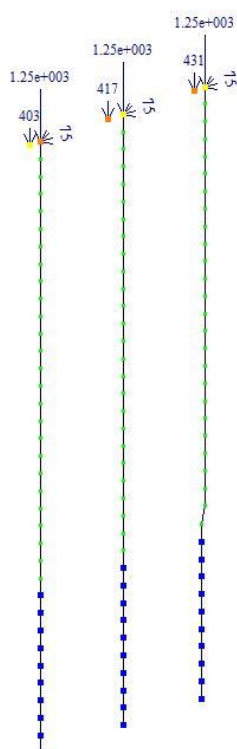
Относительная влажность окружающей среды, %	Значения коэффициента ползучести $\varphi_{b,cr}$ при классе бетона на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Выше 75	2,8	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
40–75	3,9	3,4	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4
Ниже 40	5,6	4,8	4,0	3,6	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0

Для расчета в программу ЛИРА-САПР 2017 вводились данные нескольких сочетаний нагрузок для кратковременного загрузения (рис. 7) и длительного (рис. 8) с переменным изменением горизонтального усилия H (кратно 10 кН).

³ СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения // СНиП 52-01-2003. — М., 2012. — 161 с.



Рисунок 7. Кратковременное загрузеение стойки при прочих равных условиях (разработан авторами)



1 — при $W > 75\%$; 2 — при $W = 40-75\%$; 3 — при $W < 40\%$

Рисунок 8. Длительное загрузеение стоек с разными показателями влажности окружающей среды при прочих равных условиях (разработан авторами)

Значения загружаемых сочетаний нагрузок представлены в следующих таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Сочетания нагрузок при кратковременном нагружении

φ_l	P, кН	δ_e	N, кН
<i>Сочетание 1</i>			
1	1246,7	0,45	0,2 N _{cr} = 377,28
<i>Сочетание 2</i>			
1	1246,7	0,75	0,2 N _{cr} = 319,99
<i>Сочетание 3</i>			
1	1246,7	0,45	0,4 N _{cr} = 754,57
<i>Сочетание 4</i>			
1	1246,7	0,75	0,4 N _{cr} = 639,98

Таблица 3

Сочетания нагрузок при длительном нагружении с учетом изменения влажности окружающей среды

φ_l	P, кН	δ_e	N, кН		
			W > 75 %	W = 40–75 %	W < 40 %
<i>Сочетание 1</i>					
1,2	1246,7	0,45	0,2 N _{cr} = 249,42	0,2 N _{cr} = 236,4	0,2 N _{cr} = 223,18
<i>Сочетание 2</i>					
1,2	1246,7	0,75	0,2 N _{cr} = 228,66	0,2 N _{cr} = 219,42	0,2 N _{cr} = 209,91
<i>Сочетание 3</i>					
1,6	1246,7	0,45	0,4 N _{cr} = 462,51	0,4 N _{cr} = 443,05	0,4 N _{cr} = 423,16
<i>Сочетание 4</i>					
1,6	1246,7	0,75	0,4 N _{cr} = 431,37	0,4 N _{cr} = 417,47	0,4 N _{cr} = 403,26

Результаты расчета

Результаты расчета по ширине раскрытия трещин (a_{cr}) и прогибам (f) при прочих равных условиях представлены таблично (табл. 4 и 5) и графически (рис. 9–12).

Таблица 4

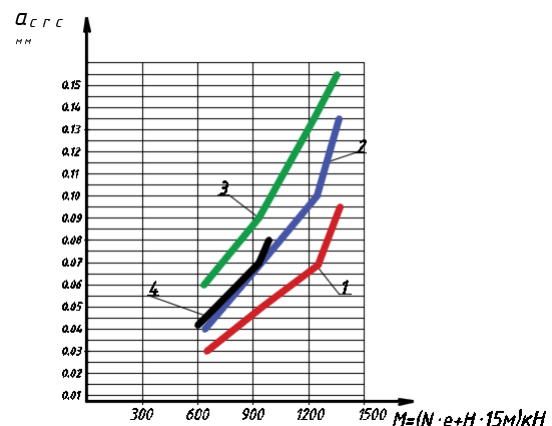
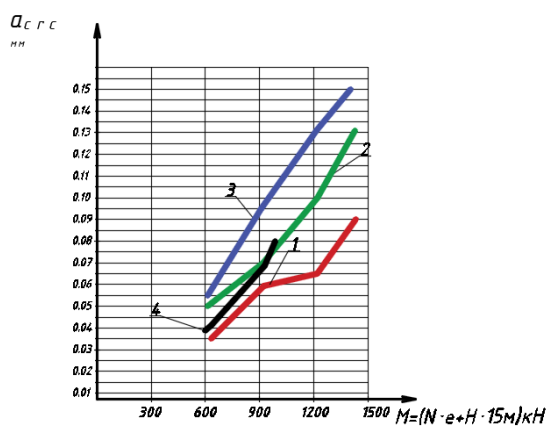
Результаты расчета по ширине раскрытия трещин a_{cr}

Ширина раскрытия трещин a_{cr} , мм						
N, кН	среда		при длительном нагружении $\varphi_l = 1,2$ и $N = 0,2 N_{erc}$			при кратковременном нагружении $\varphi_l = 1$ и $N = 0,2 N_{erc}$
	δ_e		W > 75 %	W = 40–75 %	W ≤ 40 %	
20	0,45		-	-	-	0,017
40			0,035	0,049	0,056	0,0042
60			0,058	0,07	0,094	0,069
80			0,065	0,098	0,132	Разрушение
90			0,09	0,132	0,151	
95			Разрушение			
20	0,75		-	-	-	0,02
40			0,029	0,04	0,06	0,046
60			0,048	0,072	0,09	0,07
80			0,067	0,101	0,135	Разрушение
90			0,096	0,135	0,154	
95			Разрушение			

Таблица 5

Результаты расчета по прогибам f

Прогибы f , мм			
Н, кН	среда		
	δ_e		
		при длительном загрузении $\phi_l = 1,2$ и $N = 0.2 N_{crc}$	и при кратковременном загрузении $\phi_l = 1$ и $N = 0.2 N_{crc}$
20	0,45	390	421
40		732	748
60		1080	1070
80		1460	Разрушение
90		1730	
95		Разрушение	
20	0,75	441	437
40		777	725
60		1130	1020
80		1510	Разрушение
90		1820	
95		Разрушение	

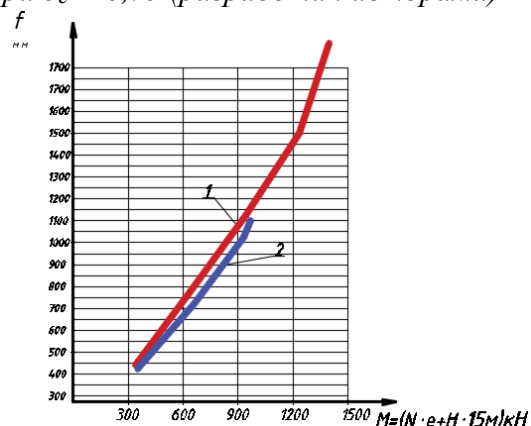
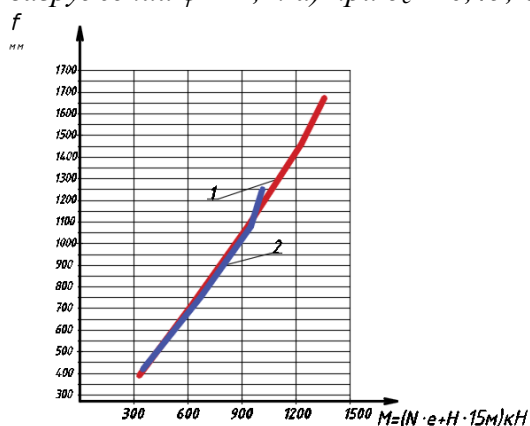


а)

б)

1 — отн. влажность воздуха окр. среды более 75 %; 2 — отн. влажность воздуха окр. среды 40–75 %; 3 — отн. влажность воздуха окр. среды менее 40 %; 4 — кратковременное нагружение

Рисунок 9. Изменение ширины раскрытия трещины a_{crc} в зависимости от M при относительном эксцентриситете $\delta_e = 0,45$ и $0,75$ соответственно и при длительном нагружении $\phi = 1,2$: а) при $\delta_e = 0,45$; б) при $\delta_e = 0,75$ (разработан авторами)



а)

б)

1 — длительное нагружение; 2 — кратковременное нагружение

Рисунок 10. Изменение прогибов в зависимости от M при относительном эксцентриситете $\delta_e = 0,45$ и при длительном нагружении $\phi = 1,2$: а) при $\delta_e = 0,45$; б) при $\delta_e = 0,75$ (разработан авторами)

Таблица 6

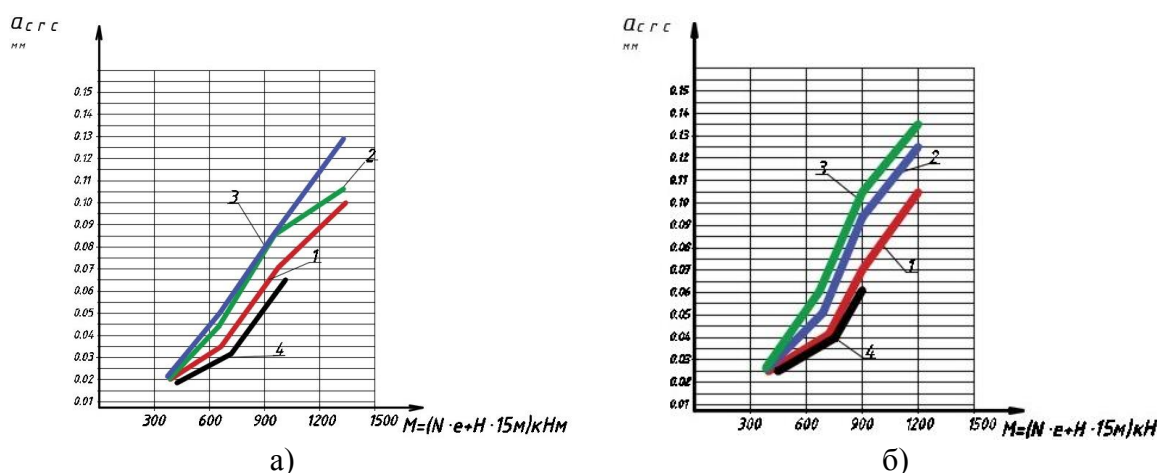
Результаты расчета по ширине раскрытия трещин $a_{срс}$

Ширина раскрытия трещин $a_{срс}$, мм						
Н, кН	среда		при длительном нагружении $\phi_l = 1,6$ и $N = 0,4 N_{срс}$			при кратковременном нагружении $\phi_l = 1$ и $N = 0,4 N_{срс}$
	δ_e	W > 75 %	W = 40–75 %	W < 40 %		
20	0,45		0,020	0,0215	0,0226	0,017
40			0,036	0,044	0,051	0,0033
60			0,072	0,086	0,085	0,070
80			0,083	0,099	0,120	Разрушение
85			0,099	0,107	0,130	
90			Разрушение			
20	0,75		0,025	0,028	0,03	0,019
40			0,043	0,053	0,62	0,039
60			0,068	0,094	0,105	0,063
75			0,099	0,121	0,134	Разрушение
80			Разрушение			

Таблица 7

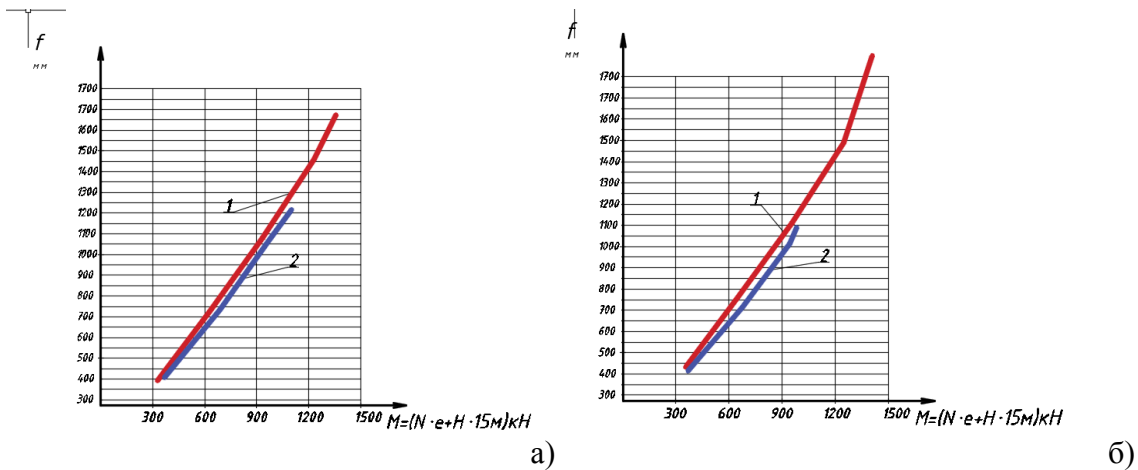
Результаты расчета по прогибам f

Прогибы f , мм				
Н, кН	среда		при длительном нагружении $\phi_l = 1,6$ и $N = 0,4 N_{срс}$	при кратковременном нагружении $\phi_l = 1$ и $N = 0,4 N_{срс}$
	δ_e			
20	0,45		486	398
40			792	769
60			1100	1035
80			1420	Разрушение
85			1660	
90			Разрушение	
20	0,75		664	586
40			949	897
60			1270	1115
75			1610	Разрушение
80			1820	



1 — отн. влажность воздуха окр. среды более 75 %; 2 — отн. влажность воздуха окр. среды 40–75 %; 3 — отн. влажность воздуха окр. среды менее 40 %; 4 — кратковременное нагружение

Рисунок 11. Изменение ширины раскрытия трещины $a_{срс}$ в зависимости от M при относительном эксцентриситете $\delta_e = 0,45$ и $0,75$ соответственно и при длительном нагружении $\phi = 1,6$: а) при $\delta_e = 0,45$; б) при $\delta_e = 0,75$ (разработан авторами)



1 — длительное нагружение; 2 — кратковременное нагружение

Рисунок 12. Изменение прогибов в зависимости от M при относительном эксцентриситете $\delta_e = 0,45$ и $0,75$ соответственно и при длительном нагружении $\varphi_1 = 1,6$: а) при $\delta_e = 0,45$; б) при $\delta_e = 0,75$ (разработан авторами)

Выводы

1. Разработана расчетная схема стойки с учетом реальной модели распределения напрягаемой и ненапрягаемой арматуры по высоте стойки. С помощью данной расчетной схемы проведен численный эксперимент в программном комплексе ЛИРА-САПР 2017 по исследованию трещиностойкости и деформативности стойки при кратковременном и длительном нагружениях.
2. Ширина раскрытия трещин увеличивается с возрастанием суммарного изгибающего момента (рис. 9, 11). Длительное воздействие нагрузок значительно увеличивает ширину раскрытия трещин a_{cr} . Например, при $\delta_e = 0,45$ и $\varphi_1 = 1,6$ величина a_{cr} в момент разрушения составляет $0,099$ мм, а при кратковременном действии ($\varphi_1 = 1$) $a_{cr} = 0,07$ мм.
3. Влияние влажности окружающей среды значительно сказывается на ширине раскрытия трещин. Например, при $\delta_e = 0,45$ и $\varphi_1 = 1,6$ ширина раскрытия трещин при $W > 75\%$ $a_{cr} = 0,036$ мм, при $40\% < W < 75\%$ $a_{cr} = 0,044$ мм, а при $W < 40\%$ $a_{cr} = 0,051$ мм.
4. Проведенные исследования показали, что для стоек с отношением площади напрягаемой арматуры A_{sp} к полной площади арматуры $A_{s,tot}$ в пределах $40-50\%$ ширина раскрытия трещин при разрушении не превышает предельных $a_{cr} = 0,2$ мм как при кратковременном, так и при длительном нагружениях.
5. Прогибы стоек увеличиваются с возрастанием суммарного изгибающего момента, при этом функциональная зависимость близка к линейной (рис. 10, 12). Отличие прогибов стоек при кратковременном и длительном воздействии зависит от величины длительного момента (φ_1). Например, при $\delta_e = 0,45$ и $\varphi_1 = 1,4$ разница составляет менее 1% , а при $\delta_e = 0,45$ и $\varphi_1 = 1,6$ она составляет 6% .
6. В отличие от ширины раскрытия трещин влияние влажности окружающей среды незначительно сказывается на величине прогибов. Однако, с возрастанием величины относительного эксцентриситета вертикальной нагрузки δ_e наблюдается существенное увеличение прогибов при длительном воздействии.

7. Следует отметить, что для данного типа стоек расчетные прогибы достигают предельных значений $1/20 l_0 = 1500$ мм при нагрузках, составляющих 0,75–0,9 от разрушающих при кратковременных и длительных загрузениях.

Авторы планируют продолжить исследования с целью выявления граничных значений вертикальных нагрузок N в долях от $N_{сгс}$ при различных относительных эксцентриситетах δ_e .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. М.: Стройиздат, 1967. — 164 с.
2. Баташев В.М., Нагорная Т.Ф. Исследование прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого сечения. — Реферативный сборник. Межотраслевые вопросы строительства: Отечественный опыт. М., 1969, № 12, с. 29–34.
3. Баташев В.М., Андросов, С.Т., Лебедев В.Н., Нагорная Т.Ф., Расчет прочности изгибаемых и внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого и круглого сечения // Бетон и железобетон. №5. С. 31–34.
4. Дмитриев С.А., Баташев В.М., Деформации (прогибы) железобетонных элементов кольцевого сечения и раскрытие трещин в них. Сборник трудов НИИЖБ "Особенности деформаций бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций". Стройиздат, Москва, 1969, С. 157–189.
5. Кудзис А.П. О расчете по прочности внецентренно сжатых элементов кольцевого сечения при малых эксцентриситетах. — В кн.: Исследования по железобетонным конструкциям, т. 1. Вильнюс, 1969, с. 29–36.
6. Кудзис А.П. Железобетонные конструкции кольцевого сечения. Вильнюс: Минтис, 1975. 224 с.
7. Польской П.П. Прочность и деформативность коротких усиленных стоек при малых эксцентриситетах. (Электронный ресурс) / П.П. Польской, Д.Р. Маилаян, С.В. Георгиев // Инженерный вестник Дона 2014 — № 4–1 <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734>.
8. Щуцкий В.Л., Дедух Д.А., Гриценко М.Ю. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», № 2 ч. 2, 2015. — http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_81_Shucki.pdf_4abcf9232c.pdf свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
9. «Influence of long-term exposure to loads on the annular sections' strength and rigidity» (Влияние длительного воздействия нагрузок на прочность и жесткость стоек кольцевых сечений) / 2021 Авторы: Victor Shchutskiy, Alik Blyagoz, Sergey Shchutskiy, Svetlana Slabukha, Konstantin Kurgin https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/57/e3sconf_catpid2021_01038/e3sconf_catpid2021_01038.html.
10. «Crack strength and deformability of power transmission line conical poles (Трещиностойкость и деформативность конических опор ЛЭП)» / 2018 Авторы: A.S. Nasevich, V.L. Shchutskiy, S.A. Stelmakh, O.V. Antipov (А.С. Насевич, В.Л. Щуцкий, О.В. Антипов) <https://www.scientific.net/MSF.931.304>.

Shchutsky Victor Lukyanovich

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: Vikluk75@mail.ru

Blagoz Alik Mossovich

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia
E-mail: Alfa-maikop@yandex.ru

Kurgin Konstantin Vasilievich

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: kkonst77@yandex.ru

Slabukha Svetlana Sergeevna

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: Svetass98@gmail.com

Peculiarities of crack resistance and deformability of columns of annular section under long-term loading

Abstract. This article presents the results of a numerical experiment to study the crack resistance and deformability of an annular section rack under short-term and long-term exposure to loads. The authors have developed a calculation scheme of the rack, taking into account the real model of the distribution of prestressed and non-tensioned reinforcement along the height of the rack. With the help of this design scheme in the LIRA-SAPR 2017 program, tests of the rack with the following loadings were carried out: constant force P from the prestressing of the reinforcement, vertical load N , variable horizontal force N . on the relative eccentricity $\delta_e = 0.45-0.75$ and the vertical load N in fractions of the critical force N_{cr} (from 0.2 to 0.4). The results obtained were compared with the limit values for deflections and crack opening widths.

The results of the calculation showed that the deflections of the struts increase with an increase in the total bending moment, while the functional dependence is close to linear. The influence of ambient humidity under prolonged action of loads has little effect on the magnitude of deflections. However, with an increase in the value of the relative eccentricity of the vertical load δ_e , a significant increase in deflections is observed under prolonged exposure to loads.

The crack opening width increases with an increase in the total bending moment. In contrast to deflections, the influence of long-term exposure to loads and environmental humidity leads to a significant increase in the crack opening width. At the same time, with an increase in the humidity of the environment, the width of the crack opening increases.

Keywords: crack resistance; deformability; an annular section stand; software package, reinforced concrete structures; short loading; long loading