

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

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/37SAVN321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Щуцкий В.Л., Демидова А.С., Коробкин А.П., Слабуха С.С. Влияние ограничений на расчетную прочность цилиндрических опор ЛЭП // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/37SAVN321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Shchutsky V.L., Demidova A.S., Korobkin A.P., Slabukha S.S. (2021). The influence of restrictions on the calculated strength of cylindrical transmission line supports. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/37SAVN321.pdf> (in Russian)

Щуцкий Виктор Лукьянович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Профессор кафедры ЖБК
Кандидат технических наук, профессор
E-mail: x609km@mail.com

Демидова Алина Сергеевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Старший преподаватель кафедры ЖБК
Ассистент
E-mail: x609km@mail.com

Коробкин Александр Петрович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры ЖБК
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: x609km@mail.com

Слабуха Светлана Сергеевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студентка магистратуры факультета ПГС, кафедры ЖБК
E-mail: Svetass98@gmail.com

Влияние ограничений на расчетную прочность цилиндрических опор ЛЭП

Аннотация. В статье проведен численный эксперимент по изучению влияния на расчетную прочность цилиндрических опор ограничений по ширине раскрытия трещин и предельных деформаций. Расчеты по первой и второй группе предельных состояний выполнялись в соответствии с требованиями норм. При этом учитывалось нелинейное распределение напряжений в арматуре и бетоне по высоте сечения. В эксперименте использовалась разработанная в Ростовском государственном строительном университете программа расчета железобетонных стоек кольцевого сечения по деформированной схеме.

Авторами выполнен анализ влияния на расчетную прочность стоек, ограничений предельной ширины раскрытия трещин и предельных прогибов. При этом в численном эксперименте оценивалось расчетная прочность стоек при различных соотношениях моментов от вертикальных нагрузок к полному значению момента. Авторами установлено, что расчетная прочность стоек по условиям предельной ширины раскрытия трещин и предельного прогиба возрастает с увеличением суммарного коэффициента армирования и содержания напрягаемой

арматуры. При этом расчетная прочность по условию предельной ширины раскрытия трещин превышает прочность по условию деформативности.

Также авторами был выполнен анализ влияния на трещиностойкость и деформативность соотношения между площадями напрягаемой и суммарной арматурой.

Результаты проведенных исследований показали, что момент образования трещин нелинейно возрастает с увеличением содержания напрягаемой арматуры и суммарного коэффициента армирования. При этом ширина раскрытия трещин в зависимости от тех же параметров — изменяется линейно. Коэффициент армирования не влияет на характер этих зависимостей.

Авторы пришли к выводу, что увеличение доли момента от вертикальных нагрузок приводит к значительному росту ширины раскрытия трещин. Наибольшее влияние на прогибы цилиндрических стоек оказывает содержание напрягаемой арматуры. Функциональная зависимость прогибов стоек от отношения площадей напрягаемой арматуры к полной для всех типов стоек носит нелинейный характер. При этом суммарный коэффициент армирования практически не влияет на вид данной функции.

Ключевые слова: железобетонные конструкции; кольцевое сечение; цилиндрическая опора; предварительное напряжение; расчетная прочность; деформативность; трещиностойкость

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния на расчетную прочность, трещиностойкость и деформативность цилиндрических опор ЛЭП ограничений по ширине раскрытия трещин и предельных прогибов.

В ранее проведенных исследованиях [1–5] уделено основное внимание изучению физико-механических свойств центрифугированного бетона, влияние на изменение прочности бетона по толщине изделия основных технологических факторов, а также несущей способности стоек при расчете по разным нормам и при различных соотношениях армирования ненапрягаемой и напрягаемой арматурой.

В качестве исследуемых образцов приняты стойки цилиндрических опор высоковольтных линий электропередач по ГОСТу 22687.0-85, 22687.3-85.

В численном эксперименте изменялся для всех типов стоек суммарный коэффициент армирования $\mu_{s,tot}$ % в пределах 2,7÷4,7 % (для СЦ22). Кроме того в каждой серии образцов из 5 элементов изменялось отношение площади напрягаемой арматуры к полной ($A_{sp}/A_{s,tot}$) и отношение момента от вертикальной нагрузки к полному (M_v/M).

В эксперименте использовалась разработанная в Ростовском государственном строительном университете программа расчета железобетонных стоек кольцевого сечения по деформированной схеме¹. Расчеты по первой и второй группе предельных состояний выполнялись в соответствии с требованиями норм СП 63.13330.2018². При этом учитывалось нелинейное распределение напряжений в арматуре и бетоне по высоте сечения по методике, разработанной В.М. Баташевым [6–8].

¹ Программа расчета железобетонных стоек кольцевого сечения по деформированной схеме / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. № 2012 660898 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rgsu.ru/structure/ipdepartment/list-of-certificates.php>.

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

Таблица 1

Основные характеристики опытных цилиндрических стоек

№	Условные обозначения	$\mu_{s,tot}$	$A_{s,tot}, \text{мм}^2$	$A_{sp}, \text{мм}^2$	$A_s, \text{мм}^2$	$\frac{A_{sp}}{A_{s,tot}}$
1	2	3	4	5	6	7
СЦ22; L = 22,2 м; $l_0 = 17$ м; D2 = 560 мм; D1 = 430 мм $\lambda = \frac{2 \cdot l_0}{D2} = 60.7$; $A_b = 101080,7 \text{ мм}^2$; B40; A-V						
1	СЦ22.1	2,7	2728	0	2728	0,00
2	СЦ22.2			682	2046	0,25
3	СЦ22.3			1364	1364	0,50
4	СЦ22.4			2046	682	0,75
5	СЦ22.5			2728	0	1,00
6	СЦ22.6	3,7	3740	0	3740	0,00
7	СЦ22.7			935	2805	0,25
8	СЦ22.8			1870	1870	0,50
9	СЦ22.9			2805	935	0,75
10	СЦ22.10			3740	0	1,00
11	СЦ22.11	4,7	4748	0	4748	0,00
12	СЦ22.12			1187	3561	0,25
13	СЦ22.13			2374	2374	0,50
14	СЦ22.14			3561	1187	0,75
15	СЦ22.15			4748	0	1,00

Составлено авторами

В таблице 2 представлены основные результаты стоек при разрушении, а также при предельной ширине раскрытия трещин и предельном прогибе.

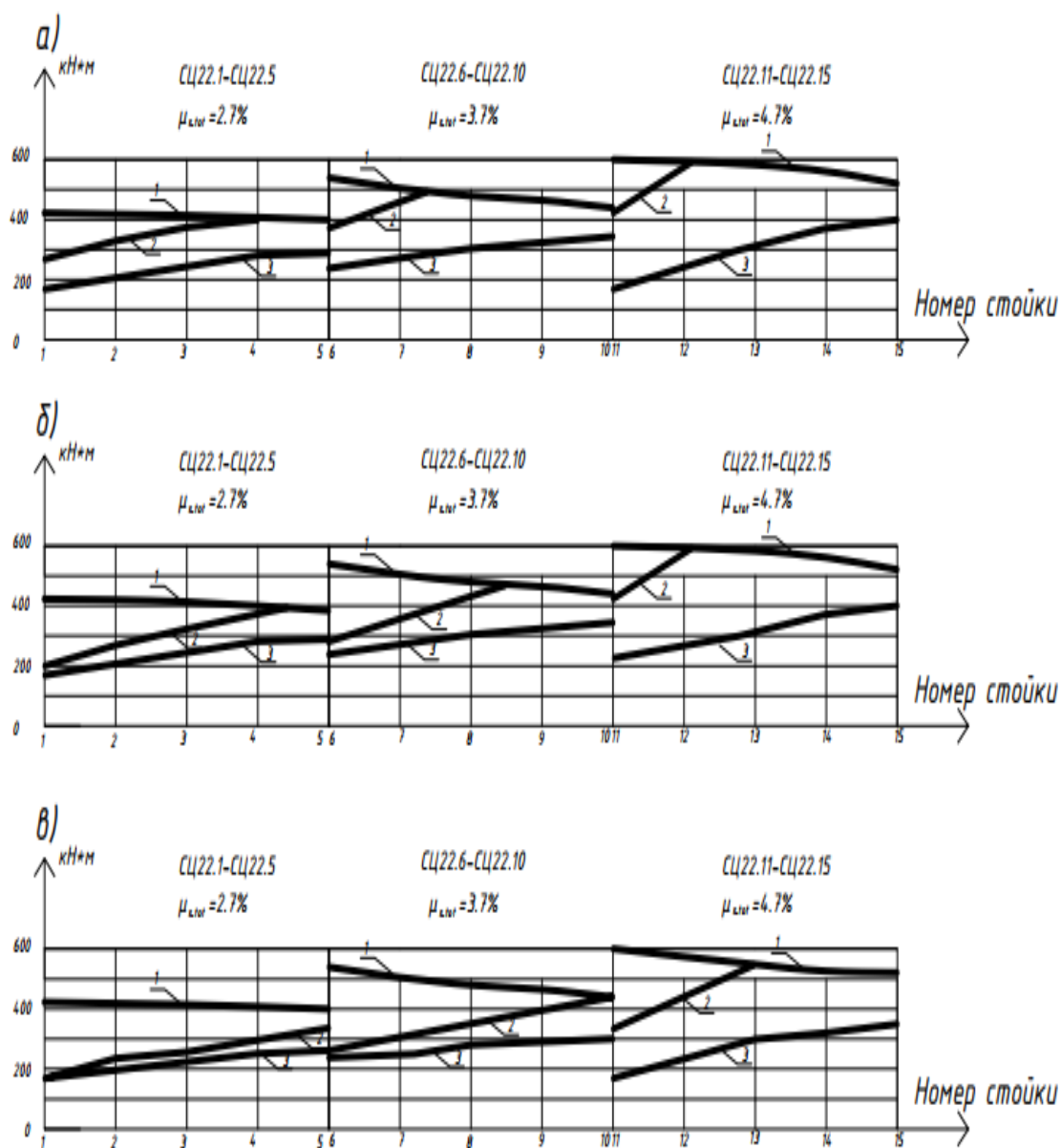
Таблица 2

Результаты расчета цилиндрических железобетонных стоек СЦ-22.1–СЦ-22.15 при отношении моментов от вертикальных нагрузок к полному $M_v/M = 0.2$

№	Усл. обозн-я образца	$M_{crсc}, \text{кНм}$	Характеристики при разрушении			При $f = 10/20 = 850 \text{ мм}$		При $a_{crсc} = 0,2 \text{ мм}$		Отн. значения		
			M, кНм	$a_{crсc}, \text{мм}$	f, мм	$M_f, \text{кНм}$	$a_{crсc}, \text{мм}$	$M_{acrсc}, \text{кНм}$	f, мм	$\frac{M_{crсc}}{M}$	$\frac{M_f}{M}$	$\frac{M_{acrсc}}{M}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	СЦ22.1	46.6	416.9	0.365	2945.3	171.3	0.156	195.1	1354.8	0.111	0.411	0.467
2	СЦ22.2	79.2	407.9	0.312	2376.6	216.1	0.143	257.9	1392.5	0.194	0.530	0.632
3	СЦ22.3	106.2	400.3	0.264	2056.2	244.9	0.132	316.8	1531.0	0.265	0.612	0.791
4	СЦ22.4	129.7	393.8	0.221	1835.6	276.0	0.127	368.0	1675.4	0.329	0.701	0.934
5	СЦ22.5	151.2	388.3	0.181	1661.1	288.1	0.112	-	-	0.389	0.742	1.000
6	СЦ22.6	49.3	510.7	0.327	2922.0	197.1	0.125	274.9	1564.3	0.096	0.386	0.538
7	СЦ22.7	92.6	494.8	0.272	2325.2	255.8	0.112	359.9	1612.9	0.187	0.517	0.727
8	СЦ22.8	125.9	481.0	0.224	2002.4	291.0	0.101	434.9	1779.8	0.261	0.605	0.904
9	СЦ22.9	155.3	469.1	0.184	1777.7	318.0	0.090	-	-	0.331	0.678	1.000
10	СЦ22.10	180.8	458.6	0.117	1580.1	341.1	0.075	-	-	0.394	0.744	1.000
11	СЦ22.11	51.8	594.2	0.301	2907.0	229.3	0.116	351.1	1708.4	0.087	0.386	0.590
12	СЦ22.12	104.2	570.2	0.245	2291.0	301.6	0.102	459.2	1790.9	0.182	0.529	0.805
13	СЦ22.13	144.1	549.7	0.197	1971.4	333.1	0.098	-	-	0.262	0.606	1.000
14	СЦ22.14	178.2	531.8	0.156	1747.5	366.9	0.078	-	-	0.335	0.690	1.000
15	СЦ22.15	207.4	516.2	0.121	1594.2	385.0	0.059	-	-	0.401	0.746	1.000

Составлено авторами

Более наглядное представление об изменении несущей способности цилиндрических стоек дают графики рисунка 1.



1 — по условиям прочности (V); 2 — по предельной ширине раскрытия трещин (M_{acr}); 3 — по предельному прогибу (M_I)

Рисунок 1. Изменение несущей способности стоек СЦ22 при:
а) $M_V/M = 0$; б) $M_V/M = 0,2$; в) $M_V/M = 0,4$ (составлено авторами)

Полученные результаты показывают, что несущая способность стоек СЦ22 при постоянном сечении бетона увеличивается с увеличением суммарного коэффициента армирования $\mu_{s,tot}$.

Однако при постоянном $\mu_{s,tot}$ с увеличением отношения площади напрягаемой арматуры A_{sp} к полной площади $A_{s,tot}$ наблюдается плавное (близкое к линейному) снижение несущей способности (рис. 1), которое возрастает с увеличением процента армирования. К таким же выводам пришли в своих исследованиях С.А. Дмитриев [9], А.П. Кудзис [10].

Причина этого явления связана с симметричным распределением напрягаемой арматуры по параметру кольцевого сечения и объясняется более ранним разрушением сжатой зоны при увеличении содержания напрягаемой арматуры. В таблице 3 приведены сравнительные данные относительного снижения несущей способности исследуемых цилиндрических стоек для

граничных значений отношения $A_{sp}/A_{s,tot} = 0 \div 1,0$. Так, например, в цилиндрических стойках высотой 22 м (СЦ22) при проценте армирования $\mu_{s,tot} = 4,7\%$ изменение $A_{sp}/A_{s,tot}$ от 0 до 1 привело к снижению прочности на 13,1 %.

Таблица 3

Сравнительные данные изменения несущей способности цилиндрических стоек

Тип стойки	Суммарный процент армирования $\mu_{s,tot}$	Несущая способность, кНм		$\frac{V1-V2}{V1} \cdot 100, \%$
		$A_{sp}/A_{s,tot} = 0$ V1	$A_{sp}/A_{s,tot} = 1$ V2	
СЦ 22	2,7	416,9	388,3	6,9
	3,7	510,7	458,6	10,2
	4,7	594,2	514,2	13,1

Составлено авторами

Предварительно напряженные железобетонные опоры ЛЭП, армированные стержневой арматурой классов А-600, А-800 относятся к 2-ой категории требований к трещиностойкости с предельно допустимой шириной трещин $a_{crс} = 0,2$ мм. Нормы проектирования ЛЭП³ ограничивают прогибы при воздействии нормативных нагрузок (0,6–0,8) от разрушающих в пределах $(1/15–1/25)l_0$. Учитывая это, величина предельно допускаемого прогиба в численных экспериментах принята равной $l_0/20$.

Проанализируем влияние ограничений ширины раскрытия трещин и допускаемых прогибов на расчетную прочность. Максимальные значения моментов, соответствующие предельному прогибу (M_f) и предельной ширине раскрытия трещин $M_{acrс}$, для стоек СЦ22 приведены в таблице 2. По этим данным построены графики изменения расчетной прочности стоек по условиям предельной ширины раскрытия трещин и предельного прогиба, которые приведены на рисунке 1.

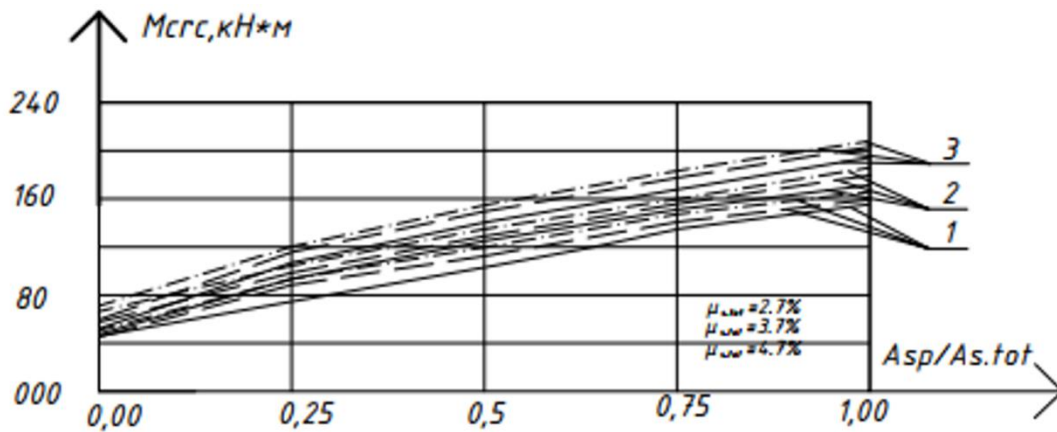
Анализ показывает, что расчетная прочность стоек по условиям предельной деформативности и ширины раскрытия трещин увеличивается с увеличением суммарного коэффициента армирования, $\mu_{s,tot}$ и отношения $A_{sp}/A_{s,tot}$. Этот вывод справедлив для всех типов стоек, независимо от их гибкости.

Следует отметить, что расчетная прочность по условию ширины раскрытия трещин для всех типов стоек, как правило, превышает прочность по условию деформативности. Расхождение между графиками изменения прочности увеличивается с ростом $\mu_{s,tot}$ и отношения $A_{sp}/A_{s,tot}$ (рис. 1).

Основными факторами, оказывающими существенное влияние на трещиностойкость железобетонных стоек, является коэффициент армирования $\mu_{s,tot}$ и содержание напрягаемой арматуры $A_{sp}/A_{s,tot}$. На рисунке 2 приведены характерные графики зависимости момента образования трещин $M_{crс}$ от $A_{sp}/A_{s,tot}$.

Анализ показывает, что момент образования трещин $M_{crс}$ существенно повышается с увеличением $\mu_{s,tot}$ и содержания напрягаемой арматуры $A_{sp}/A_{s,tot}$. При этом большему $\mu_{s,tot}$ соответствует большее приращение $M_{crс}$. Так, например, в цилиндрических стойках СЦ22.1–СЦ22.5 (табл. 2) с $\mu_{s,tot} = 2,7\%$ изменение $A_{sp}/A_{s,tot}$ от 0 до 1 увеличило $M_{crс}$ в 3,24 раза. Аналогичное изменение $A_{sp}/A_{s,tot}$ в стойках СЦ22.11–СЦ22.15 с $\mu_{s,tot} = 4,7\%$ привело к увеличению $M_{crс}$ в 4 раза.

³ Руководство по проектированию опор линий электропередачи и распределительных устройств подстанций. Железобетонные опоры и фундаменты № 3041ТМ-11 / ВГПИ НИИ электросеть, Северо-Западное отделение, 1973. — 137 с.

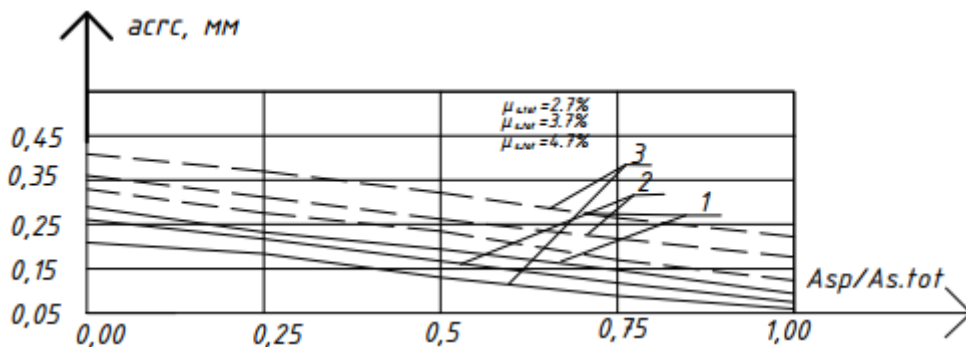


— $M_v/M = 0$; - - - - $M_v/M = 0,2$; - · - · - $M_v/M = 0,4$

Рисунок 2. Зависимость момента образования трещин от $A_{sp}/A_{s,tot}$ (составлено авторами)

Изменение M_v/M от 0 до 0,4 приводит к незначительному увеличению трещиностойкости стоек на 2–6 % независимо от отношения $A_{sp}/A_{s,tot}$.

На рисунке 3 приведены графики изменения ширины раскрытия трещин стоек в зависимости от $A_{sp}/A_{s,tot}$ при разрушении. Анализ этих графиков показывает, что зависимость ширины раскрытия трещин a_{cr} от $A_{sp}/A_{s,tot}$ очень близка к линейной. Процент армирования $\mu_{s,tot}$ почти не влияет на характер этой зависимости в цилиндрических стойках. Поэтому графики $a_{cr} = f(A_{sp}/A_{s,tot})$ для стоек одного типа при различных $\mu_{s,tot}$ остаются параллельными.



— $M_v/M = 0$; - - - - $M_v/M = 0,4$

Рисунок 3. Зависимость ширины раскрытия трещин при разрушении (составлено авторами)

Отношение M_v/M оказывает существенное влияние на ширину раскрытия трещин. Для всех типов стоек увеличение M_v/M приводит к увеличению a_{cr} , но не к равнозначному при различных $A_{sp}/A_{s,tot}$ (рис. 3).

С изменением M_v/M от 0 до 0,4 приращение ширины раскрытия трещин при низких значениях $A_{sp}/A_{s,tot} = 0–0,25$ достигает 22–53 %, а при высоких значениях $A_{sp}/A_{s,tot} = 0,5–1,0$ и больших процентах армирования, $\mu_{s,tot} = 2,5–4,5$ % ширина раскрытия трещин увеличивается в несколько раз.

Проанализируем влияние различных факторов на деформативность стоек. Как и следовало ожидать наибольшее влияние на прогибы стоек оказало количество напрягаемой арматуры A_{sp} . На рисунке 4 приведены графики изменения прогибов цилиндрических стоек в зависимости от $A_{sp}/A_{s,tot}$.

Анализ этих графиков показывает, что зависимость прогибов от отношения $A_{sp}/A_{s,tot}$ для всех типов стоек носит нелинейный характер. При этом вид функции $f_{пр} = f(A_{sp}/A_{s,tot})$ для каждого типа стоек практически не зависит от суммарного коэффициента армирования $\mu_{s,tot}$.

Повышение процента армирования стоек, при прочих равных условиях, очень незначительно снижает прогибы стоек (на 0,2–2,1 %).

Увеличение момента от вертикальных нагрузок и отношения M_v/M приводит к повышению прогибов. Это справедливо для всех типов стоек при любых процентах армирования, что наглядно иллюстрируют графики рисунка 4. С повышением отношения $A_{sp}/A_{s,tot}$ влияние M_v/M на прогибы снижается.

Для наиболее типичного отношения $A_{sp}/A_{s,tot} = 0,5–0,75$ изменение M_v/M от 0 до 0,4 привело к увеличению прогибов цилиндрических стоек СЦ22 на 11–15 %.

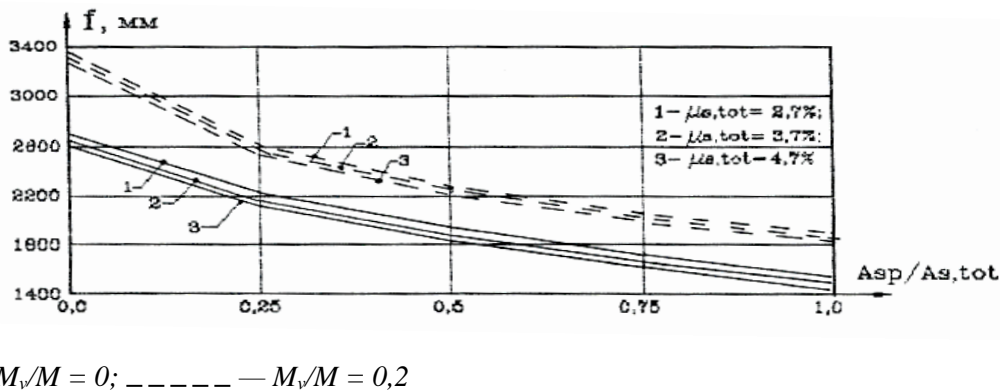


Рисунок 4. Изменение прогиба стоек СЦ22 (составлено авторами)

Выводы

1. Для всех типов стоек с увеличением содержания напрягаемой арматуры в сечении ($A_{sp}/A_{s,tot}$) наблюдается близкое к линейному снижению несущей способности, которое возрастает с увеличением суммарного коэффициента армирования, $\mu_{s,tot}$.

2. Расчетная прочность цилиндрических стоек по условиям предельной ширины раскрытия трещин и предельного прогиба увеличивается с увеличением суммарного коэффициента армирования $\mu_{s,tot}$ и содержания напрягаемой арматуры $A_{sp}/A_{s,tot}$. При этом прочность по условию предельной ширины раскрытия трещин превышает прочность по условию деформативности.

3. С увеличением доли момента от вертикальных нагрузок M_v/M расчетная прочность по условию предельной деформативности M_f и условию предельной ширины раскрытия трещин M_{acr} снижается. Наблюдается большее влияние отношения M_v/M на снижение трещиностойкости, чем на снижение деформативности.

4. Момент образования трещин цилиндрических стоек нелинейно возрастает с увеличением содержания напрягаемой арматуры $A_{sp}/A_{s,tot}$ и суммарного коэффициента армирования $\mu_{s,tot}$.

5. Зависимость ширины раскрытия трещин от отношения $A_{sp}/A_{s,tot}$ для всех типов стоек близка к линейной. Коэффициент армирования $\mu_{s,tot}$ не влияет на характер этой зависимости в цилиндрических стойках.

Увеличение доли момента от вертикальных нагрузок M_v/M приводит к значительному повышению ширины раскрытия трещин как в стадии разрушения, так и в эксплуатационной стадии. При этом большему суммарному коэффициенту армирования и большему отношению $A_{sp}/A_{s,tot}$ соответствует большее приращение a_{cr} , которое изменяется в широких пределах.

6. Наибольшее влияние на прогибы цилиндрических стоек оказывает отношение $A_{sp}/A_{s,tot}$. Зависимость прогибов от $A_{sp}/A_{s,tot}$ для всех типов стоек носит нелинейный характер. При этом суммарный коэффициент армирования практически не влияет на вид функции $f_{np} = f(A_{sp}/A_{s,tot})$.

ЛИТЕРАТУРА

1. V.L. Shchutskiy, A.S. Nasevich, V.E. Chubarov, A.M. Blyagoz The research on bearing capacity of supports with annular section (Исследование несущей способности стоек кольцевого сечения) CATPID-2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 698 (2019) 022089 doi: 10.1088/1757-899X/698/2/022089.
2. Dedukh D.A., Schuzkiy V.L., Kuzmenko A.A. Spun concrete properties of power transmission line supports (Свойства центрифугированного бетона опор линий электропередач) Magazine of Civil Engineering № 7, 2017.
3. Щуцкий В.Л., Дедух Д.А., Гриценко М.Ю. Планирование эксперимента при исследовании свойств центрифугированного бетона. «Научное обозрение», 2016. № 12. С. 89–96.
4. Щуцкий В.Л., Насевич А.С., Кургин К.В., Слабуха С.С. Сравнение несущей способности стоек кольцевого сечения по различным нормам // Вестник Евразийской науки, 2020 № 1.
5. Щуцкий В.Л., Шилов А.В., Талипова Т.Д. Прочность конических опор линий электропередач с учетом ограничений по второй группе предельных состояний // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, № 2 (2016).
6. Баташев В.М., Нагорная Т.Ф. Исследования прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого сечения // Реферативный сборник Межотраслевые вопросы строительства. 1969. Вып. 12. ЦНИИС Госстроя СССР.
7. Баташев В.М. Прочность, трещиностойкость и деформации железобетонных элементов с многорядным армированием. / Киев, «Будивельник» 1978.
8. Щуцкий В.Л., Насевич А.С. Методика расчета железобетонных опор ЛЭП по прочности // ИД «Научное обозрение», 2014. № 10–3. С. 659–661.
9. Дмитриев С.А. Уточнение расчета прочности обычных и предварительно напряженных элементов кольцевого сечения. Труды НИИЖБ "Исследование прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций" вып. 26, 1962.
10. Кудзис А.П. Влияние предварительного напряжения на прочность изгибаемых железобетонных элементов кольцевого сечения. // Бетон и железобетон. 1964. № 3. С. 179–181.

Shchutsky Victor Lukyanovich

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: x609km@mail.com

Demidova Alina Sergeevna

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: x609km@mail.com

Korobkin Alexander Petrovich

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: x609km@mail.com

Slabukha Svetlana Sergeevna

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

The influence of restrictions on the calculated strength of cylindrical transmission line supports

Abstract. A numerical experiment was carried out to study the effect of restrictions on the width of crack opening and extreme deformations on the calculated strength of cylindrical supports. The analysis of the influence on the calculated strength of the racks, the limitations of the maximum crack opening width and the maximum deflections was performed, at that the calculated strength of the racks was estimated in a numerical experiment at different ratios of moments from vertical loads to the total value of the moment. The results of the studies showed that the calculated strength of the racks according to the conditions of the maximum width of the crack opening and the maximum deflection increases with an increase in the total reinforcement coefficient and the content of the stressed reinforcement. At the same time, the calculated strength under the condition of the maximum width of crack opening exceeds the strength under the condition of deformability. The analysis of the influence of the ratio between the areas of the stressed and total reinforcement on crack resistance and deformability was also carried out. The results of the studies showed that the moment of crack formation increases non-linearly with an increase in the content of the stressed reinforcement, tot and the total reinforcement coefficient, and the crack opening width from the ratio, close to linear. The reinforcement coefficient does not affect the nature of these dependencies. An increase in the fraction of the moment from vertical loads leads to a significant increase in the crack opening width. The ratio has the greatest influence on the deflections of cylindrical racks. The dependence of deflections, tot for all types of racks is nonlinear. At the same time, the total reinforcement coefficient practically does not affect the form of the function.

Keywords: reinforced concrete structures; circular section; cylindrical support; prestressing; design strength; deformability; crack resistance