

УДК 691.32

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\(36\)-99-117](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-99-117)

EDN: QGGLNM

# ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ СТОЕК ОПОР ЛЭП С АРМАТУРОЙ КЛАССА АУ1000П

Г.И. ТИХОНОВ<sup>1</sup>✉

В.П. БЛАЖКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук

И.Н. ТИХОНОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук

Л.И. КАЧАНОВСКАЯ<sup>2</sup>, канд. техн. наук

С.П. КАСАТКИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup> Научно-исследовательская лаборатория конструкций электросетевого строительства ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест», Невский проспект, д. 111/3, Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

## Аннотация

**Введение.** В связи с достигнутыми к настоящему времени объемами электрификации в Центральной России потребность в строительстве новых линий электропередачи значительно уменьшилась. В то же время естественные потери опор ЛЭП во времени, а также перспективы освоения просторов северных, сибирских и дальневосточных районов из-за переориентации экономических связей России с Запада на Восток делают актуальными задачи по увеличению объемов производства и повышению технико-экономической эффективности использования центрифугированных стоек из железобетона для опор ЛЭП.

**Цель работы:** внедрение в производство железобетонных центрифугированных стоек высокопрочной арматуры с инновационным видом профиля путем замены применяемой арматуры класса А800 на арматуру класса АУ1000П с четырехрядным профилем.

**Материалы и методы.** В статье приведены данные по натурным испытаниям центрифугированных конических стоек опор ЛЭП по ГОСТ 22687.1-85 «Стойки цилиндрические железобетонные центрифугированные для опор высоковольтных линий электропередачи. Конструкция и размеры». Изготовлены и испытаны три образца стоек длиной 26 м. Один образец с армированием по ГОСТ 22687.1-85 с предварительно напряженной арматурой класса А800; в двух других опытных образцах использовалась предварительно напряженная арматура с четырехрядным профилем класса АУ1000П. Во втором образце схема армирования (диаметры и количество стержней) повторяет типовой вариант, увеличивая несущую способность стойки. Третий образец, имеющий такую же несущую способность, как стойка по ГОСТ, позволил существенно сократить количество ненапрягаемой арматуры.

**Результаты.** Разработана новая схема армирования образца стойки с использованием арматуры АУ1000П. Представлены результаты испытаний опытных образцов, дана сравнительная оценка прочностных и деформационных характеристик стоек, приведены технико-экономические показатели, даны рекомендации по армированию предварительно напряженных центрифугированных стоек арматурой класса АУ1000П.

**Выводы.** По результатам выполненной работы установлен экономический эффект, выражаемый в сокращении армирования за счет ненапрягаемой арматуры на 28%. Стойки с предварительно напрягаемой арматурой класса АУ1000П обладают повышенной коррозионной стойкостью и долговечностью в результате закрытия трещин, образующихся в процессе воздействия кратковременных динамических нагрузок от порывов ветра, обрывов проводов и др. В качестве рекомендации предлагается выполнить

актуализацию ГОСТ 22687.1-85 с целью применения новых видов высокопрочного арматурного проката и более высокой прочности бетона.

**Ключевые слова:** стойки центрифугированные конические, натурные испытания, прочностные и деформационные свойства, технология изготовления, технико-экономические показатели

**Для цитирования:** Тихонов Г.И., Блажко В.П., Тихонов И.Н., Качановская Л.И., Касаткин С.П. Исследования железобетонных центрифугированных стоек опор ЛЭП с арматурой класса А<sub>у</sub>1000П. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2023;36(1):99–117. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\(36\)-99-117](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-99-117)

#### **Вклад авторов**

Тихонов Г. И. – участие в испытаниях, участие в написании статьи.

Блажко В. П. – участие в разработке плана испытаний, участие в испытаниях, участие в написании статьи.

Тихонов И. Н. – участие в разработке плана испытаний, участие в испытаниях, участие в написании статьи.

Качановская Л. И. – постановка задачи оптимизации затрат на изготовление стойки по ГОСТ 22687.1–85, участие в написании статьи.

Касаткин С. П. – проведение расчетов армирования стойки с новым типом арматуры, разработка чертежей опытных образцов стоек, участие в испытаниях.

#### **Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 18.01.2023*

*Поступила после рецензирования 10.02.2023*

*Принята к публикации 14.02.2023*

## **STUDIES OF SPUN CONCRETE POLES FOR ELECTRIC POWER TRANSMISSION LINE SUPPORTS REINFORCED WITH AU1000P REBARS**

G.I. TIKHONOV<sup>1</sup>,✉

V.P. BLAZHKO<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

I.N. TIKHONOV<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engineering)

L.I. KACHANOVSKAYA<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Engineering)

S.P. KASATKIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>2</sup>Research Laboratory of Electric Power Line Structures, LLC “PO “Energozhelezobetoninvest”, Nevsky Prospekt, 111/3, St. Petersburg, 191036, Russian Federation

#### **Abstract**

*Introduction.* In connection with the present volumes of electrification in central Russia, the need for the construction of new electric power transmission lines (EPTLs) has decreased considerably. At the same time, the natural degradation of EPTL supports in time, as well as the prospects for developing the vast expanses of the northern, Siberian and Far Eastern regions, caused by the reorientation of Russia's economic relations from the West to the East, make it urgent to increase production volumes and technical and economic efficiency of using spun reinforced concrete poles for EPTL supports.

*Aim.* Industrial implementation of spun reinforced concrete poles with the high-strength innovation profile reinforcement by replacing A800 rebars with four-row-profile Au1000P rebars.

*Materials and methods.* The article provides data on the full-scale tests of spun reinforced concrete poles for EPTL supports according to the GOST 22687.1-85 "Centrifugal cylinder reinforced concrete posts for high-voltage transmission lines. Structure and dimensions" [1]. Three pole samples with a length of 26 m were prepared and tested. One sample consisted of prestressed A800 rebars according to GOST 22687.1-85, while the other two prototypes include the prestressed Au1000P rebars with the four-row profile. In the second sample, the reinforcement scheme (diameters and rebar quantity) repeats the standard option, increasing the bearing capacity of the pole. Having the same bearing capacity as the pole, manufactured according to the GOST, the third sample promoted for the reduction in the quantity of non-stressed rebars.

*Results.* A new scheme for reinforcing the pole sample using Au1000P rebars was developed. The results of the sample testing are presented; a comparative evaluation of the pole strength and deformation characteristics is given; technical and economic indicators, as well as the recommendations regarding the reinforcement of the prestressed spun concrete poles with Au1000P rebars are provided.

*Conclusion.* According to the results of the performed study, an economic effect was established due to a reduction in the quantity of non-stressed rebars by 28 %. Poles with Au1000P prestressed rebars have an increased corrosion resistance and durability due to the closing of cracks formed during the impact of short-term dynamic loads from wind gusts, wire breaks, etc. In terms of a recommendation, it is proposed to update the GOST 22687.1-85 in order to use new types of high-strength reinforcement rolled products and higher strength concrete.

**Keywords:** spun concrete pole, full-scale tests, strength and deformation properties, manufacturing technology, technical and economic indicators

**For citation:** Tikhonov G.I., Blazhko V.P., Tikhonov I.N., Kachanovskaya L.I., Kasatkin S.P. Studies of spun concrete poles for electric power transmission line supports reinforced with Au1000P rebars. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;36(1):99–117. [In Russ.]. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1\(36\)-99-117](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-99-117)

#### **Author contribution statements**

Tikhonov G.I. – testing, article writing.

Blazhko V.P. – development of a test plan, testing, article writing.

Tikhonov I.N. – development of a test plan, testing, article writing.

Kachanovskaya L.I. – statement of the task for optimizing the production cost of a GOST 22687.1-85 pole, article writing.

Kasatkin S.P. – calculation of the pole reinforcement with a new rebar type, development of pole prototype drawings, testing.

#### **Funding**

No funding support was obtained for the research.

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 18.01.2023*

*Revised 10.02.2023*

*Accepted 14.02.2023*

Высоковольтные линии электропередачи – это необходимый элемент для поставки электроэнергии от производителя до потребителя. В 70-е годы прошлого столетия темпы ввода новых ЛЭП в СССР достигали 35 тыс. километров в год. Примерно половина всех опор изготавливалась из железобетона.

В связи с достигнутыми к настоящему времени объемами электрификации в Центральной России потребность в строительстве новых ЛЭП значительно сократилась. В то же время естественные потери стоек ЛЭП во времени, а также перспективы освоения просторов северных, сибирских и дальневосточных районов из-за переориентации экономических связей России с Запада на Восток делают актуальными задачи по увеличению объемов производства и повышению технико-экономической эффективности использования центрифугированных железобетонных стоек для высоковольтных опор линий электропередачи.

Разработка и освоение производства секционированных железобетонных предварительно напряженных центрифугированных стоек для опор ЛЭП длиной до 26 м открыла новые перспективы для их широкомасштабного внедрения.

Основным фактором, обеспечивающим надежность и долговечность предварительно напряженного железобетона, а также снижение его себестоимости, является использование высокопрочных бетона и арматуры.

В данной статье дается оценка эффективности использования высокопрочной арматуры класса А<sub>у</sub>1000П с новым эффективным четырехрядным профилем взамен используемой в настоящее время арматуры класса А800 для изготовления длинномерных центрифугированных предварительно напряженных стоек.

Железобетонные опоры (рис. 1) выпускаются с использованием технологии центрифугирования стоек. Широкое применение получили цилиндрические и конические стойки. Эксплуатируются такие опоры уже более 60 лет. В настоящее время в различных природных условиях эксплуатации находится несколько десятков тысяч таких опор. Их основные преимущества:

- простота монтажа (стойка опоры устанавливается в пробуренный котлован);
- стоимость изготовления и монтажа железобетонных опор в 2 раза ниже стоимости стальных конструкций;
- стоимость строительства высоковольтных линий электропередач (ВЛ) с применением железобетонных опор в среднем на 30 % ниже стоимости строительства ВЛ с применением стальных решетчатых и многогранных опор.

В то же время имеются и недостатки, выявленные в процессе эксплуатации:

- необходимость применения спецтранспорта для стоек длиной 20, 22,6 и 26 м;
- сокращение долговечности конструкций от коррозии арматуры, связанное с нарушением технологии изготовления стоек. Вытекание цементного молочка сквозь продольные швы неотрегулированной опалубки при центрифугировании может привести в эксплуатации к образованию длинных продольных трещин с глубиной, превышающей толщину защитного слоя бетона. Кроме того, поперечные трещины, образующиеся в процессе воздействия эксплуатационных кратковременных нагрузок, могут не закрываться после их прекращения.

Эти трещины начинаются от основания опор и доходят до середины. Трещины в бетоне подземной части стоек встречаются редко и вглубь грунта более 0,5 м практически не распространяются. На сельскохозяйственных полях в результате действия на стойки воды с химикатами, применяемыми в сельском хозяйстве, происходит шелушение и осыпание бетона, его выщелачивание. Из-за наличия трещин происходит интенсивная коррозия арматуры.

В настоящее время в ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» научно-исследовательской лабораторией конструкций электросетевого строительства (НИЛКЭС) разработано новое поколение железобетонных опор из секционированных стоек. Серия новых опор спроектирована в соответствии с современными нормами, что позволило избежать известных недостатков:

– разработан соединительный узел, позволяющий после изготовления цельных стоек с напрягаемой арматурой разделить их на части для решения проблемы транспортировки и складирования. Секции стоек длиной до 13 м обладают повышенной жесткостью;

– использована канатная арматура и бетон повышенной прочности для соответствия требованиям норм по трещиностойкости.

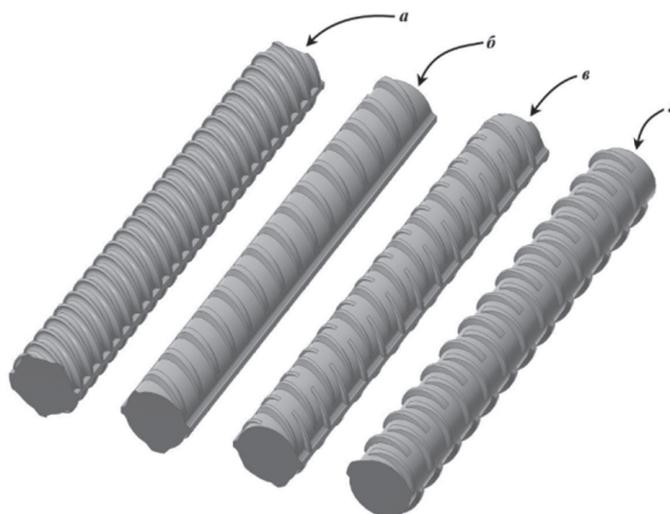
На данный момент при изготовлении предварительно напряженных центрифугированных стоек опор применяют арматуру с кольцевым и серповидным периодическим профилем, в основном класса А800. Арматура с кольцевым периодическим профилем имеет высокий критерий Рема ( $f_R > 0,1$ ), вследствие чего у него хорошие показатели по сцеплению с бетоном. В то же время у данного вида профиля наблюдается крайне высокая распорность (рис. 2а), приводящая к чрезмерному трещинообразованию и раскалыванию окружающего бетона при спуске натяжения арматуры на бетон. У арматуры с серповидным профилем (рис. 2б, в) низкий критерий Рема ( $f_R > 0,056$ ), а следовательно, низкая прочность сцепления с бетоном, приводящая также к про-

скалыванию арматуры при спуске предварительного натяжения. Эти конструктивные особенности обоих видов профилей затрудняют использование арматуры более высокого класса, чем А800 при производстве центрифугированных опор. Исследования арматуры с четырехрядным серповидным профилем Аy1000П (рис. 2г) показали ее низкую распорность и высокую прочность сцепления в бетоне за счет распределения распорных усилий от поперечных ребер по нескольким направлениям и высокого критерия Рема ( $f_R > 0,075$ ) [1–4], что позволяет снизить вероятность проскальзывания арматуры от распорных усилий и низкой прочности сцепления профиля при спуске натяжения арматуры на бетон. Винтовая двухзаходная резьба, возможность образования которой предусмотрена данным профилем, позволяет использовать эффективные муфтовые соединения без сварки и производить соединения как самой арматуры, так и секционных опор при помощи муфт и гаек, а также осуществлять анкерровку предварительно напряженной арматуры при ее практическом использовании.

Использование нового типа арматуры позволит повысить качество предварительно напряженных центрифугированных опор на стадии изготовления и увеличить срок их эксплуатации. Кроме того, минусовые допуски при производстве арматуры Аy1000П помогут экономить до 3 % процентов от массы стали. Отсутствие продольных ребер уберет концентраторы напряжений, негативно влияющие на выносливость арматуры, что позволит ее использовать для опор, находящихся в зоне сильных ветровых нагрузок. Винтовая резьба



Рис. 1. Опора из центрифугированных секционированных стоек  
Fig. 1. Support with spun sectioned concrete poles



**Рис. 2.** Общий вид арматурных стержней с различными видами периодического профиля: *а* – с кольцевым профилем; *б* – с двухсторонним серповидным профилем; *в* – с многорядным серповидным профилем (А500СП); *г* – с четырехрядным винтовым профилем (Ау500СП, Ав500П, Ау1000П, Ав1000П)

**Fig. 2.** General view of deformed rebar with various profile types: *a* – circular profile; *b* – double-sided crescent-shaped profile; *v* – multi-row crescent-shaped profile (A500SP); *r* – four-row screw profile (Au500SP, Av500P, Au1000P, Av1000P)

откроет возможность для стыковки арматуры без применения сварки. Станет доступным применение дешевых видов арматуры из низколегированных сталей вместо дорогостоящих горячекатаных, а также замена дорогостоящих и трудоемких сварочных соединений на резьбовые муфтовые соединения [1–4].

За эталонный образец при проведении исследований и контрольных испытаний была принята стойка СК 26.1–1.1. Характеристики материалов стойки СК 26.1–1.1 по ГОСТ 22687.1-85 [5] представлены в табл. 1, 2, опытных стоек с измененным армированием – в табл. 3, 4. Армирование и сечение стойки по ГОСТ 22687.1-85 представлены на рис. 3 и 4 [5].

Таблица 1

**Характеристики материалов стойки**

Table 1

**Pole material characteristics**

Обозначение стойки	Расстояние от наружной поверхности стойки до оси арматуры, мм	Расход материалов								Контролируемое натяжение, тс
		Арматура продольная				Спираль		Монтажные кольца		
		Напрягаемая		Ненапрягаемая		Сортамент	Масса, кг	Сортамент	Масса, кг	
		Сортамент	Масса, кг	Сортамент	Масса, кг					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СК 26.1–1.1*	24	Ø12 A800	277,0	Ø12 A800	136,0	Ø4 B1	58,4	Ø8 A240	25,7	97,68

\*Стойка коническая, длиной 26 м, сечение 1, первая несущая способность, напрягаемая арматура класса А800. Класс бетона В40. Предельный момент по прочности – 47,12 тм, максимальный прогиб по ГОСТ – 108 см, ширина раскрытия трещин – 0,16 мм. Предельный момент по образованию трещин 13,34 тм. Масса изделия 6821 кг



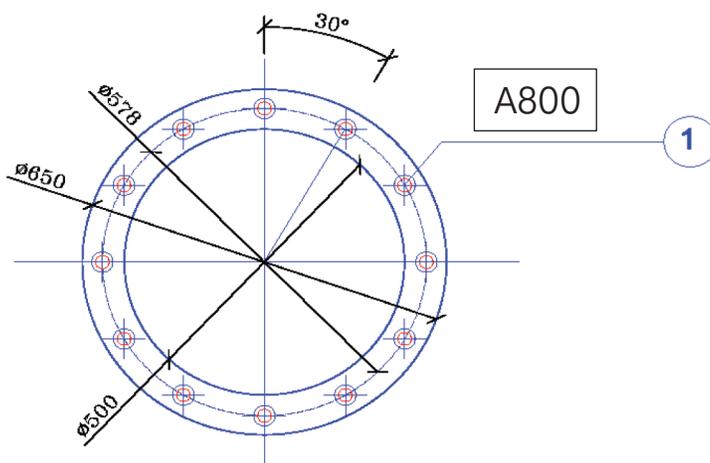


Рис. 4. Нижнее сечение стойки СК 26.1-1.1  
 Fig. 4. SK 26.1-1.1 pole lower cross-section

Таблица 2

**Арматура по ГОСТ 22687.1-85 (СК1)**

Table 2

**Reinforcement according to GOST 22687.1-85 (SK1)**

Обозначение стойки	Номер позиции	Диаметр, мм	Длина, мм	Количество позиций	Примечания
СК1 (СК 26.1.1-1.1)	1	Ø12 А800	26000	12	Напрягаемая арматура
	2	Ø12 А800	25980	2	
	3	Ø12 А800	16400	1	Ненапрягаемая арматура
	4	Ø12 А800	14500	3	
	5	Ø12 А800	12600	3	
	6	Ø12 А800	10500	3	

Таблица 3

**Замена арматуры с Ø12 А800 на Ø12 Ау1000П (СК2)**

Table 3

**Replacement of Ø12 А800 rebars to Ø12 Ау1000P rebars (SK2)**

Обозначение стойки	Номер позиции	Диаметр, мм	Длина, мм	Количество позиций	Примечание
СК2 (СК 26.1.1-1.1*)	1	Ø12 Ау1000П	26000	12	Напрягаемая арматура
	2	Ø12 Ау1000П	25980	2	
	3	Ø12 Ау1000П	16400	1	Ненапрягаемая арматура
	4	Ø12 Ау1000П	14500	3	
	5	Ø12 Ау1000П	12600	3	
	6	Ø12 Ау1000П	10500	3	

Таблица 4

**Замена арматуры с Ø12 А800 на Ø12 Аy1000П с уменьшением количества ненапрягаемой арматуры (СКЗ)**

Table 4

**Replacement of Ø12 А800 rebars to Ø12 Аy1000P rebars (SK3) with a decrease in the quantity of non-stressed rebars**

Обозначение стойки	Номер позиции	Диаметр, мм	Длина, мм	Количество позиций	Примечание
СКЗ	1	Ø12 Аy1000П	26000	12	Напрягаемая арматура
	2	Ø12 Аy1000П	25980	2	Ненапрягаемая арматура

### Проведение испытаний

Изготовление и испытания опытных образцов стоек проводились в пос. Каменники Ярославской области на заводе РЭЖБ (Рыбинскэнергожелезобетон). Образцы подвергались термической обработке. Образцы СК1 и СК2 изготовлены из одного замеса бетона для получения достоверных сравнительных характеристик конструкций (табл. 5). Армирование образцов выполнено в соответствии с разработанными в лаборатории НИЛКЭС чертежами.

Средняя прочность вибрированного бетона по контрольным образцам на день распалубки 59,5 МПа, это примерно соответствует классу бетона В50.

Повышенный по сравнению с принятым в ГОСТ 22687.1-85 класс бетона принят для оценки возможности снижения расхода стали в случае применения высокопрочной арматуры Аy1000П и в дальнейшем оптимизации армирования с учетом возможности повышения усилий предварительного натяжения. Для испытания стоек завод оснащен специальным стендом. Стойка закрепляется на стенде в горизонтальном положении и фиксируется в устоях. Под средней частью стойки устанавливается подвижная опора. Испытания выполнены на следующем оборудовании:

- лебедка грузовая 8 т;
- динамометр пружинный общего назначения 9016 ДПУ-УХЛ-2 модификация 9016 ДПУ-100-2.

Нагружение осуществлялось поэтапно статической нагрузкой. Этапы в долях от полной расчетной нагрузки 20, 40, 60, 83,3 % (нормативная); 100 % (расчетная); 110, 120, 130, 140 %. На каждом этапе нагружения измерялись прогибы в контрольных точках, а также фиксировался момент образования трещин и ширина их раскрытия. Выдержка на каждом этапе составляла 10 мин. После доведения нагрузки до 100 % от расчетной производилась полная разгрузка образцов, после чего фиксировались остаточные деформации стоек и остаточная ширина раскрытия трещин. Далее производилось нагружение образцов до нагрузки, равной 100 % от расчетной за один этап, после чего нагрузка увеличивалась на 10 % на каждом этапе до контрольных значений, равных 140 % от расчетной и далее, вплоть до разрушения образца либо до исчерпания технических возможностей стенда по перемещениям конца стойки.

Перед испытаниями образцов были осмотрены их торцевые части на предмет наличия в них трещин, которые возникают при снятии натяжения арматуры. На рис. 5 и 6 показаны

торцы СК2. Как видно из фото, торцы имеют весьма неровную поверхность, трещины на торцах не обнаружены. Следует отметить, что как нижний, так и верхний торцы стоек находятся в зонах, где силовые факторы (изгибающие моменты, продольные усилия) имеют малые значения, поэтому наличие трещин (если бы таковые были обнаружены) не ухудшит эксплуатационные характеристики стоек.

На рис. 7–10 приведены фотографии, иллюстрирующие процесс испытания стоек.



**Рис. 5.** Верхний торец стойки  
**Fig. 5.** Pole upper end



**Рис. 6.** Нижний торец стойки  
**Fig. 6.** Pole bottom end



**Рис. 7.** Общий вид образца на стенде  
**Fig. 7.** General view of the sample in the test bench



**Рис. 8.** Фрагменты элементов стенда: устой  
**Fig. 8.** Fragments of test bench elements: abutment



**Рис. 9.** Фрагменты элементов стенда: подвижная опора  
**Fig. 9.** Fragments of test bench elements: movable support



**Рис. 10.** Фрагмент стенда в месте приложения нагрузки  
**Fig. 10.** Fragment of the test bench in the place of the load application

## Выводы по испытаниям стоек СК1 и СК2

Стойка СК1 выдержала испытания по ширине раскрытия трещин, прогибам и прочности. После разгрузки величина раскрытия всех трещин не превысила допускаемые нормами 0,02 мм.

Стойка СК2 выдержала испытания по ширине раскрытия трещин, прогибам и прочности. После разгрузки все трещины закрылись, кроме одной с шириной раскрытия 0,01 мм.

Податливость стойки СК2 немного больше податливости стойки СК1. Остаточные деформации стойки СК2 также больше, чем остаточные деформации стойки СК1. Последнее связано с площадью сечения арматуры класса Аy1000П, которая прокатывается с минусовым допуском.

Установлено, что процент полного закрытия трещин стойки СК2 выше, чем у стойки СК1, что в целом увеличивает коррозионную стойкость арматуры и увеличивает долговечность эксплуатации изделия.

## Выводы по испытаниям стойки СК3

Стойка СК3 (рис. 11–14) выдержала испытания по ширине раскрытия трещин, прогибам и прочности. После разгрузки все трещины закрылись.

Податливость стойки СК3 меньше податливости стойки СК1 вследствие большего усилия предварительного натяжения арматуры.

Закрытие трещин увеличивает коррозионную стойкость арматуры и долговечность эксплуатации изделия. В СК3 увеличено предварительное натяжение до 119,5 тс, на 19% по сравнению с СК1 и СК2. Это стало возможным из-за применения инновационной арматуры класса Аy1000П более высокой прочности с четырехрядным профилем низкой распорности, а также принятому классу бетона: В50 вместо В40 по ГОСТ 22687.1-85.

Стойка СК3 армирована Ø12 Аy1000П напрягаемой арматуры, общий вес 277 кг, и ненапрягаемой арматурой 2Ø12 Аy1000П, весом 18 кг. Стойка СК1 армирована Ø12 А800 напрягаемой арматуры, общий вес 277 кг, и ненапрягаемой арматурой 15Ø12 А800, вес 136 кг. Таким образом, замена арматуры А800 на арматуру Аy1000П с одновременным повышением класса бетона с В40 до В50 дает экономию стали 28%. Оценка экономической эффективности конструкции СК3 по основным материалам без учета закладных деталей и трудозатрат дана в табл. 5.

Таблица 5

### Стоимость изделий, экономия на образце СК3

Table 5

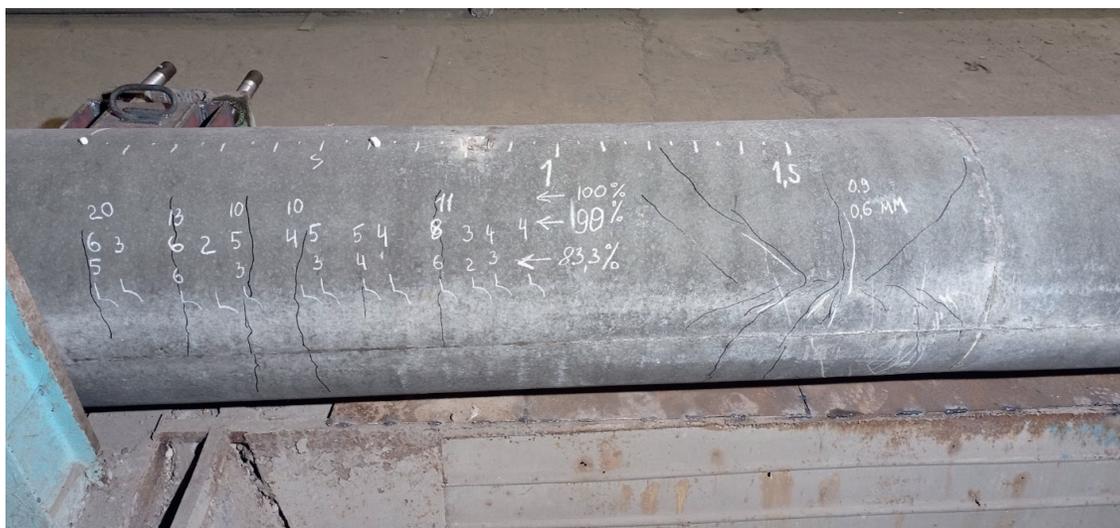
#### Product cost and savings for the SK3 sample

Наименования	Марка	Стоимость единицы	Расход на изделие	Общая стоимость	Примечания
Бетон СК1	В40	4400 руб./м <sup>3</sup>	2,7 м <sup>3</sup>	11880 руб.	11880–12150 = 270 руб.
Бетон СК3	В50	4500 руб./м <sup>3</sup>	2,7 м <sup>3</sup>	12150 руб.	
Арматура СК1	А800	42800 руб./т	0,413 т	17676 руб.	17676–13275 = 4401 руб.
Арматура СК3	Аy1000П	45000 руб./т	0,295 т	13275 руб.	

Стоимость СК1 11880+17676 = 29556 руб.

Стоимость СК3 12150+13275 = 25425 руб.

Экономия на изделии 4131 руб.



**Рис. 11.** Фрагмент стойки СКЗ у заделки. Схема раскрытия трещин  
**Fig. 11.** Fragment of the SK3 pole near the embedding. Crack opening diagram



**Рис. 12.** Схема излома стойки СКЗ со стороны растянутой зоны  
**Fig. 12.** Diagram of the SK3 pole fracture on the side of the tensile zone



**Рис. 13.** Фрагмент стойки в сжатой зоне разрушения бетона  
**Fig. 13.** Fragment of the pole in the compressed zone of the concrete destruction



**Рис. 14.** Стойка в деформированном состоянии перед разрушением  
**Fig. 14.** Deformed pole prior the destruction

## Сравнение результатов испытаний СК1, СК2, СК3

В табл. 6 для сравнения приведены результаты испытаний СК1, СК2, СК3.

Таблица 6

### Сравнительная таблица результатов испытаний СК1, СК2, СК3

Table 6

#### Comparison of the SK1, SK2 and SK3 test results

Показатели	СК1	СК2	СК3	Примечания
Момент трещинообразования (тм)	39,0	30,61	36.1	
Ширина раскрытия трещин при нагрузке 83,3% (нормативная нагрузка) мм. Среднее значение	0,0646	0,0627	0,040	
Ширина раскрытия трещин при нагрузке 83,3% (нормативная нагрузка) мм. Максимальное допустимое значение	0,104	0,110	0,108	
Остаточная ширина раскрытия трещин после разгрузки (мм)	0,02	0,02	0	
Перемещение конца стойки при нагрузке 83,3% (нормативная нагрузка), мм	570	690	460	
Остаточная деформации после разгрузки стойки (мм)	50	75	45	
Контрольная нагрузка (тс), 140%	3,65	3,78	3,01	СК1, СК2, СК3 на- грузку выдержали
Усилие разрушения (тс)	Не достигнуто	Не достигнуто		Разрушение СК3
Усилие предварительного натяжения (тс)	94,8	97,3	119,5	
Стоимость СК1 по основным материалам				29566 руб.
Стоимость СК3 по основным материалам				25425 руб.

## Заключение

Сравнение результатов испытаний стоек СК1, СК2 и СК3 позволяет сделать следующие выводы:

1. Податливость стойки СК2 немного больше податливости стойки СК1. Остаточные деформации стойки СК2 также больше, чем остаточные деформации стойки СК1.
2. Установлено, что процент полного закрытия трещин стойки СК2 выше, чем у стойки СК1, что в целом увеличивает коррозионную стойкость арматуры и увеличивает долговечность эксплуатации изделия.
3. В целом прочностные и деформационные показатели стоек СК1 и СК2 близки друг к другу.
4. Что касается стойки СК3, то ее податливость меньше податливости стойки СК1 в силу большей величины усилия предварительного натяжения арматуры, что увеличивает коррозионную стойкость арматуры и увеличивает долговечность эксплуатации изделия.
5. В стойке СК3 увеличена величина предварительного натяжения до 119,5 тс, что на 19% больше по сравнению с СК1 и СК2. Это стало возможным из-за применения высокопрочной арматуры класса Аu1000П с четырехрядным профилем и принятому классу бетона В50 вместо В40 по ГОСТ 22687.1-85.

6. Стойка СК3 армирована Ø12 Аy1000П напрягаемой арматуры, общий вес 277 кг, и 2Ø12 Аy1000П ненапрягаемой арматурой, вес 18 кг. Стойка СК1, армирована Ø12 Аy1000П напрягаемой арматуры, общий вес 277 кг, и ненапрягаемой арматурой 15Ø12 Аy1000П, вес 136 кг. Таким образом, замена арматуры А800 на арматуру Аy1000П с одновременным повышением класса бетона с В40 до В50 дает экономию стали продольной арматуры 28%.

7. Из рассмотрения полученных результатов следует, что применение инновационной арматуры класса Аy1000П совместно с повышением класса бетона приводит к увеличению срока службы изделий за счет закрытия микротрещин при эксплуатации, а также дает экономию ненапрягаемой арматуры 28% по сравнению с тестовым образцом стойки СК1 по ГОСТ 22687.1-85.

8. Стоимость образцов по основным материалам (за исключением закладных, поперечной арматуры) для СК1 составляет 29 566 руб., для СК3 – 25 425 руб., экономия составляет 4131 руб. (ценовые показатели по стоимости материалов приняты осредненными по региону Московская область).

## **Рекомендации по армированию предварительно напряженных центрифугированных опор на стадии изготовления и эксплуатации**

Выполненные в рамках экспериментальных исследований результаты испытаний стоек конических центрифугированных предварительно напряженных дают основания рекомендовать для дальнейшего производства следующие основные технические характеристики стоек марки СК 26.1–1.1:

- применять класс бетона В50;
- усилие предварительного натяжения принять по величине 119 тс;
- в качестве напрягаемой применить арматуру класса Аy1000П в количестве 12 шт.;
- в качестве ненапрягаемой принять арматуру класса Аy1000П в количестве 2 шт. Эти стержни служат для организации заземления стоек.

Для стоек других марок по ГОСТ 22687.1-85 армирование принять по расчетам с применением ПК «Программа для расчета центрифугированных железобетонных стоек, версия 1.0». Указанная программа является разработкой ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест» и имеет сертификат соответствия № 1814198.

Полученные в результате эксперимента данные по прочностным и деформационным характеристикам конических стоек марки СК 26.1–1.1 ГОСТ 22687.1-85 позволяют поставить вопрос о целесообразности корректировки ГОСТ 22687.1-85 в части применения арматуры Аy1000П и повышения класса бетона до В50–В60, что позволит получить экономию арматурного проката, а также увеличить срок эксплуатации стоек за счет уменьшения величины раскрытия трещин в процессе эксплуатации изделий.

## Список литературы

1. Тихонов И.Н., Блажко В.П., Тихонов Г.И., Казарян В.А., Краковский М.В., Цыба О.О. Инновационные решения для эффективного армирования железобетонных конструкций. Жилищное строительство. 2018;(8):5–10.
2. Тихонов И.Н., Копылов И.В. Эффективность производства и применения арматурного проката с новыми видами периодического профиля. Строительные материалы. 2021;(12):35–47. <https://doi.org/10.31659/0585-430x-2021-798-12-35-47>
3. Fédération internationale du béton. Bond of reinforcement in concrete. State-of-art report. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete; 2000.
4. Mayer U. Zum Einfluss der Oberflächengestalt von Ripptstählen auf das Trag – und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen [dissertation on the internet]. Universität Stuttgart; 2002. Available at: <https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/171>
5. НИИЖБ. ГОСТ 22687.1-85. Стойки цилиндрические железобетонные центрифугированные для опор высоковольтных линий электропередачи. Конструкция и размеры. Москва: Стройиздат; 1986.

## References

1. Tikhonov I.N., Blazhko V.P., Tikhonov G.I., Kazaryan V.A., Krakovsky M.V., Tsyba O.O. Innovative solutions for effective reinforcement of reinforced concrete structures. Zhilishchnoe Stroitel'stvo = Housing construction. 2018;(8):5–10 (in Russian).
2. Tikhonov I.N., Kopylov I.V. Efficiency of production and application of rebar rolled products with new types of periodic profile. Stroitel'nye Materialy = Construction materials. 2021;(12):35–47 (in Russian). <https://doi.org/10.31659/0585-430x-2021-798-12-35-47>
3. Fédération internationale du béton. Bond of reinforcement in concrete. State-of-art report. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete; 2000.
4. Mayer U. Zum Einfluss der Oberflächengestalt von Ripptstählen auf das Trag – und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen [dissertation on the internet]. Universität Stuttgart; 2002. Available at: <https://elib.uni-stuttgart.de/handle/11682/171> (in German).
5. Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB). State Standard 22687.1-85. Cylindrical reinforced concrete centrifuged racks for supports of high-voltage power transmission lines. Design and dimensions. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1986 (in Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Георгий Игоревич Тихонов**<sup>✉</sup>, инженер-конструктор центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: [dwarwe1993@mail.ru](mailto:dwarwe1993@mail.ru)

**Georgii I. Tikhonov**<sup>✉</sup>, Design Engineer, Center No. 21, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: [dwarwe1993@mail.ru](mailto:dwarwe1993@mail.ru)

**Владимир Павлович Блажко**, канд. техн. наук, заместитель руководителя центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: [ihias46@mail.ru](mailto:ihias46@mail.ru)

**Vladimir P. Blazhko**, Cand. Sci. (Engineering), Deputy Chief, Center No. 21, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: [ihias46@mail.ru](mailto:ihias46@mail.ru)

**Игорь Николаевич Тихонов**, д-р техн. наук, руководитель центра № 21 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: [nijhb\\_tikhonov@mail.ru](mailto:nijhb_tikhonov@mail.ru)

**Igor N. Tikhonov**, Dr. Sci. (Engineering), Center Head, Center No. 21, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: niijhb\_tikhonov@mail.ru

**Любовь Игоревна Качановская**, канд. техн. наук, заведующая лабораторией НИЛКЭС ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест», г. Санкт-Петербург  
e-mail: l.i.kachanovskaya@nilkes.ru

**Lubov' I. Kachanovskaya**, Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Research Laboratory of Electric Power Line Structures, LLC "PO "Energozhelezobetoninvest", Saint Petersburg  
e-mail: l.i.kachanovskaya@nilkes.ru

**Сергей Петрович Касаткин**, начальник сектора НИЛКЭС ООО «ПО «Энергожелезобетонинвест», г. Санкт-Петербург  
e-mail: s.p.kasatkin@nilkes.ru

**Sergei P. Kasatkin**, Sectoral Chief, Research Laboratory of Electric Power Line Structures, LLC "PO "Energozhelezobetoninvest", Saint Petersburg  
e-mail: s.p.kasatkin@nilkes.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author