



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2011, ТОМ 17, НОМЕР 3, 199–215

УДК 621.315

(11)-0246-1

## **ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТИЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ПРОВІДІВ ДЛЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ**

**Я. В. Назім**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

*E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Отримана 9 червня 20011; прийнята 24 червня 2011.*

**Анотація.** У статті розглянуті питання, що стосуються досліджень крутильної жорсткості проводів повітряних ліній електропередавання (ПЛ) в лабораторії випробувань будівельних конструкцій і споруд ДонНАБА. Для досягнення мети досліджень вивчені нові типи проводів для ПЛ, що застосовуються в світовій практиці, розроблений і сконструйований стенд для вивчення жорсткості на кручення проводів, виконані експериментальні дослідження і їх аналіз. Підтверджено, що жорсткість на кручення секторних ущільнених і компактних (АААС) проводів вище за крутильну жорсткість традиційних сталеволінійних проводів (АССР) навіть за умови порівняння за близькими значеннями діаметру проводу. За умови порівняння проводів за рівним струмовим навантаженням зазначена перевага сучасних типів проводів значно зростає. Результати роботи необхідні для подальших досліджень, пов'язаних з вивченням впливу закручування проводів на ожеледоутворення, і розробки заходів з метою забезпечення безаварійної роботи ПЛ при ожеледно-вітрових впливах.

**Ключові слова:** повітряні лінії електропередавання, провід, жорсткість на кручення, експериментальні дослідження.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ КРУТИЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ ПРОВОДОВ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**Я. В. Назим**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

*E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Получена 9 июня 2011; принята 24 июня 2011.*

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы, касающиеся исследований крутильной жесткости проводов воздушных линий электропередачи (ВЛ) в лаборатории испытаний строительных конструкций и сооружений ДонНАСА. Для достижения цели исследований изучены применяемые в мировой практике новые типы проводов для ВЛ, разработан и сконструирован стенд для изучения жесткости на кручение проводов, выполнены экспериментальные исследования и их анализ. Подтверждено, что жесткость на кручение секторных уплотненных и компактных проводов (АААС) выше крутильной жесткости традиционных сталеалюминевых проводов (АССР) даже при условии сравнения по близким значениям диаметра провода. При условии сравнения проводов по равной токовой нагрузке данное преимущество современных типов проводов значительно возрастает. Результаты работы необходимы для дальнейших исследований, связанных с изучением влияния закручивания проводов на гололедообразование, и разработки мероприятий с целью обеспечения безаварийной работы ВЛ при гололедно-ветровых воздействиях.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, провод, жесткость на кручение, экспериментальные исследования.

## RESEARCHES TORSIONAL RIGIDITY OF WIRES FOR ELECTRICITY TRANSMISSION AIR-LINES

**Nazim Yaroslav**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.*

*E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Received 9 June 2011; accepted 24 June 2011.*

**Abstract.** In article the questions concerning researches of torsional rigidity of wires of air-lines of electricity transmission (ET) in laboratory of tests of building strictures and constructions of DonNACEA are considered. To achieve the purpose of researches new types of wires applied in world practice for ET are studied, the stand for rigidity studying on torsion of wires is developed and designed; experimental researches and their analysis are made. It is confirmed that rigidity on torsion of the sector condensed and compact wires (AAAC) above torsion rigidity of traditional steel alluminium wires (ACSR) even under condition of comparison on close values of diameter of a wire. Under condition of comparison of wires on equal current loading, given priority of modern types of wires considerably increases. Results of work are necessary for the further researches concerning studying of influence of wires twisting on icing, and working out the actions for the purpose of maintenance of trouble-free operation of ET at icing-wind influences.

**Keywords:** electricity transmission air-lines, a wire, rigidity on torsion, experimental researches.

### Введение

Массовые аварии первого десятилетия XXI века в электрических сетях Украины обнаружили недостаточную надежность воздушных линий электропередачи (ВЛ). Это обусловлено тем, что наличие гололеда на проводах и тросах ВЛ в сочетании с сильным ветром приводит к резкому увеличению статических и динамических нагрузок на изношенный фонд электроэнергетики.

Применение в мировой практике проводов новых типов вызвало необходимость исследования их характеристик, и в первую очередь – проверку заявленных производителями проводов склонности их к противодействию гололедообразованию и снижению гололедно-ветровых нагрузок на ВЛ в целом.

Представленные в статье исследования выполнены в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры в рамках научно-технической работы «Сравнительный анализ путем проведения стендовых испытаний образ-

цов проводов разных марок с целью проверки возможности их противодействия гололедообразованию, установления их аэродинамических свойств и уточнения их механических характеристик» по заказу ГП УНИПИКТИ «Укрсельэнергопроект». В данной статье рассмотрены только вопросы, касающиеся исследований крутильной жесткости проводов.

### 1. Учет жесткости на кручение в работе проводов

Гололедные и гололедно-ветровые нагрузки относятся к переменным нагрузкам, являются эпизодическими и характеризуются предельным расчетным значением.

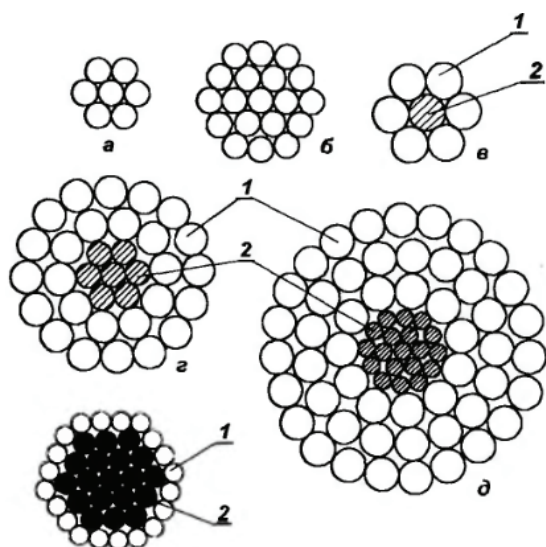
Из всех форм гололедно-изморозевых отложений (ГИО), свойственных для территории Украины (кристаллическая и зернистая изморозь, гололед, мокрый снег), наибольшую опасность для ВЛ представляют нагрузки от гололеда на проводах. Гололед – это слой матового или прозрачного стекловидного льда, образу-

ючогося во время быстрого изменения погоды из переохлаждающихся капель тумана или измороси или путем осаждения переохлаждающего дождя, плотностью от 0,5 до 0,9 г/см<sup>3</sup>.

В отечественной и зарубежной литературе описаны случаи, когда на проводах ВЛ образуются односторонние ГИО. Это обуславливает появление эксцентриситетов силы тяжести и силы действия ветра на провод ВЛ, покрытый гололедом. При гололедном воздействии наряду с увеличением статической вертикальной составляющей гололедной нагрузки и увеличением формы теневой поверхности, приводящей к возрастанию ветровой нагрузки, в некоторых случаях необходимо рассматривать изменение частотных свойств конструкций, связанное с изменением собственной массы. Изменение формы поперечного сечения провода может также вызвать явления аэродинамической неустойчивости.

Как правило, на ВЛ применяются провода типа АС, конструктивно состоящие из стального сердечника с навивкой нескольких слоев алюминиевой проволоки (рис. 1). Размеры стального сердечника в 1,5...3,0 раза меньше диаметра провода. Модуль сдвига для стали составляет  $G = 79,3 \cdot 10^6$  Па, а для алюминия  $G = 25,5 \cdot 10^6$  Па.

Расчетная схема провода при работе на кручение может быть представлена в следующем виде (рис. 2).



**Рисунок 1.** Конструкции проводов ВЛ: 1 — алюминиевые проволоки, 2 — стальные проволоки.

Жесткость провода на кручение  $GJ_p$  определяется как произведение полярного момента инерции на модуль сдвига материала, из которого он изготовлен. В том случае, когда момент не зависит от угла закручивания провода, угол закручивания определяется следующей зависимостью:

$$\varphi(x) = \int_0^x \frac{M(x)dx}{GJ_p},$$

где  $M(x) = M_A - mx$ .

$$\varphi(x) = \int_0^x \frac{(M_A - mx)dx}{GJ_p} = \frac{1}{GJ_p} \left( M_A x - \frac{mx^2}{2} \right);$$

$$M_A = M_B = \frac{ml}{2};$$

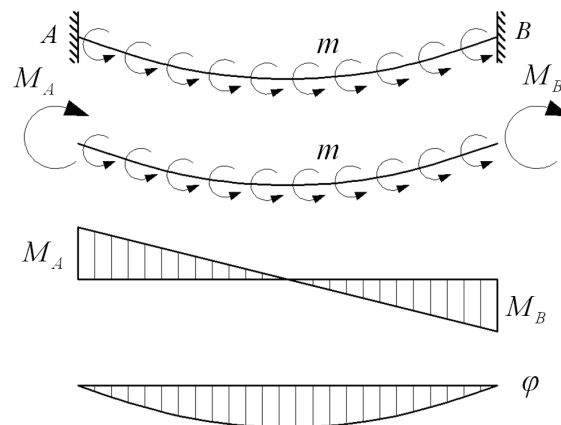
$$\varphi(x=0) = 0, \varphi(x=l) = 0,$$

$$\varphi(x = \frac{l}{2}) = \frac{1}{GJ_p} \frac{ml^2}{4} = \frac{1}{GJ_p} \frac{Ml}{4}.$$

Таким образом, жесткость провода на кручение:

$$GJ_p = \frac{1}{\varphi(x = \frac{l}{2})} \frac{Ml}{4}.$$

Конструкция проводов ВЛ обуславливает их невысокую жесткость на кручение. При этом длина провода в пролете приблизительно в  $10^4$



**Рисунок 2.** Расчетная схема провода при работе на кручение.

раз превышает его диаметр. Следовательно, крутильная жесткость, приходящаяся на единицу длины провода, является весьма незначительной. Несмотря на то, что провода ВЛ, как правило, крепятся к гирляндам изоляторов с помощью глухих зажимов, т. е. жестко, провод на значительной части пролета имеет возможность к закручиванию вокруг своей продольной оси даже при незначительных эксцентричных нагрузках.

Эксцентричная нагрузка, вызванная односторонним ГИО, в начале обледенения приводит к закручиванию провода вокруг своей оси (рис. 3). Абсолютный угол закручивания максимален в середине пролета, а на опоре равен нулю. Закручивание провода может происходить вплоть до образования ГИО цилиндрической формы. Если в таких условиях обледенение длится достаточно долго, размеры и вес ГИО значительно возрастают. На рис. 4 представлена форма ГИО в центре пролета и у опоры.

Для снижения влияния этого эффекта в мировой практике разработаны специальные грузы-ограничители закручивания проводов, но в Украине они практически не применяются. Кроме того, нормативная база определения гололедных и ветровых нагрузок на ВЛ построена на данных метеорологических станций, устройство гололедного станка которых существенно отличается от проводов ВЛ. На метеостанциях эталонный стержень диаметром 5 мм закреплен на гололедном станке жестко. Пос-

леднее обстоятельство не учитывается при определении характеристических гололедных нагрузок на провод.

Эквивалентная стенка гололеда на проводе диаметром  $d = 10$  мм и высоте  $h = 10$  м вычисляется по следующей формуле:

$$b_{10i} = 1,05 + 1,325 \cdot b_{2p}$$

которая учитывает изменение гололедной нагрузки, обусловленное диаметром и высотой расположения провода. В то же время увеличение наветренной площади провода, покрытого гололедом, вызванное закручиванием провода, существенно интенсифицирует гололедообразование на начальном этапе закручивания, что может оказывать существенно влияние на вес ГИО на проводах.

Данное обстоятельство обусловило необходимость выполнения стендовых испытаний образцов проводов разных марок с целью сравнительного анализа их крутильной жесткости.

## 2. Характеристика испытываемой продукции

### Основные характеристики проводов различных марок

Для испытаний приняты образцы из традиционных проводов марки АС (табл. 1), компактных проводов марки Aero-Z (табл. 2) и секторных проводов марки AFLs (табл. 3).

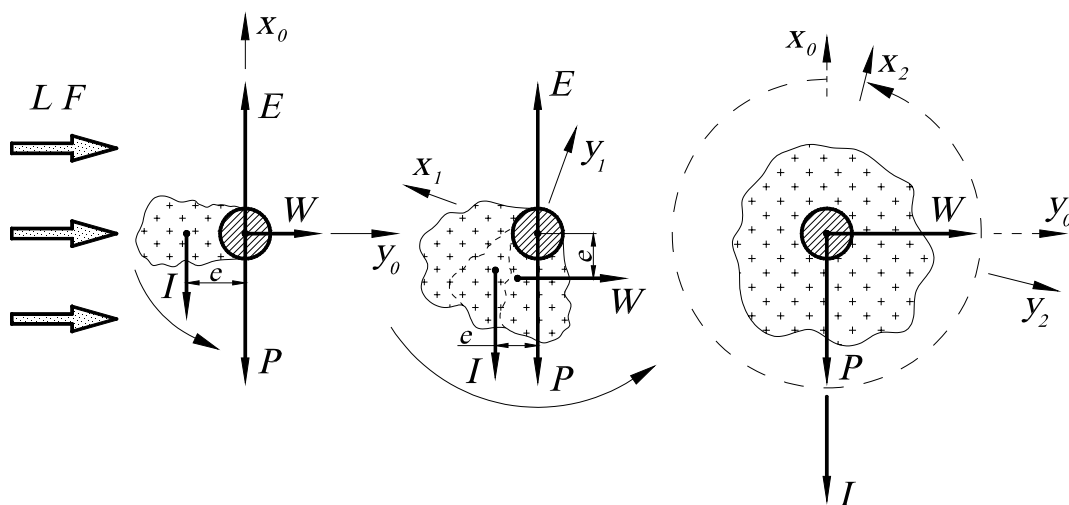


Рисунок 3. Процесс образования ГИО на проводе ВЛ.

## Секторные уплотненные провода

а)

б)

Секторные сталеалюминевые провода используются за рубежом с 90-х гг. прошлого столетия в качестве фазных проводов и грозозащитных тросов. Конструкция проводов представлена на рис. 5.

При их производстве на поверхность оцинкованных стальных проводов (стальной сердечник) производится намотка из слоев круглых и трапециевидных или только трапециевидных алюминиевых проволок (в зависимости от конструкции провода). Благодаря этому



**Рисунок 4.** Поперечный разрез обледенелого провода: а – у опоры; б – в центре пролета.

**Таблица 1**

Марка провода	Число и диаметр проволок, мм		Расчетное сечение, мм <sup>2</sup>			Расчетный диаметр провода, мм		Масса провода, кг/м
	алюминия	стальных	алюминия	стали	всего провода	стального сердечн.	провода	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
АС 150/24	26x2,7	7x2,1	149	24,2	173,2	6,3	17,1	0,599
АС 185/24	24x3,15	7x2,1	187	24,2	211,2	6,3	18,9	0,705
АС 240/32	24x3,6	7x2,4	244	31,7	275,7	7,2	21,6	0,921
АС 300/39	24x3,0	7x2,65	301	38,6	339,6	8,0	24,0	1,132
АС 450/56	54x3,2	7x3,2	434	56,3	490,3	9,6	28,8	1,640

**Таблица 2**

Марка провода	Структура					Расчетное сечение, мм <sup>2</sup>	Расчетный диаметр провода, мм	Масса провода, кг/м
	Круглые проволоки		Z-образные проволоки					
	число	диаметр	слои	число	высота			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
177-1Z	1+6	3,30	1	12	3,30	176,93	16,50	0,488
242-2Z	1+6	2,70	2	12+18	2,70	241,98	18,90	0,671
301-2Z	1+6	3,00	2	12+18	3,00	301,25	21,00	0,835
366-2Z	1+6	3,30	2	12+18	3,30	366,13	23,10	1,014
504-2Z	1+6+12	3,05	2	18+24	3,05	503,95	27,45	1,401

**Таблица 3**

Марка провода	Число и диаметр проволок, мм		Расчетное сечение, мм <sup>2</sup>			Расчетный диаметр провода, мм		Масса провода, кг/м
	алюминия	стальных	алюминия	стали	всего провода	стального сердечн.	провода	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
AFLs10-240	9x3,3+12	7x2,1	237,3	24,2	261,5	6,3	19,1	0,846

достигается плотное заполнение поперечного сечения – диаметр провода сравним с диаметром катанки такого же сечения, а поверхность провода гладкая. При одинаковом сечении сталеалюминиевого провода обычной конструкции и секторного провода наружный диаметр секторного провода на порядок меньше.

Секторные провода используются в мировой практике без каких-либо ограничений как для ремонта и реконструкции старых линий, так и для строительства новых линий на среднее и высокое напряжение.

По информации производителей продукции AFLs преимуществами секторных проводов по сравнению с обычными проводами типа АС являются:

- увеличение сечения алюминиевой части провода, а соответственно и увеличение пропускной способности линии на 15–25 %;
- меньшая ветровая нагрузка провода благодаря меньшему наружному диаметру и гладкой поверхности;
- меньшая гололедная нагрузка;
- уменьшение радиотехнических помех и потерь от коронного разряда;
- уменьшение ветровой вибрации;
- меньшее провисание провода;
- уменьшение массы опорных конструкций при строительстве новых линий и уменьшение замен опор при реконструкции старых линий;
- возможность использования стандартной линейно-монтажной арматуры и инструмента.

### Компактные провода Aero-Z

Компактный провод Аеро-Z – многослойный однородный провод для высоковольтных воздушных линий электропередачи, представля-

ющий собой скрученные провода из алюминиевого сплава (AlMgSi AW6101 в соответствии со стандартом EN573-3), верхние слои которого спиралевидно окутываются из провода Z-образного профиля (рис. 6).

В конструкции данных проводов для наружного слоя (слоев) взамен круглых используются проволоки Z-образного профиля. Поверхность провода Аеро-Z – гладкая, с незначительными винтовыми канавками, которые образуются между верхними краями плотно сопряженных Z-образных проволок с рассчитанным шагом скрутки, глубиной и шириной.

Впервые были использованы в Бельгии в 1974 году на большом переходе ВЛ. Решение использовать такие провода было принято в силу риска колебательной неустойчивости обычных проводов при постоянных наклонных ветрах со скоростью от 45 до 56 км/ч. Массовое применение провода Аеро-Z находят в электроэнергетике с 90-х гг. прошлого столетия. Опыт использования доказал их особую привлекательность как с технической, так и экономической точек зрения в случае увеличения пропускной токовой способности существующих линий.

Отчет 76 сессии CIGRE детально рассматривал основания для выбора провода с гладкой наружной поверхностью, набранного из проволок Z-образного профиля. При этом отмечено, что провода с Z-образными проволоками предпочтительнее проводов с трапециевидными жилами (секторных сталеалюминиевых), поскольку скрутка таких проводов из алюминиевого сплава приводит к образованию последовательных ступенек на поверхности провода. В качестве преимуществ проводов Аеро-Z отмечено:

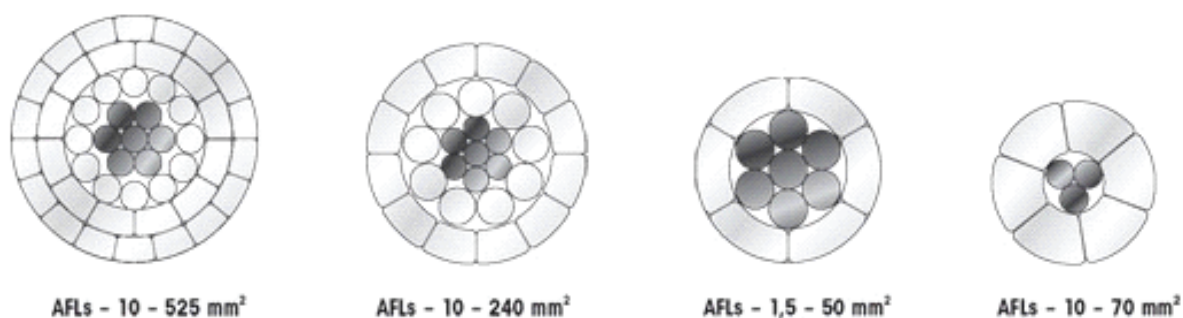


Рисунок 5. Конструкции секторных сталеалюминиевых проводов.

- снижение тепловых потерь при транспортировке электроэнергии за счет возможности использования проводов с большими сечениями при том же удельном весе;
- снижение пляски проводов;
- возможность использования существующей арматуры при монтаже;
- значительное снижение аэродинамического коэффициента;
- снижение уровня шума, следовательно – улучшение эксплуатационных показателей в населенных районах;
- практически полное предотвращение внутренней коррозии провода;
- снижение вероятности обрыва провода при нанесении ему повреждений в результате внешних воздействий;
- снижение уровня усталости металла в проводе и следовательно увеличение жизненного цикла за счет самогашения колебаний;
- решение проблемы обледенения и налипания снега на провода.

Натурные испытания, выполненные в Канаде, показали, что провод Aero-Z лучше противостоит снегу и обледенению. Образование «рукавов» ГИО становится более затруднительным, и даже невозможным. Снег, который налипает на провод, образует ледяную шапку только с одной стороны провода. Перекручиваясь под весом этой шапки, провод Aero-Z способствует сбрасыванию снега или льда благодаря высокому крутящему моменту. Средняя масса наросов ГИО на проводе Aero-Z составляет половину наблюдаемой на традиционном проводе АС при экстремальных условиях. При этом следует отметить, что данные исследования вы-

полнялись для типов ГИО, таких как мокрый снег и зернистая изморось. Вопрос для наиболее опасной формы ГИО (гололед стекловидный плотностью до  $0,9 \text{ г/см}^3$ ), к тому же получившей наибольшее распространение в климатических условиях Украины, остается неизученным для данного класса проводов.

### 3. Стендовые испытания образцов проводов

#### Оборудование для испытаний

Оборудование – испытательный стенд для определения стойкости проводов ВЛ к осевому кручению (рис. 7).

Общий вид испытательного стенда представлен на рис. 8.

#### Описание образцов

Для испытаний приняты по одному образцу провода каждого типа (рис. 9–11):

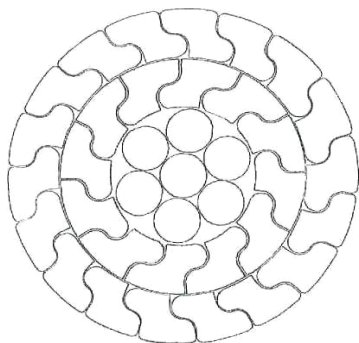
- марки АС (АС 150/24, АС 185/24, АС 240/32, АС 300/39, АС 450/56);
- марки Aero-Z (177-1Z, 242-2Z, 301-2Z, 366-2Z, 504-2Z);
- марки AFLs (AFLs10-240).

Длина образцов принята 1 060 мм, расстояние между закреплением в зажимах испытательного стенда – 1 000 мм.

#### Измерение контролируемых параметров

В табл. 4–6 и на графиках (рис. 12–14) приведены результаты измеренного угла закручивания для проводов разного типа.

а)



б)



Рисунок 6. Конструкция компактного провода Aero-Z: а – поперечное сечение, б – состав слоев провода.

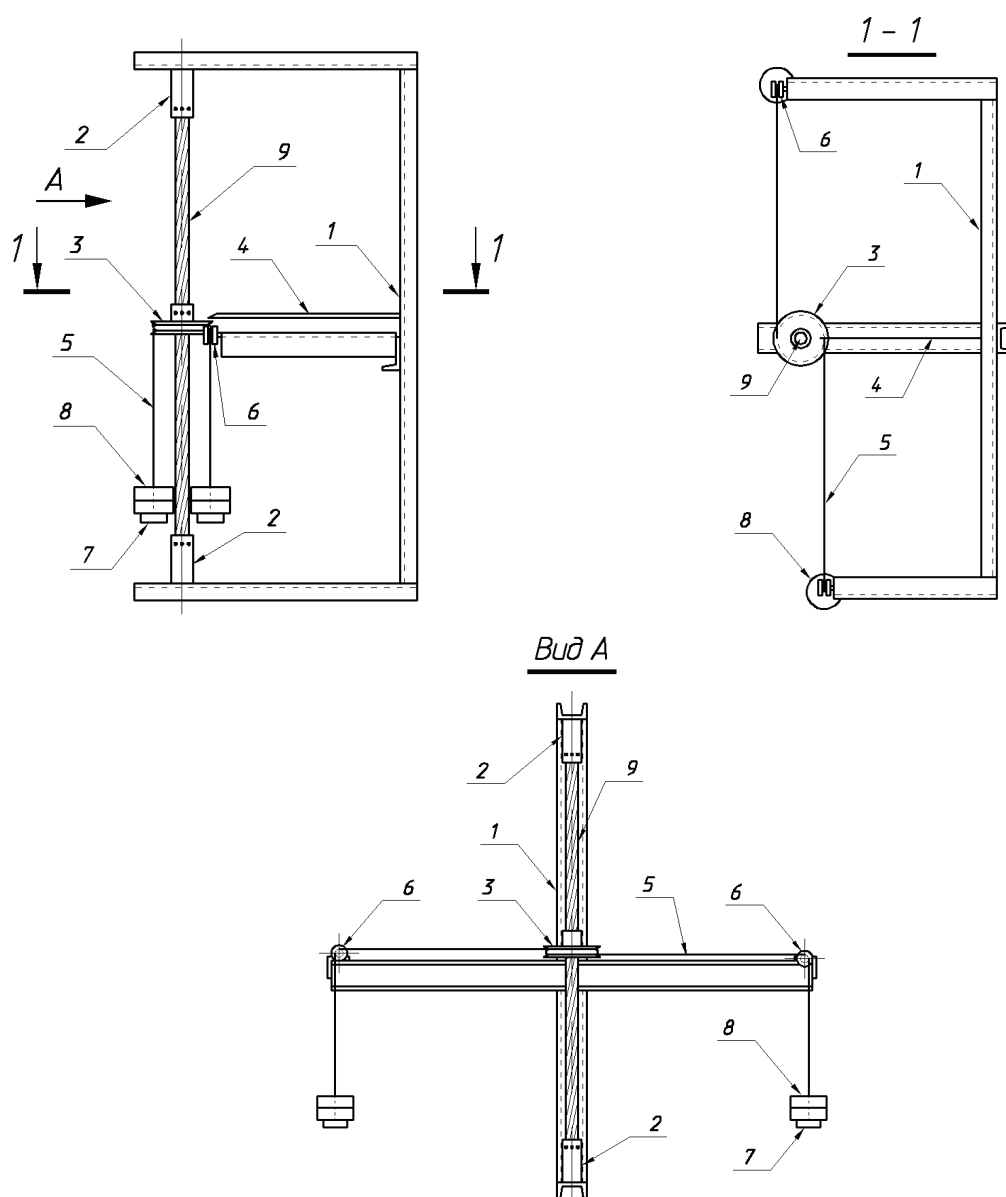
*Результаты определения крутильной жесткости для разных типов проводов*

В табл. 7–9 и на графиках (рис. 15–17) приведены результаты и определения крутильной жесткости для проводов разного типа.

Анализ графиков (рис. 15–17) позволяет сделать вывод о характере зависимости жесткости на кручение разных типов проводов от крутящего момента. Так, для традиционных проводов марки АС из круглых проволок крутильная жесткость с увеличением крутящего

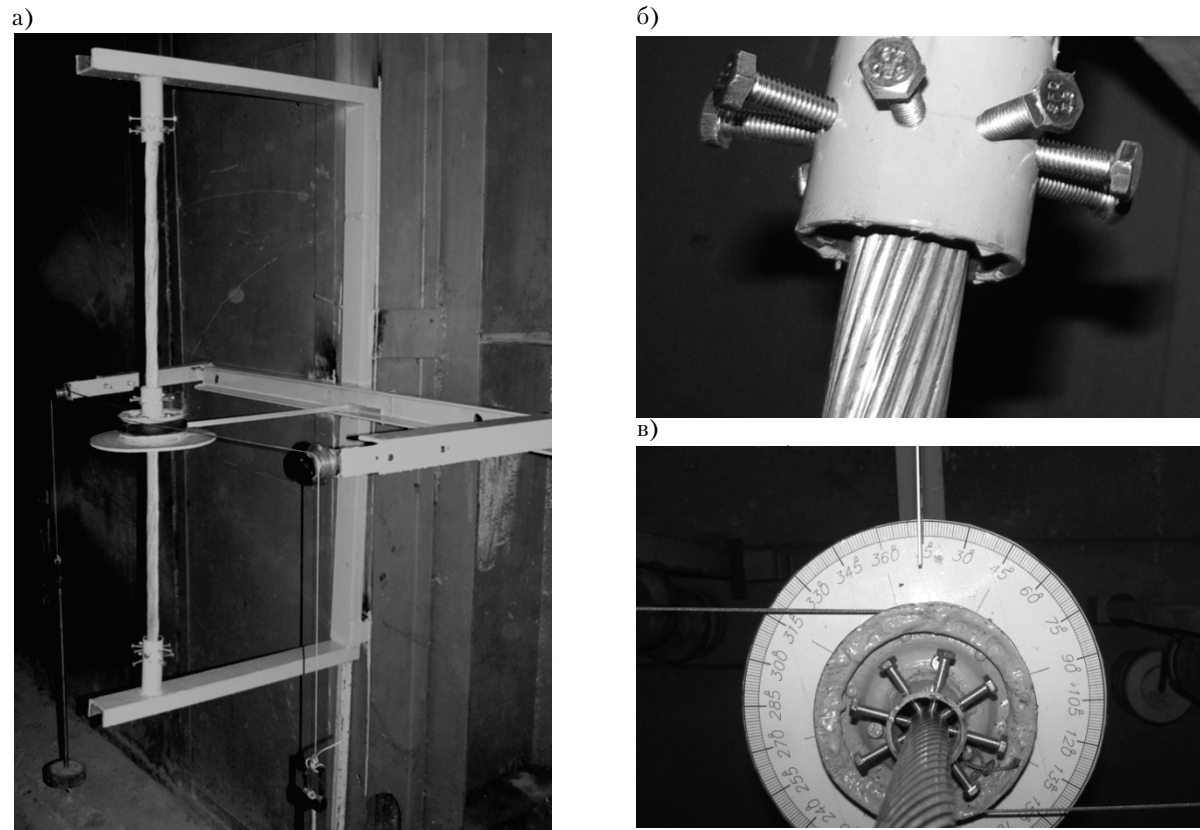
момента также увеличивается (за счет уплотнения сердцевины провода, рис. 18а). Для секторных и компактных проводов – зависимость противоположная (за счет разуплотнения наружных повивов и потери сцепления Z-образных или трапециевидных проволок между собой, рис. 18б, 18в).

На рис. 19 представлены диаграммы сравнения жесткости на кручение различных проводов для двух крайних значений крутящего момента, прикладываемого к образцам в ходе эксперимента.

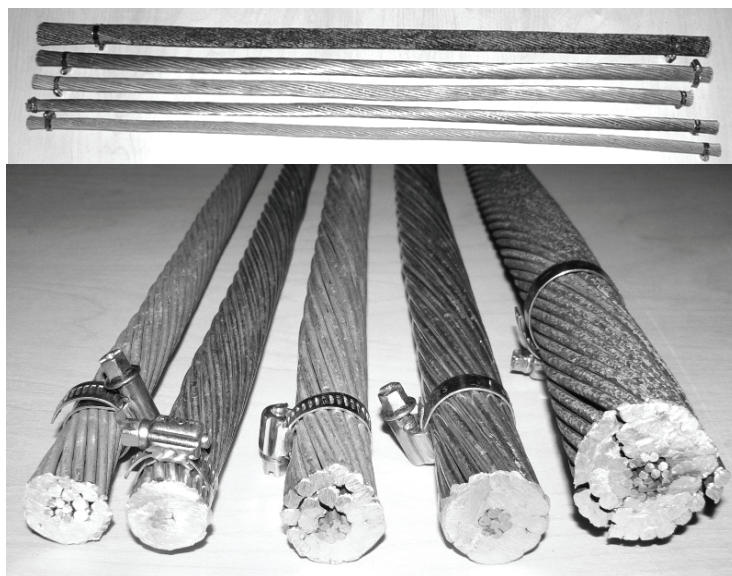


**Рисунок 7.** Схема установки: 1 – рама стенда; 2 – зажим образца провода; 3 – двухручье шкива со шкалой для определения угла закручивания образца провода в градусах; 4 – стрелка начального отсчета; 5 – трос; 6 – отводной блок; 7 – штанга для грузов; 8 – груз; 9 – образец провода.

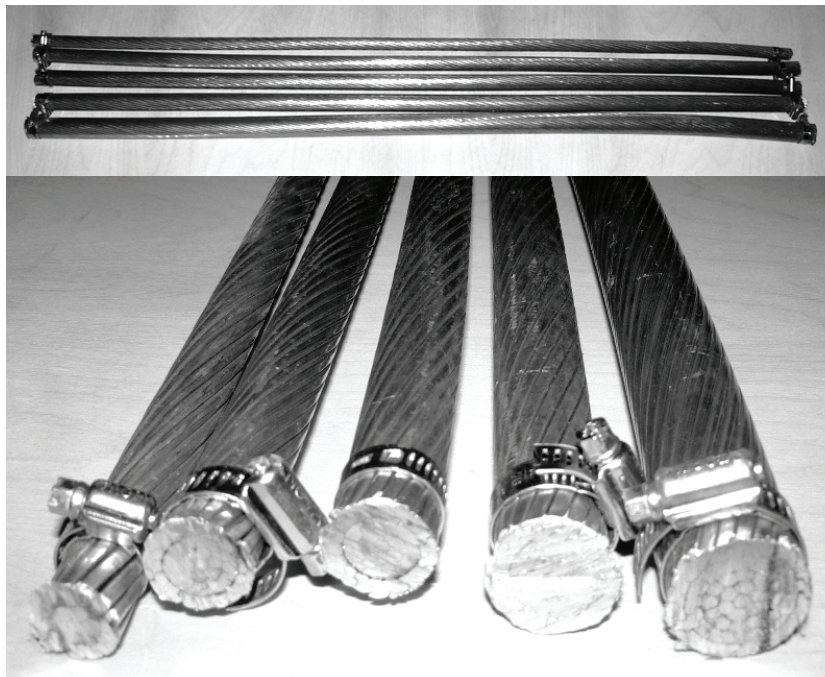




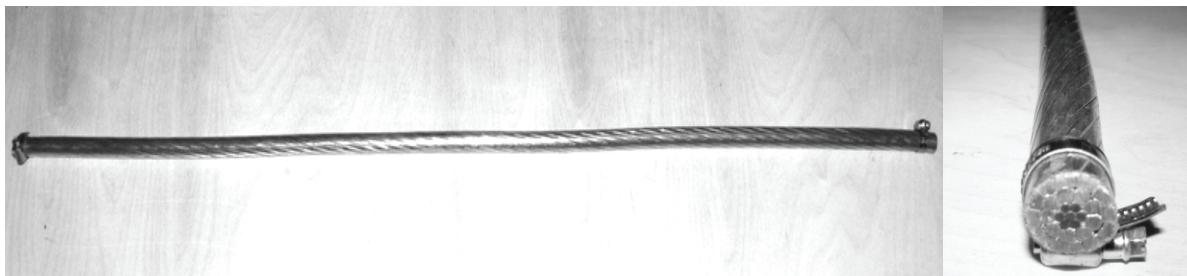
**Рисунок 8.** Испытательный стенд на кручение проводов ВЛ: а – общий вид установки; б – обжатие концов провода в зажимных устройствах; в – приложение крутящего момента через двухручьевого шкив со шкалой для определения угла закручивания образца провода.



**Рисунок 9.** Образцы № 1–5 – традиционные провода марки АС: АС 150/24, АС 185/24, АС 240/32, АС 300/39, АС 450/56.



**Рисунок 10.** Образцы № 6–10 – компактные провода марки Aero-Z: Aero-Z 177-1Z, Aero-Z 242-2Z, Aero-Z 301-2Z, Aero-Z 366-2Z, Aero-Z 504-2Z.



**Рисунок 11.** Образец № 11 – секторный провод марки AFLs: AFLs10-240.

**Таблица 4**

Нагрузка р, Н	Угол поворота проводов серии AC φ, рад				
	150/24	185/24	240/32	300/39	450/56
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
49,05	0,302	0,262	0,189	0,116	0,052
98,10	0,581	0,459	0,311	0,209	0,105
147,15	0,779	0,692	0,427	0,297	0,169
196,20	1,064	0,872	0,570	0,395	0,227

При этом следует иметь ввиду, что максимальные значения крутящего момента, прикладываемого к образцам в ходе эксперимента, в реальных условиях работы ВЛ не возникают. Действительная работа провода в условиях отложения одностороннего гололеда максимальных размеров (5–6-й гололедные районы) происходит при значениях момента, не превышающих нижнее пороговое значение при эксперименте.

Принимая это обстоятельство во внимание, из левой зоны графиков (рис. 15–17) следует, что жесткость на кручение компактных и секторных проводов выше крутильной жесткости традиционных проводов даже при условии сравнения по близким значениям диаметрам. При условии сравнения проводов по равной токовой загрузке данное преимущество современных типов проводов значительно возрастает (рис. 19а), что подтверждает информацию

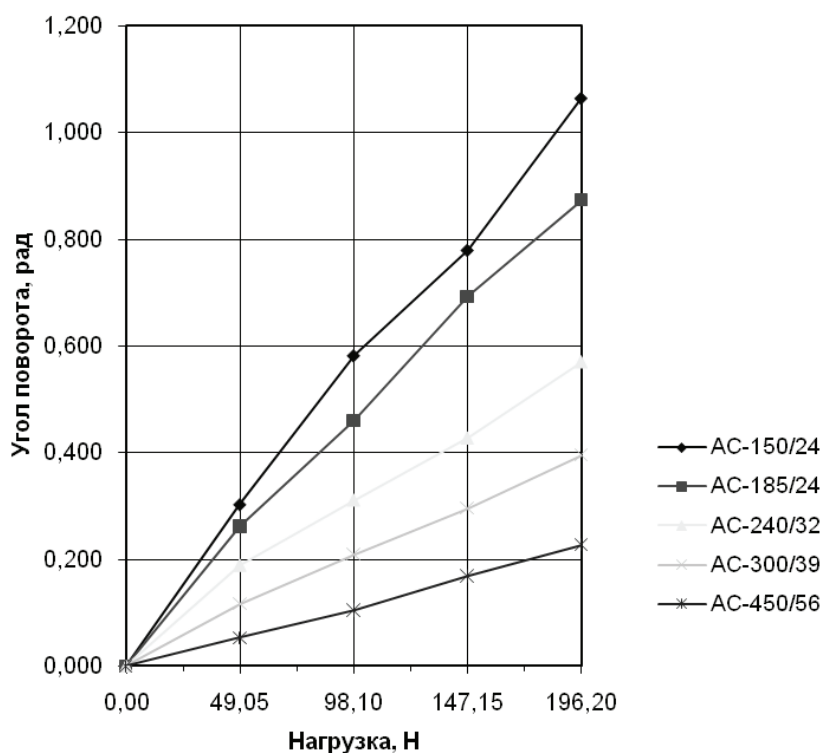
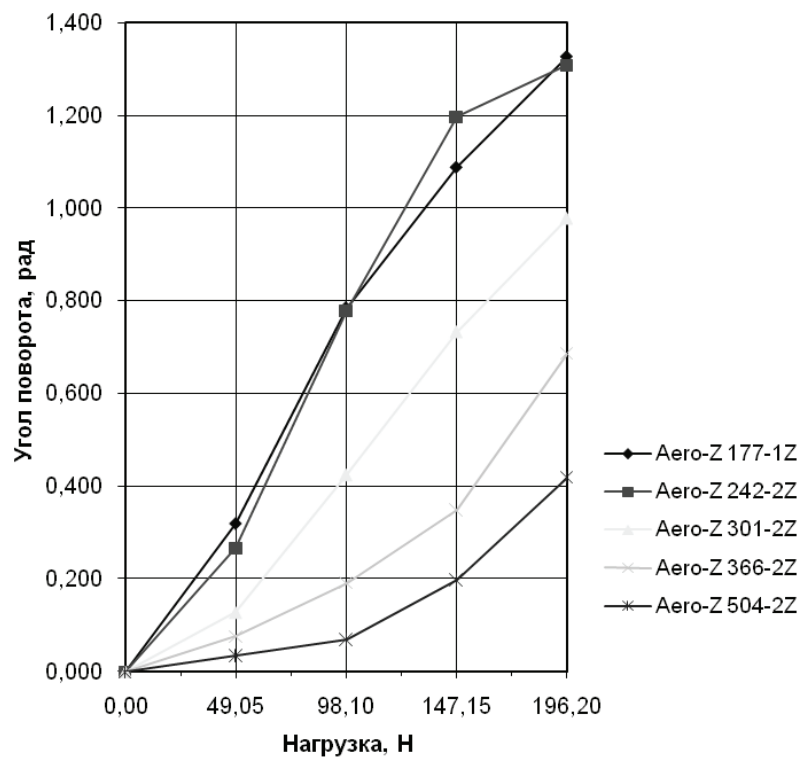


Рисунок 12. Зависимость угла закручивания для проводов АС от нагрузки.

Таблица 5

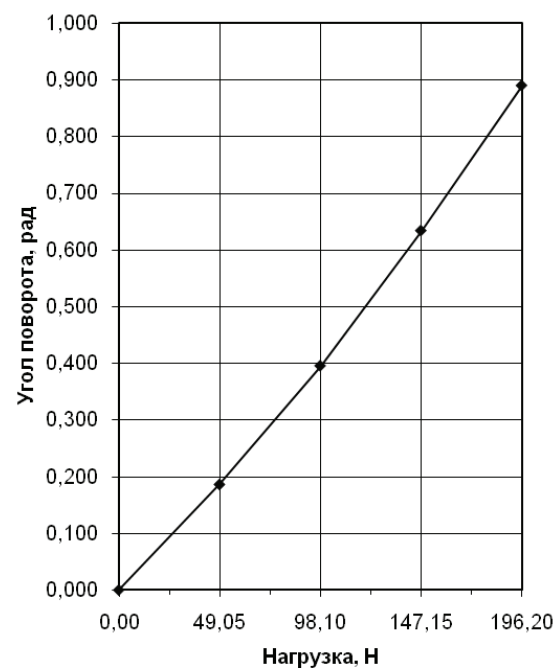
Нагрузка р, Н	Угол поворота проводов серии Aero-Z φ, рад				
	177-1Z	242-2Z	301-2Z	366-2Z	504-2Z
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
49,05	0,320	0,267	0,128	0,076	0,035
98,10	0,785	0,779	0,424	0,192	0,070
147,15	1,087	1,198	0,733	0,349	0,198
196,20	1,326	1,308	0,977	0,686	0,419



**Рисунок 13.** Залежність кута закручування для проводів Aero-Z від навантаження.

**Таблиця 6**

Навантаження $p$ , Н	Кут повороту $\varphi$ , рад
	AFLs10-240
0,00	0,000
49,05	0,186
98,10	0,395
147,15	0,634
196,20	0,890



**Рисунок 14.** Залежність кута закручування для проводу AFLs10-240 від навантаження.

Таблиця 7

Нагрузка р, Н	Момент М, Нм (при плече пары сил 0,12м)	Крутильная жесткость проводов серии АС $GJ$ , Нм <sup>2</sup> /рад				
		150/24	185/24	240/32	300/39	450/56
49,05	5,886	4,867	5,624	7,786	12,653	28,118
98,10	11,772	5,061	6,407	9,460	14,059	28,118
147,15	17,658	5,666	6,380	10,329	14,886	26,179
196,20	23,544	5,531	6,748	10,329	14,886	25,955
		5,281	6,290	9,476	14,121	27,092

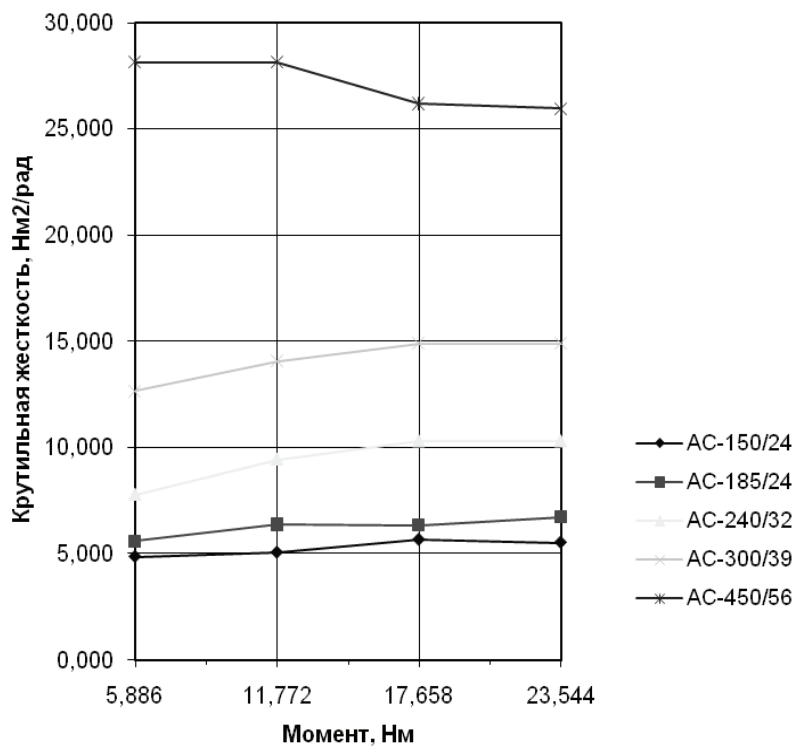


Рисунок 15. Зависимость крутильной жесткости для проводов АС от момента закручивания.

Таблиця 8

Нагрузка р, Н	Момент М, Нм (при плече пары сил 0,12м)	Крутильная жесткость проводов серии Аеро-Z $GJ$ , Нм <sup>2</sup> /рад				
		177-1Z	242-2Z	301-2Z	366-2Z	504-2Z
49,05	5,886	4,601	5,501	11,503	19,466	42,177
98,10	11,772	3,749	3,777	6,933	15,337	42,177
147,15	17,658	4,060	3,685	6,025	12,653	22,329
196,20	23,544	4,440	4,499	6,025	8,578	14,059
		4,212	4,366	7,622	14,009	30,185



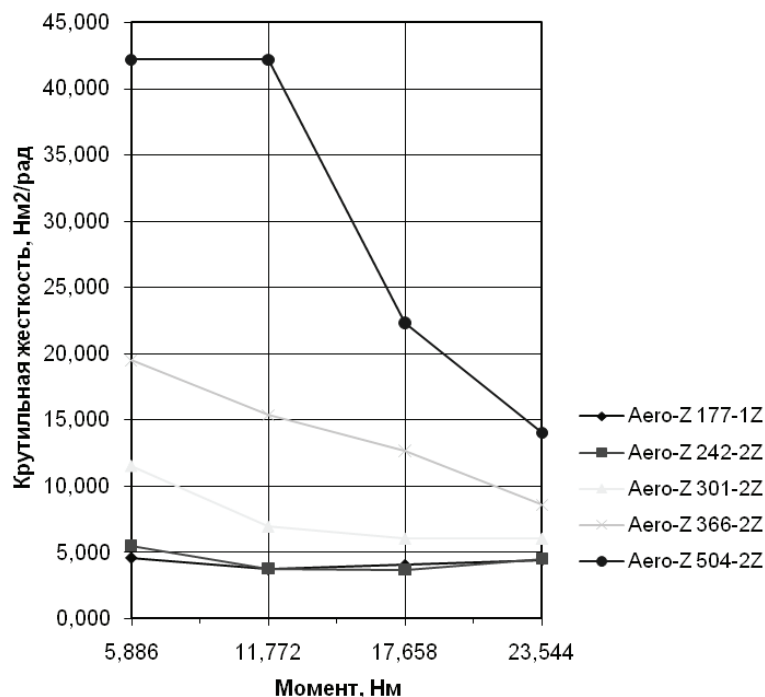
производителей проводов в части их эффективности работы на кручение.

### Заключение

Надежность работы ВЛ реализуется через множество взаимозависимых составляющих. Снижение надежности работы электрических сетей особенно характерно для гололедных районов, где воздушные линии электропередачи подвержены опасным метеорологическим воздействиям. Несмотря на многолетние усилия электроэнергетиков, гололедные аварии в электрических

сетях многих энергосистем по-прежнему относятся к наиболее тяжелым и периодически дезорганизуют электроснабжение регионов.

Получившие в последнее время распространение за рубежом новые типы компактных, секторных уплотненных проводов доказывают свою эффективность при применении на ответственных участках больших переходов ВЛ, при использовании на ВЛ в районах с повышенными гололедными и ветровыми нагрузками, а также при реконструкции ВЛ с увеличением пропускной способности. В то же время вопрос их внедрения поднимает задачи пересмот-



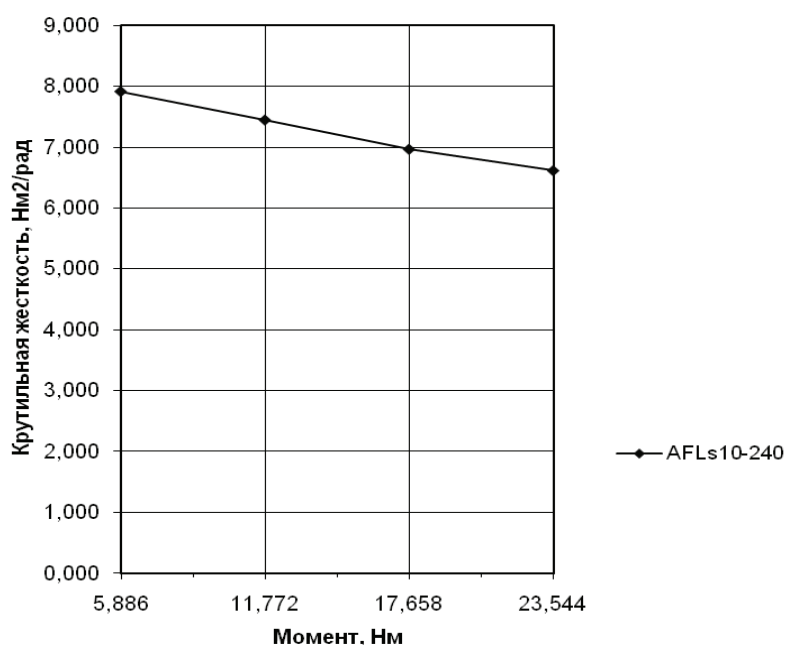
**Рисунок 16.** Зависимость крутильной жесткости для проводов Aero-Z от момента закручивания.

**Таблица 9**

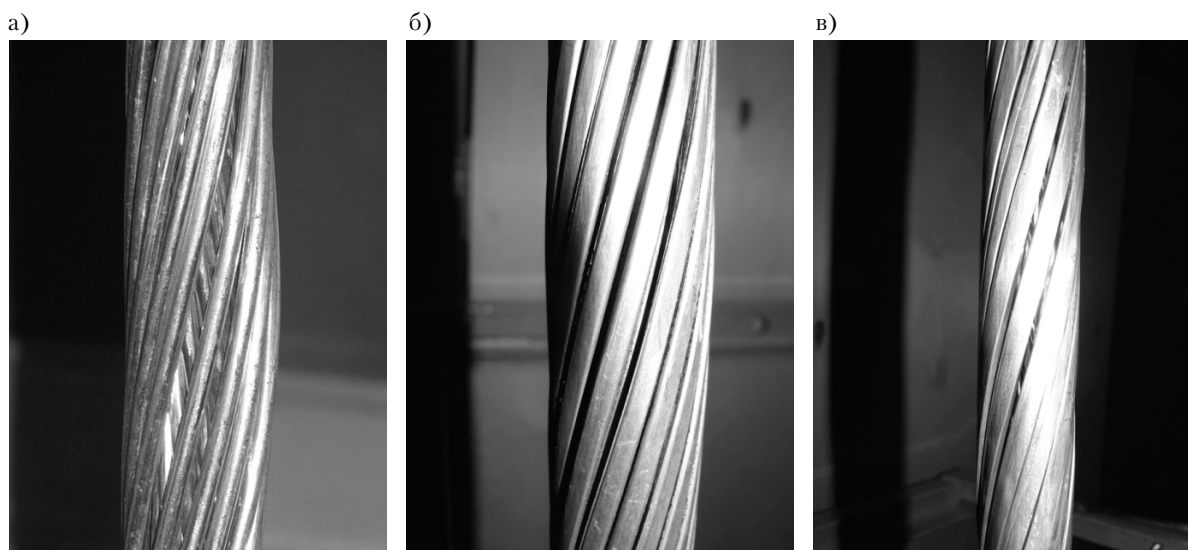
Нагрузка $p$ , Н	Момент $M$ , Нм (при плече пары сил 0,12м)	Крутильная жесткость $GJ$ , Нм <sup>2</sup> /рад
		AFLs10-240
49,05	5,886	7,908
98,10	11,772	7,443
147,15	17,658	6,965
196,20	23,544	6,616
		7,233

ра требований и положений расчетных методик существующих отраслевых нормативно-технических документов с учетом анализа отечественного и международного опыта, а также эффективности применения решений. Требуется более детального изучения исследование влияния крутильной жесткости проводов на

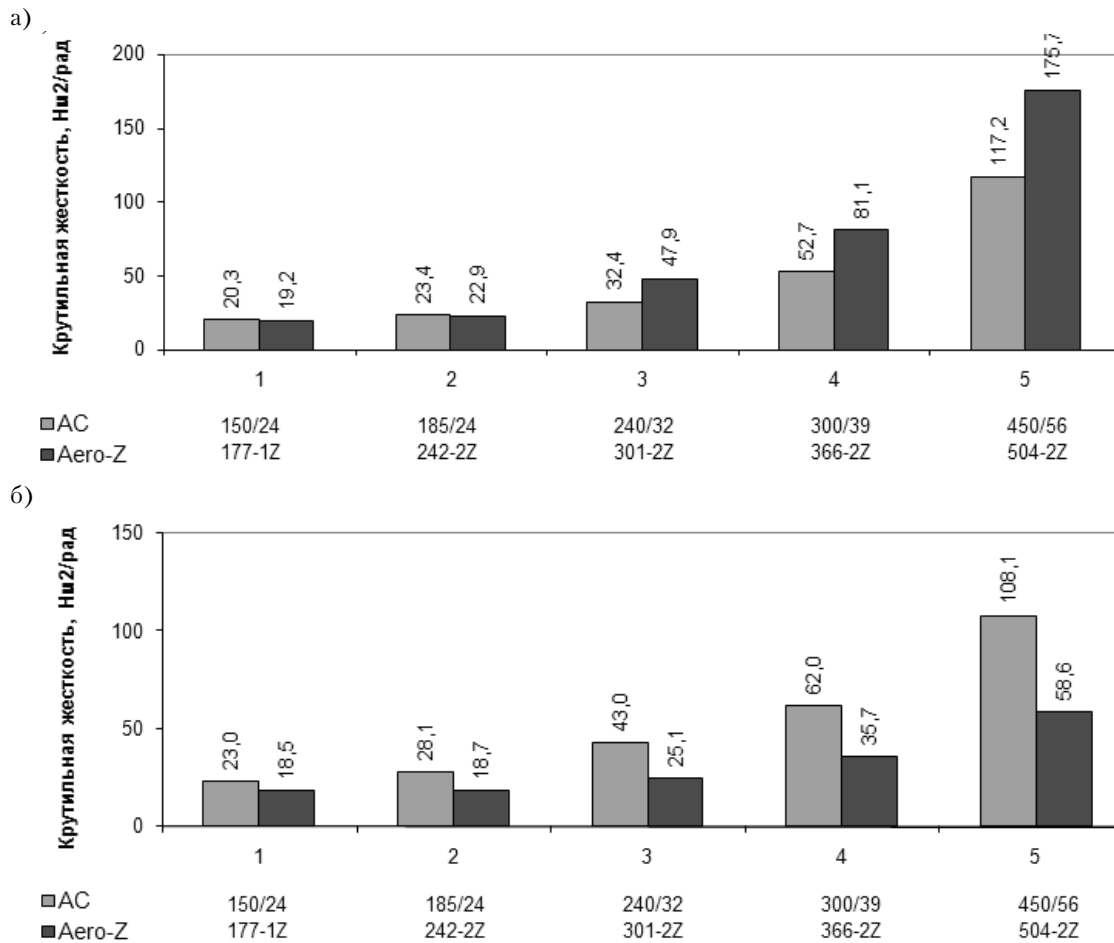
процесс гололедообразования, для решения которого необходимо проведение сравнительных испытаний образцов традиционных проводов АС с новыми типами проводов в климатической камере. Также должно внимание необходимо уделить аэродинамическим исследованиям новых типов проводов.



**Рисунок 17.** Зависимость крутильной жесткости для проводов AFLs от момента закручивания.



**Рисунок 18.** Внешний вид проводов после испытаний на кручение: а – провод АС, б – компактный провод Аеро-З; в – секторный провод AFLs.



**Рисунок 19.** Сравнение крутильной жесткости для проводов AC и Aero-Z при разных моментах закручивания: а – при крутящем моменте 5,9 Нм; б – при крутящем моменте 23,5 Нм.

## Литература

1. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» / Міністерство палива та енергетики України. – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 125 с.
2. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лященко, М. А. Микитаренко [и др.] ; под ред. А. В. Перельмутера. – К. : изд-во «Сталь», 2005. – 500 с. – (Монография).
3. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи : [Моногр.] / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим ; Под ред. Е. В. Горохова. – Донецк : [б. и.], 2005. – 345 с. – ISBN 966-7477-50-9.
4. Eurocode 1: Action on Structures. Part 1-4: General Actions – Wind Actions. Brussels : CEN TC 250, 2002. – 155 p.

## References

1. Rules for electrical installation. Head 2.5 «The overhead power transmission lines voltages above 1 kV to 750 kV». Kyiv: OEP «GRIFRE», 2006. 125 p. (in Ukrainian)
2. Gordeev, V. N.; Lantuh-Liashchenko, A. I.; Mikitarenko, M. A. Ed. A. V. Perelmuter. Loads and loading on buildings and structures. Kyiv: izd-vo «Stal», 2005. 500 p. (in Russian)
3. Gorokhov, Ye. V.; Kazakevich, M. I.; Turbin, S. V.; Nazim, Ya. V. Ed. Ye. V. Gorokhov. Wind and ice loading on the overhead power transmission lines. Donetsk, 2005. 348 p. (in Russian)
4. Eurocode 1: Action on Structures. Part 1-4: General Actions – Wind Actions. Brussels: CEN TC 250. 2002. 155 p.
5. Inspection policy of existing overhead lines and assessment methodology based on practical experience / Delrée X., Rogier J., Van Overmeere A. //



5. Inspection policy of existing overhead lines and assessment methodology based on practical experience / Delrée X., Rogier J., Van Overmeere A. // CIGRE 1994 session documentation. Report CIGRE 22-302. Paris, 1994.
6. Visualization of overhead line project / Rogier J., Goossens L., Mazoin M., Robberechts W., De Clerck E., Jadot A. // CIGRE 1996 session documentation. Report CIGRE 22-209. Paris, 1996.
7. Increasing the ampacity of overhead lines using homogeneous compact conductors / M. Gaudry, F. Chore, C. Hardy, E. Ghannoum // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-201. Paris, 1998.
8. Improvement of existing high voltage overhead lines performance by using fully locked conductors and ground wires / Couneson P., Lamsoul J., Delplanque D., Capelle T., Havaux M., Guéry D., Delrée X. // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-209. Paris, 1998.
9. Experience with occasional and permanent measurements on Belgian overhead lines / Rogier J., Goossens L., Lilien J.L., Wolfs M., Van Overmeere A., Lugentz L. // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-104. Paris, 1998.
10. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines / Lamsoul J., Rogier J., Couneson P., Van Overmeere A. // CIGRE 2000 session documentation. Report CIGRE 22-206. Paris, 2000.
- CIGRE 1994 session documentation. Report CIGRE 22-302. Paris, 1994.
6. Visualization of overhead line project / Rogier J., Goossens L., Mazoin M., Robberechts W., De Clerck E., Jadot A. // CIGRE 1996 session documentation. Report CIGRE 22-209. Paris, 1996.
7. Increasing the ampacity of overhead lines using homogeneous compact conductors / M. Gaudry, F. Chore, C. Hardy, E. Ghannoum // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-201. Paris, 1998.
8. Improvement of existing high voltage overhead lines performance by using fully locked conductors and ground wires / Couneson P., Lamsoul J., Delplanque D., Capelle T., Havaux M., Guéry D., Delrée X. // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-209. Paris, 1998.
9. Experience with occasional and permanent measurements on Belgian overhead lines / Rogier J., Goossens L., Lilien J.L., Wolfs M., Van Overmeere A., Lugentz L. // CIGRE 1998 session documentation. Report CIGRE 22-104. Paris, 1998.
10. Belgian experience on initiatives to improve the capability of existing overhead lines / Lamsoul J., Rogier J., Couneson P., Van Overmeere A. // CIGRE 2000 session documentation. Report CIGRE 22-206. Paris, 2000.

**Назим Ярослав Викторович** – к.т.н., проректор по международным связям, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям, Международной ассоциации по большим системам энергетики – CIGRE. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, динамические нагрузки на строительные конструкции электросетей.

**Назім Ярослав Вікторович** – к.т.н., проректор з міжнародних зв'язків, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій, Міжнародної асоціації з великих систем енергетики – CIGRE. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережних конструкцій, динамічні впливи на будівельні конструкції електромереж.

**Nazim Yaroslav** – Ph.D. (Eng.), a Vice-rector in the International Relations, a Docent of Metal Structures department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of Ukrainian Association of Metal Construction, Member of the CIGRE. His research interests include operational characteristics, the longevity and the reliability of power supply structures, dynamic loads on structures of overhead lines.