



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
METAL CONSTRUCTIONS**

№3, ТОМ 16 (2010) 199-208

УДК 624.014.2: 621.315

(10)-0221-1

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВУЗЛІВ КРІПЛЕННЯ ТИПУ КГП ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПЛ**

**Я. В. Назім, В. М. Василев, С. М. Бакаєв, Н. С. Смирнова, Н. В. Агбаш**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.  
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Отримана 12 серпня 2010; прийнята 27 серпня 2010.*

**Анотація.** Дана стаття є логічним продовженням проведених раніше досліджень у сфері забезпечення надійності повітряних ліній електропередавання, розташованих в південних районах України з підвищеними ожеледно-вітровими навантаженнями. Наведені результати досліджень зразків кріплення типу КГП, вилучених при заміні на ПЛ 330 кВ «Каховська – Острівська» і «Каховська – Джанкой», а також зразків з партії постачання, призначеної для нового підвісу. Результати досліджень демонтованих зразків виявили відхилення геометричних розмірів, викликані корозійними поразками і механічним зносом, а також невідповідності структурних складових сталей і хімічного складу нормативним вимогам для експлуатації в даних умовах роботи. Встановлені причини пошкоджень і надано рекомендації, направлені на поліпшення експлуатації ПЛ і підвищення надійності енергопостачання.

**Ключові слова:** повітряні лінії електропередавання (ПЛ), вузол кріплення КГП, металографія, мікроструктура, хімічний склад металу, надійність.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЗЛОВ КРЕПЛЕНИЯ ТИПА КГП ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВЛ**

**Я. В. Назим, В. Н. Васылев, С. Н. Бакаев, Н. С. Смирнова, Н. В. Агбаш**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.  
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Получена 12 августа 2010; принята 27 августа 2010.*

**Аннотация.** Данная статья является логическим продолжением проведенных ранее исследований в сфере обеспечения надежности воздушных линий электропередачи, расположенных в южных районах Украины с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками. Приведены результаты исследований образцов крепления типа КГП, изъятых при замене на ВЛ 330 кВ «Каховская – Островская» и «Каховская – Джанкой», а также образцов из партии поставки, предназначенной для нового подвеса. Результаты исследований демонтированных образцов выявили отклонения геометрических размеров, вызванные коррозионными поражениями и механическим износом, а также несоответствия структурных составляющих сталей и химического состава нормативным требованиям для эксплуатации в данных условиях работы. Установлены причины повреждений и даны рекомендации, направленные на улучшение эксплуатации ВЛ и повышение надежности энергоснабжения.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи (ВЛ), узел крепления КГП, металлография, микроструктура, химический состав металла, надежность.

## ENGINEERING RESEARCH OF HINGES TO PROVIDE RELIABILITY OF OVERHEAD POWER LINES (OPL)

Yaroslav V. Nazim, Volodymyr M. Vasylev, Sergey M. Bakaeyev, Nataliia S. Smirnova, Nataliya V. Agbash

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.  
E-mail: ksv@donnasa.edu.ua*

*Received 12 August 2010; accepted 27 August 2010.*

**Abstract.** Abstract. The paper is the logical continuation of the early studies in the field of reliability assurance of overhead power lines located in the southern regions of Ukraine where there are increased glazed ice and wind loads. The paper has given the investigation findings of conductor/clamp systems removed during their replacement on the OPTL 330 kW «Kakhovskaya – Ostrovskaya» and «Kakhovskaya – Dzhankoy» and also of the joint specimens of the arrival for the next suspender. The investigation findings of dismantled specimens have revealed geometric dimensions deviations caused by corrosion and mechanical wear as well as discrepancy between steel components and chemical composition to specified requirements for operation under field conditions. The causes of fault conditions have been established and recommendations directed to the improvement of OPTL operation and energy supply reliability increase have been provided.

**Keywords:** overhead power lines (OPL), conductor/clamp systems, metallography, microstructure, metal chemical composition, reliability.

### Введение

Как показали события осенне-зимнего периода (ОЗП) 2009/2010 гг. [1–3], отказ отдельного элемента линии электропередачи, даже на примере одного болта, может привести к отказу участка электроэнергетической сети и нарушению электроснабжения целых регионов.

Линии электропередачи 330 кВ «Каховская – Джанкой», «Каховская – Островская» являются стратегически важными магистральными объектами, обеспечивающими совместную работу объединенной энергосистемы Украины с энергосистемой Автономной Республики Крым. Аварии, произошедшие в декабре 2009 года при сверхрасчетных климатических условиях, привели к каскадному разрушению ВЛ, в результате чего было повреждено 16 металлических промежуточных опор, оборваны провода и грозозащитные тросы на участке длиной 5,6 км. Авария принесла колоссальные убытки не только государству в лице энергоснабжающих компаний, но и потребителям электроэнергии в лице предприятий и населения полуострова.

### 1. Отбор образцов для экспериментальных исследований

В соответствии с актами расследования отказов аварии на ВЛ 330кВ «Каховская – Джанкой» и «Каховская – Островская» были вызваны разрушением узлов крепления типа КГП при сверхрасчетных гололедно-ветровых нагрузках.

Узлы крепления типа КГП предназначены для шарнирного соединения с подвижностью в двух взаимно перпендикулярных плоскостях изолирующей подвески элементов крепления токоведущего провода или грозозащитного троса к опоре (рис. 1).

При анализе аварий с целью контроля действительного состояния узлов подвески изоляторов были отобраны для экспериментальных исследований 13 образцов, разорванных и снятых при замене узлов крепления типа КГП 12-1 и скоб СК 12-1. Характерные повреждения данных образцов, а также места отбора темплетов для исследований приведены на рис. 2.

Также исследованиям были подвержены 3 образца узлов крепления типа КГП 16-3 и скоб СК 12-1 из новой партии поставки для

ремонтно-восстановительного подвеса на линиях «Каховская — Островская» и «Каховская — Джанкой» (рис. 3).

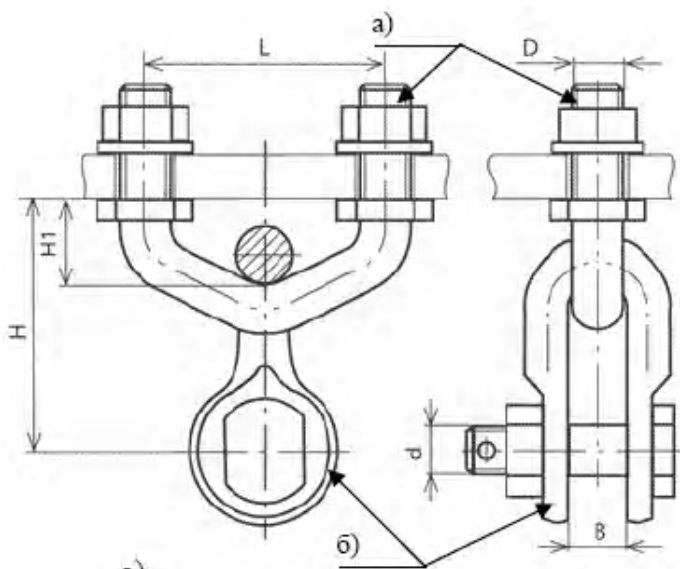
Маркировка образцов приведена в таблице 1.

**2. Анализ нормативной документации на линейную арматуру**

При рассмотрении явлений вибрации и пляски проводов и грозозащитных тросов установлено, что они являются главными факторами, приводящими к усталостным повреждениям линейной арматуры. Усталостью является местное повреждение материала, вызванное повторяемыми изменениями напряжений в элементе. На ВЛ это явление связано с длительным воздействием циклических знакопеременных поперечных и продольных нагрузок в

пределах от 1 до 4 т при колебаниях проводов. В большинстве случаев от нагрузок такого типа страдают узлы жесткой конструкции, воспринимающие большую нагрузку. Примером тому может служить истирание в подвесных и натяжных гирляндах скоб, болтов, приводящее к ослаблению сечения, потере несущей способности и, как следствие, разрушению узлов подвеса, обрыву провода и возникновению отказа ВЛ.

Принимая во внимание характер работы линейной арматуры, определяющее влияние на ее долговечность оказывают правильный выбор материала и его соответствие существующим стандартам. Так, п. 3.2.1 [5] регламентирует применение материалов для изготовления арматуры, соответствующих указанным в стандартах, технических условиях



**Рисунок 1.** Конструкция узла крепления типа КГП: а – U-образный болт; б – скоба СК.

**Таблица 1.** Маркировка образцов для экспериментальных исследований.

<b>№ образца*</b>	1, 4	2, 3	5, 8, 11	6, 7, 9	10	12	13	14, 15	16
<b>№ опоры</b>	297	297	289	289	299	299	277	-	-
<b>Маркировка скобы или болта</b>	СК	КГП	СК	КГП	КГП	СК	СК	КГП	СК
	12-1	12-1	12-1	12-1	12-1	12-1	12-1	12-1	12-1
* 1-13 – образцы с поврежденных опор; 14-16 – образцы из новой партии поставки									

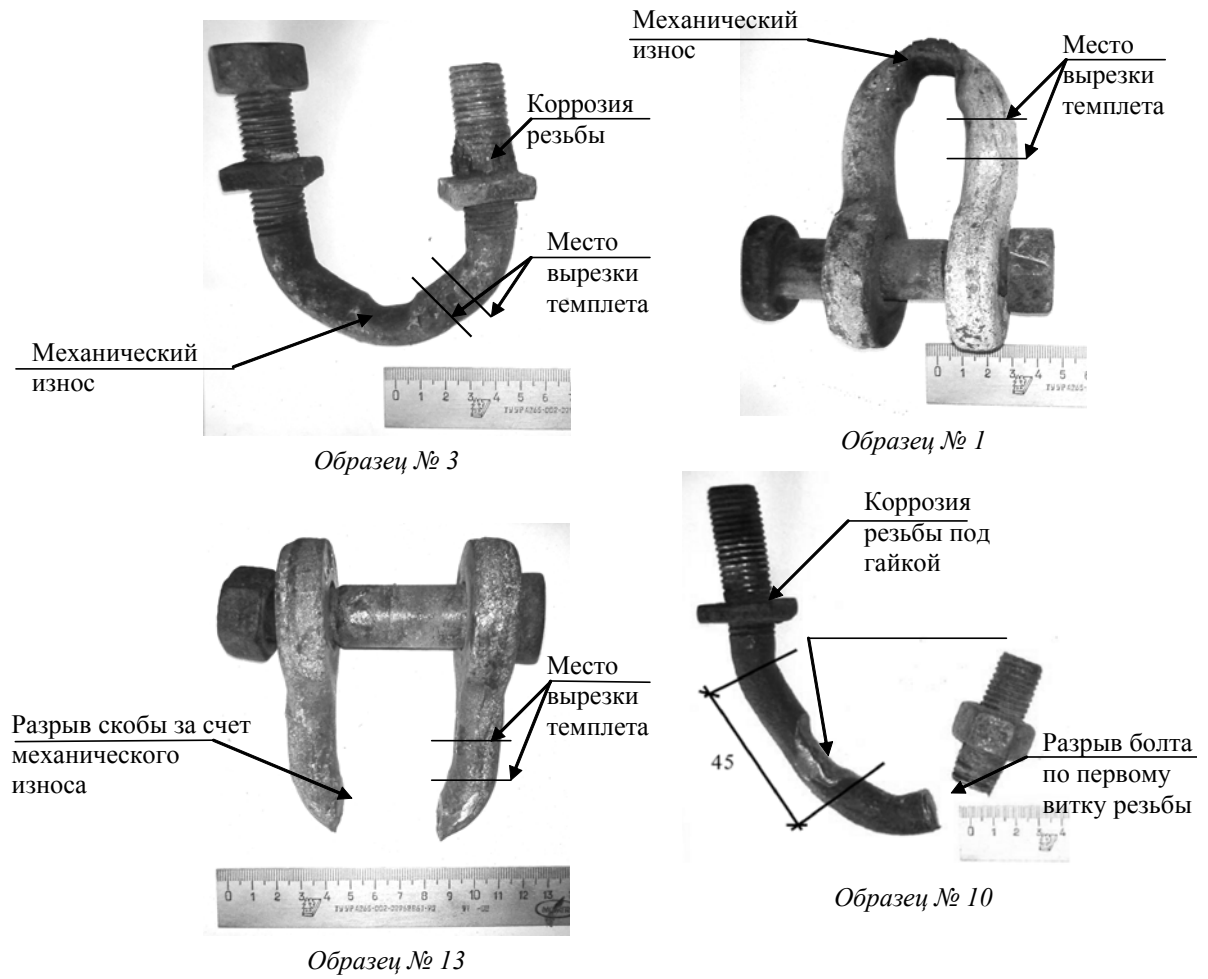


Рисунок 2. Характерные повреждения арматуры и места отбора темплетов.

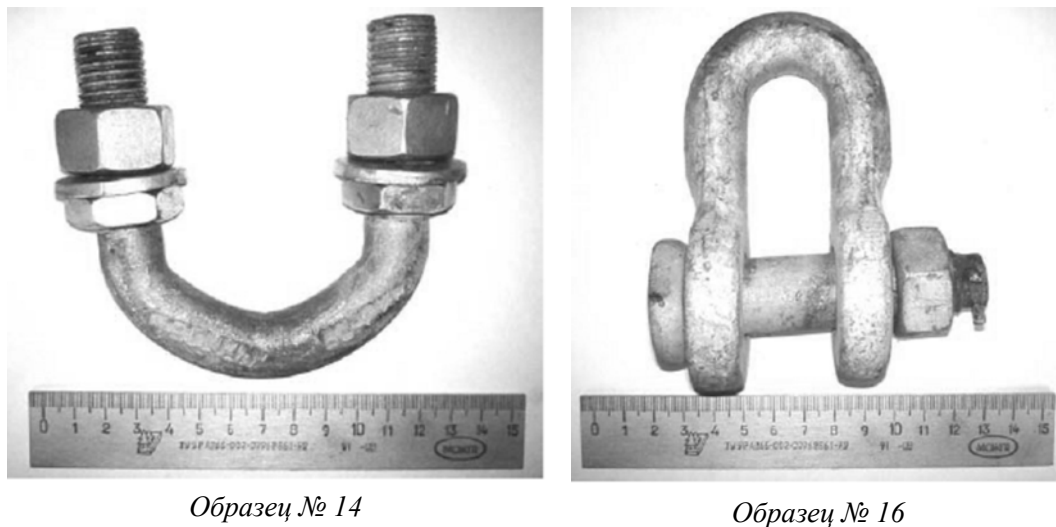


Рисунок 3. Внешний вид образцов из партии поставки для нового подвеса изоляторов.

и рабочих чертежах на конкретные изделия линейной арматуры.

Срок службы линейной арматуры согласно п. 3.1.10 [5, 6] должен составлять не менее 25 лет, при этом фактический срок эксплуатации не ограничивается указанным, а определяется техническим состоянием арматуры. Повышение надежности линейной арматуры способствует повышению надежности воздушных линий электропередачи в целом. Для определения надежности арматуры необходимо определить ее прочность при действии статических и циклических нагрузок, возникающих от ветра, гололеда и различных форм колебаний проводов.

Следует отметить, что стандарты бывшего СССР на линейную арматуру [4, 5, 7] значительно устарели и требуют переработки. Кроме того, механические испытания линейной арматуры, регламентированные нормами [5], учитывают только статические нагрузки. Для оценки линейной арматуры на усталость необходимо проведение испытаний, которые существующими нормами не предусмотрены. Производство арматуры в Украине осуществляется на основании технических условий заводов изготовителей, которые в основном являются закрытой информацией. Нормы Российской Федерации [6, 8], несмотря на их переиздание, также содержат только требования к механическим испытаниям линейной арматуры статическими нагрузками.

Расчет динамических нагрузок от пляски, вибрации и других явлений, действующих на арматуру, не представляется возможным из-за отсутствия математических моделей, позволяющих получить достоверный результат, а также отсутствия прикладных инженерных методик, учитывающих динамическую составляющую нагрузки. При этом, достаточный запас прочности обеспечивает существующая нормативная база (п. 2.5.107 [10]), которая регламентирует учет коэффициента надежности по материалу  $\gamma_m$  для изоляторов и арматуры, равный 2,5 — в режиме наибольших нагрузок, 5 — в нормальном режиме среднеэксплуатационных нагрузок для поддерживающих подвесов. Как показывает опыт испытаний на статические нагрузки, этот запас прочности обычно подтверждается экспериментом.

Однако опыт эксплуатации линейной арматуры показывает, что испытания на статические нагрузки не дают полной информации о ее надежности при воздействии атмосферных явлений. Знакопеременные нагрузки при колебаниях проводов вызывают более 1/3 поврежденной линейной арматуры [11, 12]. Как показывают исследования, механические испытания статическими нагрузками поврежденной арматуры не выявляют недостатков в их конструкции. Поэтому, в России фирмой ОРГРЭС, ведущей с 50-х годов прошлого века анализ причин технологических нарушений в работе энергосистем, сформулированы предложения по проведению дополнительных испытаний арматуры и проводов совместно с арматурой [13]:

- проверка провода (троса) совместно с поддерживающей арматурой на усталость в режиме пляски;
- проверки провода (троса) совместно со сцепной и соединительной арматурой на усталость в режиме продольной пульсирующей нагрузки;
- испытания сцепной арматуры на износ, вызванный истиранием.

При этом следует иметь в виду, что испытания арматуры на динамические воздействия также не всегда дают полноценные результаты. Основная цель таких испытаний – выявить несоответствия в конструктивных решениях сцепной арматуры при действии нагрузок, возникающих от пляски проводов, вибрации, порывов ветра и т. д.

Следует также отметить, что сегодня приемодаточные испытания арматуры циклическими нагрузками не представляются возможными из-за отсутствия обоснованных норм и требований к испытательным стендам и нагрузкам при испытании арматуры на динамические воздействия. Поэтому механические испытания узлов креплений типа КГП в Украине проводятся по стандартным методикам на статические нагрузки.

### 3. Характерные повреждения узлов крепления типа КГП, изъятых при авариях в ОЗП 2009/2010 года

При внешнем освидетельствовании образцов, снятых после аварии, фиксировались дефекты: механический износ, разрушение антикоррозионного покрытия, коррозионное поражение металла (табл. 2, 3).

Механический износ сечения, разрушение защитного покрытия в 100 % случаев связаны с эксплуатацией арматуры в сложных климатических условиях, а именно — агрессивной среды, вызванной влиянием повышенной влажности и засоления Сиваша, Азовского и Черного морей, щелочных озер, а также повышенных скоростей ветрового потока, переносающего частицы песка.

Повышенный износ болта под квадратной гайкой объясняется тем, что эта зона испытывает в процессе эксплуатации наибольшую нагрузку при работе болта, и в то же время оказывается подверженной коррозионному воз-

действию среды. Изначальные концентраторы напряжений, связанные с технологией производства болтов, интенсифицируют воздействие агрессивной среды и напряжений. Кроме того, на усиление процесса разрушения металла болтов оказывает влияние щелевая коррозия в зазорах болтовых соединений.

#### 4. Экспериментальные исследования образцов

Для представленных Крымской ЭС образцов был выполнен комплекс экспериментальных

Таблица 2. Результаты внешнего освидетельствования скоб СК 12-1.

№ образца	Механический износ поперечного сечения*, %	Механический износ болта скобы, мм	Разрушение защитного цинкового покрытия, %	Равномерное коррозионное поражение поверхности	
				скобы	болта скобы
1	60	0,1	100	0,1мм; 80 %	90 %
4	25	болт отсутствует	100	0,1мм; 90 %	болт отсутствует
5	45	0,0	100	100 %	90 %
8	40	0,3	100	95 %	85 %
11	30	0,0	100	100 %	90 %
12	40	0,0	100	0,1мм; 95 %	100 %
13	80 (разрыв)	0,0	100	90 %	90 %

\* - в точке сопряжения с U-образным болтом

Таблица 3. Результаты внешнего освидетельствования U-образных болтов КГП 12-1.

№ образца	Механический износ поперечного сечения*, %	Разрушение защитного цинкового покрытия, %	Равномерные коррозионное поражение болта	Коррозия резьбы под квадратной гайкой
2	15	100	0,2 мм; 80 %	0,4 мм
3	20	100	0,1 мм; 100 %	2,0 мм
6	20	100	0,1 мм; 85 %	коррозия резьбы рядом с квадратной гайкой
7	25	100	0,2 мм; 80 %	0,5 мм
11	25	100	0,1 мм; 90 %	0,4 мм
10	30 (разрыв болта по первому витку резьбы)	100	0,1 мм; 60 %	3,0 мм

\* - в точке сопряжения со скобой

исследований, включающих измерение линейных размеров, определение химического состава стали, измерение твердости по Бринеллю, металлографию, механические испытания.

Результаты исследований сведены в таблицу 4.

Исследования, проведенные для определения химического состава стали, позволили сделать вывод, что все образцы, кроме образца № 8, в котором содержание фосфора существенно превышает нормативное — на 25 %, соответствуют составам качественных сталей. В образце № 8 повышение фосфора приводит к значительному снижению таких показателей как относительное удлинение, ударная вязкость, свариваемость, коррозионная стойкость и хладостойкость.

Ни на одном образце не выявлены структуры, свидетельствующие о применении химико-термической обработки. Однако для эксплуатации деталей и изделий из сталей 15пс, 20пс и 25 (образцы №№ 1, 4, 5, 11, 12, 13), к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и износостойкости [7, 8] при невысокой прочности сердцевины следовало бы проводить химико-термическую обработку, заключающуюся в цементации, цианировании. Благодаря этим процессам повышаются эксплуатационные свойства за счет увеличения твердости и износостойчивости поверхностного слоя металла.

Анализ микроструктуры образцов №№ 4, 8 и 13 выявил наличие в структуре отдельных участков, имеющих игольчатое строение видманштеттовой структуры (образец № 4), вид-

манштеттова структура с тонкими иглами, отходящими от ферритной сетки и расположенными внутри зерен (образец № 8 и 13). Такая структура свидетельствует о допущенном перегреве, образец № 8, и особенно образец № 13, который имеет грубозернистое строение (рис. 4, а,б).

В образцах №№ 2, 3, 6, 7, 9, 10, 14 и 15 не выявлены структурные дефекты.

По результатам лабораторных металлографических исследований можно сделать вывод, что образцы скоб СК, снятые после аварии, имеют отклонения по структуре металла большие, чем U-образные болты. Это связано с технологией изготовления, т. к. скобы получают горячей штамповкой, а болты — гнутьем. Данное обстоятельство доказывает и металлография, проведенная для образцов №№ 14–16, где в структуре скобы СК 12-1 (образец № 16) также обнаружена видманштеттова структура (см. рис. 4, в).

Изучение характера повреждений элементов узлов КПП, а также обобщенный анализ результатов механических и металлографических исследований образцов, определения химического состава металла позволяют сделать вывод, что износ узлов КПП в условиях реальной работы и агрессивности атмосферы представляет собой сложный процесс, в развитие которого вносят вклад и коррозионное растрескивание за счет напряженного состояния, и коррозионная усталость под воздействием циклической знакопеременной нагрузки при колебаниях проводов, а также фреттинг-коррозия, т. е. разрушение при колебательном перемещении поверхностей резьбовых частей болта и гайки относительно друг друга.

Таблица 4. Результаты химического анализа стали и твердости по Бринеллю.

№ образцов	Массовая доля химических элементов, %						Твердость, НВ	Марка стали
	C	Mn	Si	S	P	Cr		
1	0,20	0,44	0,26	0,032	0,010	0,01	131	20пс ГОСТ1050-74
2	0,45	0,67	0,32	0,032	0,016	0,98	229	45X ГОСТ4543- 71
3,9,10	0,33÷0,35	0,62	0,23÷0,24	0,025	0,023÷0,024	0,87÷0,88	197-207	35X ГОСТ4543- 71
4,11,12	0,14	0,46÷0,48	0,10÷0,11	0,022÷0,023	0,022÷0,023	0,03	116-131	15пс ГОСТ 1050-74
5,13	0,23÷0,25	0,52÷0,55	0,32÷0,35	0,028÷0,030	0,012÷0,013	0,06	149	25 ГОСТ 1050-74
6	0,41	0,62	0,26	0,01	0,017	0,91	187	40X ГОСТ 4543-71
7	0,31	0,61	0,24	0,022	0,021	0,86	179	30X ГОСТ 4543-71
8	0,28	0,56	0,11	0,05	0,05	0,03	156	Ст 5пс ГОСТ 380-71
14,15	0,38	0,7	0,25	0,0099	0,011	0,96	179-217	40X ГОСТ 4543-71
16	0,19	0,47	0,23	0,017	0,020	—	149	20 ГОСТ 1050-74

### 5. Рекомендации по повышению надежности узлов КГП

На основании результатов испытаний возможна разработка рекомендаций по совершенствованию технологии изготовления либо по изменению конструкции узлов крепления. Так, для повышения износостойкости элементов крепления предлагается при изготовлении арматуры методом горячей штамповки трущиеся поверхности усилить износостойкими сталями (рис. 5), обеспечивая надежность крепления межatomными связями при действии повышенных температур.

По результатам данной работы можно дать следующие рекомендации по повышению надежности энергооборудования:

- применять подходы и решения, ограничивающие возникновение усталостных повреждений линейной арматуры, связанные с воздействием на нее длительных циклических нагрузок;

- при применении узлов крепления типа КГП необходимо учитывать особенности структуры металла изделий;
- следует принять во внимание возможность проведения химико-термической обработки для увеличения поверхностной твердости и износостойкости деталей узлов крепления;
- для элементов, работающих в атмосфере агрессивной среды, применять более стойкие защитные покрытия;
- рассмотреть возможность применения узлов крепления с заданным пороговым значением надежности;
- обеспечить надежность за счет контроля технологических норм на всех стадиях строительного производства и эксплуатации.

При рассмотрении вопросов, связанных с использованием линейной сцепной арматуры, необходимо в дальнейшем выполнение анализа

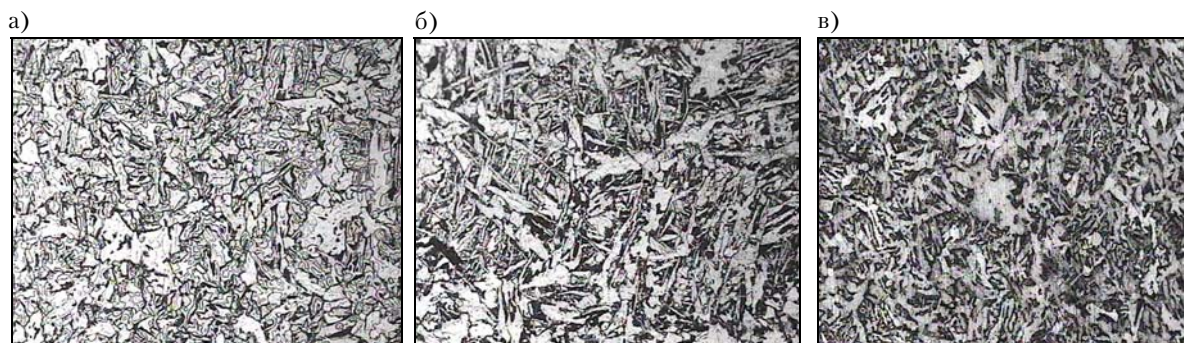


Рисунок 4. Характерная структура металла скоб СК: а) образец № 8; б) образец № 13; в) образец № 16.

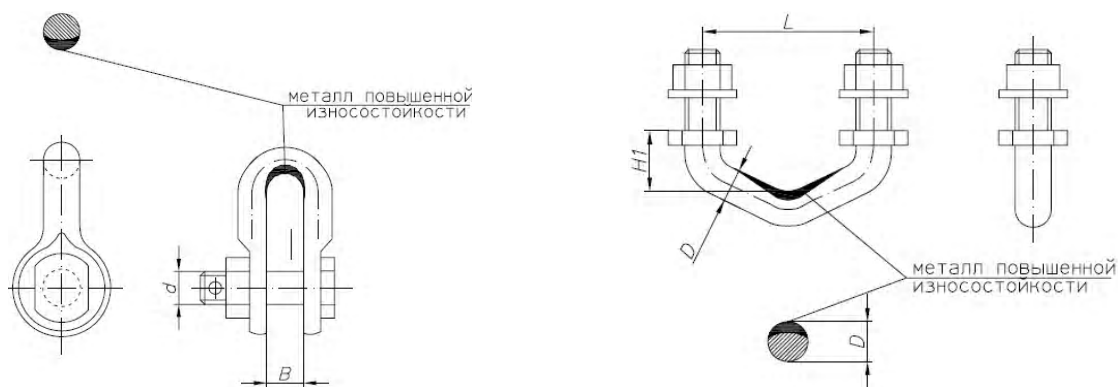


Рисунок 5. Схемы усиления скоб и U-образных болтов.



существующей нормативной документации. Отдельного изучения требует вопрос внедрения в практику приемочных испытаний на заводах-производителях линейной арматуры испытаний на воздействие вибрации и малоцикловых нагрузок, которые возникают при пляске проводов, в соответствии с зарубежными нормами, и в частности с нормами CIGRE [16, 17]. Арматура, создаваемая в странах Западной Европы, США, Канады, по сравнению с отечественной, запроектированной для аналогичных расчетных условий, значительно менее металлоемка, а по прочности и износоустойчивости имеет показатели значительно выше и, следовательно, более надежна (нормированная прочность зарубежной арматуры составляет 95 % от разрывной прочности провода, а отечественной — 90 %).

## Литература

1. Назим Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на ВЛ на примере Крымской ЭС / Я. В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // *Металеві конструкції*. — 2010. — Т. 16, № 1. — С. 61–74.
2. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.] // *Металеві конструкції*. — 2010. — Т. 16, № 2. — С. 81–97.
3. Пути повышения надежности ВЛ с учетом координаты прочности элементов в районах с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.] // *Сучасне промислове та цивільне будівництво*. — 2010. — Т. 6, № 2. — С. 113–130.
4. Арматура линейная. Термины и определения : ГОСТ 17613-80. — М. : Издательство стандартов, 1991. — 16 с. — (Государственный стандарт Союза ССР).
5. Арматура линейная. Общие технические условия : ГОСТ 13276-79. — М. : Издательство стандартов, 1991. — 18 с. — (Государственный стандарт Союза ССР).
6. Арматура линейная. Общие технические условия : ГОСТ Р 51177-98. — М. : Госстандарт России, 2005. — 10 с. — (Государственный стандарт Российской Федерации).
7. Арматура линейная. Правила приемки и методы испытаний : ГОСТ 2744-79. — М. : Издательство стандартов, 1991. — 18 с. — (Государственный стандарт Союза ССР).
8. Арматура линейная. Правила приемки и методы испытаний : ГОСТ Р 51155-98. — М. : Госстандарт России, 1998. — 18 с. — (Государственный стандарт Российской Федерации).
9. Арматура линейная. Ряд разрушающих нагрузок. Соединения деталей. Параметры и размеры: ГОСТ 11359-75\*. — М. : Издательство стандартов, 1999. — 3 с.
10. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ». — Офіц. вид. — К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. — III, 125 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
11. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи / [Горохов Е. В., Казакевич М. И., Турбин С. В., Назим Я. В.] ; под ред. Е. В. Горохова. — Донецк : [б. и.], 2005. — 348 с. — (Монография).
12. Колебания проводов воздушных линий под воздействием ветра : учебно-справочное пособие. — М. : ЗАО ЭССП, 2005. — 185 с.
13. Дубинич Л. А. Современный подход к испытаниям элементов / Л. А. Дубинич // *Материалы второй российской с международ. участием науч.-практ. конф. «Линии электропередачи 2006: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс»*, 5–8 июня 2006 г. — Новосибирск, 2006. — С. 298–309.
14. Overhead lines – Meteorological data for assessing climatic loads: IEC/TS 61774. — Geneva, Switzerland, 2000. — TR 2. Ed. 1. — 91 p. — (Technical report).
15. Design criteria of overhead transmission lines: IEC 60826. — Geneva, Switzerland, 2003. — Ed. 3. — 241 p. — (International standard of International Electrotechnical Commission).
16. Probabilistic design of overhead transmission lines : Companion document to «Improved design criteria of overhead transmission lines based on reliability concepts» // *CIGRE Brochure No. 109, December 1996. — Final version, July 2000. — SC 22, WG 06. — 124 p.*
17. Overhead Lines— Requirements and Tests for Fittings: IEC 61284. — Geneva, Switzerland, 1997. — Ed. 2. — 131 p. — (International standard of International Electrotechnical Commission).

**Назім Ярослав Вікторович** — к.т.н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури, член Української асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережових конструкцій, динамічні впливи на будівельні конструкції електромереж, особливості вітрових та ожеледних впливів на повітряні лінії електропередавання.

**Василев Володимир Миколайович** — к.т.н., професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури, начальник лабораторії випробування будівельних конструкцій і споруд. Наукові інтереси: вивчення дійсної роботи металевих конструкцій.

**Бакаєв Сергій Миколайович** — к.т.н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури, секретар Донецького відділення Академії будівництва України. Наукові інтереси: забезпечення надійної роботи та довговічності конструкцій опор повітряних ліній, порталів та стійок під обладнання відкритих розподільчих пристроїв електричних підстанцій в умовах підвищення потужностей енергоспоживання та з врахуванням умов та відмінностей їх експлуатації, проектування конструкцій з гарантованими показниками довговічності.

**Смирнова Наталія Сергіївна** — асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережових конструкцій, забезпечення безвідмовності повітряних ліній електропередавання на основі теорії управління ризиками.

**Агбаш Наталія Володимирівна** — аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: працездатність болтових з'єднань ґратчастих конструкцій з прокатних профілів.

**Назим Ярослав Вікторович** — к.т.н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, динамические нагрузки на строительные конструкции электросетей, особенности ветровых и гололедных воздействий на воздушные линии электропередачи.

**Васылев Владимир Николаевич** — к.т.н., профессор кафедры металлических конструкций ДонНАСА, начальник лаборатории испытания строительных конструкций и сооружений. Научные интересы: изучение действительной работы металлических конструкций.

**Бакаев Сергей Николаевич** — к.т.н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, секретарь Донецкого отделения Академии строительства Украины. Научные интересы: обеспечение надежной работы и долговечности конструкций опор воздушных линий, порталов и стоек под оборудование открытых распределительных устройств электрических подстанций в условиях повышения мощностей энергопотребления и с учетом условий и различий их эксплуатации, проектирования конструкций с гарантированными показателями долговечности.

**Смирнова Наталья Сергеевна** — аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, обеспечение безотказности воздушных линий электропередачи на основе теории управления рисками.

**Агбаш Наталья Владимировна** — аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: работоспособность болтовых соединений решетчатых конструкций из прокатных профилей.

**Yaroslav V. Nazim** – a Ph.D. (Engineering), an Assistant Professor of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a Member of the Ukrainian Association of Metal Structures. Research interests: operational reliability and durability of the network structures, dynamic loads on overhead power line structures, characteristic properties of wind and glazed ice exposure to the overhead power lines.

**Volodymyr M. Vasylev** – a Ph.D. (Eng.), a Professor of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a Chief of laboratory of test of build constructions and buildings. Scientific interests: study of a valid work of metal structures.

**Sergey M. Bakayev** – an Assistant Professor of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, the Secretary of the Donetsk Branch of the Civil Engineering Academy of Ukraine. Research interests: reliable operation supply and durability of the transmission line supports structures, portal frames and pillars underneath the equipment of outdoor switch-gears of electric substation in terms of the power consumption stepping-up and with regards to the conditions and distinctions of their operation, structural designing work with the guarantee indices of durability.

**Nataliia S. Smirnova** – a teaching fellow of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: operational reliability and durability of power supply structures, no-failure supply of overhead power lines on the basis of the risk management theory.

**Nataliya V. Agbash** – a postgraduate of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: serviceability of bolted joints of latticed structures from rolled sections.