



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2012, ТОМ 18, НОМЕР 2, 123–133

УДК 621.315+624.042

(12)-0264-1

ОЦІНКА РЕСУРСУ ВУЗЛА ПІДВІСУ ГІРЛЯНДИ ІЗОЛЯТОРІВ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ ПРИ ГАЛОПУВАННІ ПРОВОДІВ

Я. В. Назім, О. П. Брянський

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

Отримана 20 лютого 2012; прийнята 27 квітня 2012.

Анотація. У статті розглядається питання оцінки ресурсу вузла підвісу гірлянди ізоляторів ПЛ типу КГП при галопуванні проводів. Скінченно-елементна модель вузла створювалася за допомогою твердотілого моделювання в середовищі SolidWorks. Статичний розрахунок вузла кріплення гірлянди ізоляторів на навантаження від галопування проводів виявив великі напруження в зоні контакту U-подібного болта і скоби, а також в місцях перегину болта і в зоні першого витка різьби. Напруження на деяких ділянках перевищують межу текучості в 2 рази. Виконаний розрахунок на втому вузла КГП дозволив встановити, що втомний ресурс вузла при найнесприятливіших умовах частого галопування може становити не більше 1 року роботи. Запропоновано рекомендації щодо підвищення надійності вузла КГП.

Ключові слова: повітряні лінії електропередавання (ПЛ), вузол кріплення КГП, ресурс, втома, напружено-деформований стан, чисельне моделювання.

ОЦЕНКА РЕСУРСА УЗЛА ПОДВЕСА ГИРЛЯНДЫ ИЗОЛЯТОРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ ПЛЯСКЕ ПРОВОДОВ

Я. В. Назим, А. П. Брянский

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

Получена 20 февраля 2012; принята 27 апреля 2012.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос оценки ресурса узла подвеса гирлянды изоляторов ВЛ типа КГП при пляске проводов. Конечно-элементная модель узла создавалась посредством твердотельного моделирования в среде SolidWorks. Статический расчет узла крепления гирлянды изоляторов на нагрузку от галопирования проводов выявил большие напряжения в зоне контакта U-образного болта и скобы, а также в местах перегиба болта и в зоне первого витка резьбы. Напряжения на некоторых участках превышают предел текучести в 2 раза. Выполненный расчет на усталость узла КГП позволил установить, что усталостный ресурс узла при самых неблагоприятных условиях частой пляски может составлять не более 1 года работы. Предложены рекомендации по повышению надежности узла КГП.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи (ВЛ), узел крепления КГП ресурс, усталость, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование.

ESTIMATION OF RESOURCE OF CONDUCTOR/CLAMP SYSTEMS FOR OVERHEAD LINES AT GALLOPING OF CONDUCTORS

Yaroslav Nazim, Oleksii Brianskyi

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

Received 20 February 2012; accepted 27 April 2012.

Abstract. Questions of estimation of resource of conductor/clamp systems for overhead power lines (OPL) at galloping of conductors is examined in the article. The certainly-element model of fittings was created by means of design in the SolidWorks. The static calculation of fittings on loading from galloping of conductors exposed large stress in the area of contact of U screw-bolt and staple, and also in the places of bend of screw-bolt and in the area of the first coil of screw-thread. Stress on some areas exceed the limit of fluidity in 2 times. The executed calculation on the fatigue of fittings allowed to set that the tireless resource of knot at the most unfavorable terms of frequent galloping can make no more than 1 year of work. Offered to recommendation on the increase of reliability of conductor/clamp systems.

Keywords: overhead power lines (OPL), conductor/clamp systems, resource, fatigue, tensely-deformed state, numeral design.

Введение

Перемещения проводов воздушных линий электропередачи (ВЛ) при колебаниях вызывают циклические нагрузки динамического характера, а при определенных условиях – ударные нагрузки. Пляска (галомирование) и вибрация проводов являются главными факторами, приводящими к износу и усталостным повреждениям линейной арматуры ВЛ из-за длительного действия циклических поперечных и продольных нагрузок [1–2, 7–8, 10–12, 15–19]. Пляска является одной из наиболее опасных разновидностей колебаний. Анализ случаев пляски проводов на ВЛ 10–750 кВ показывает, что до 90 % случаев пляски приводит к нарушению режима работы ВЛ или к повреждению их элементов, причем только в 30 % случаев нарушения ограничиваются кратковременными отключениями, а в остальных случаях перебоями в работе линии делятся от нескольких часов до нескольких суток. Наиболее частый вид повреждений линий в результате пляски – перекрытие электрической дугой между фазами или тросами.

Возникающие при пляске проводов циклические динамические нагрузки разрушают в первую очередь узлы и детали, имеющие жесткую конструкцию и воспринимающие максимальные нагрузки. Наиболее интенсивному

воздействию, вызванному пляской проводов, в силу своих конструктивных особенностей подвержена линейная арматура, в частности узлы крепления гирлянд изоляторов типа КГП (рис. 1). При этом нормативная документация на линейную арматуру, которая используется в Украине, регламентирует только механические испытания статическими нагрузками [6].

Кроме усталости металла, возникает механическое истирание скоб, болтов крепления в узлах подвеса гирлянд изоляторов, которое приводит к ослаблению сечений, потере несущей способности и как следствие – обрыву гирлянд изоляторов с последующим падением провода. Аварии наносят колоссальный на ВЛ ущерб энергетическим предприятиям и потребителям электрической энергии. Наиболее масштабная авария, приведшая к каскадному разрушению ВЛ из-за отказа узла КГП, произошла 19 декабря 2009 года на ВЛ 330 кВ «Каховская-Джанкой» в 20 км от г. Краснопереконск, в результате которой было повреждено 16 металлических промежуточных опор [3–5]. Во время аварии на проводах ВЛ наблюдалось отложение сверхнормативного стекловидного льда при температуре наружного воздуха +2 °С и скорости ветра 15–20 м/с с порывами до 25 м/с. Обледенение сопровождалось интенсивной пляской проводов.

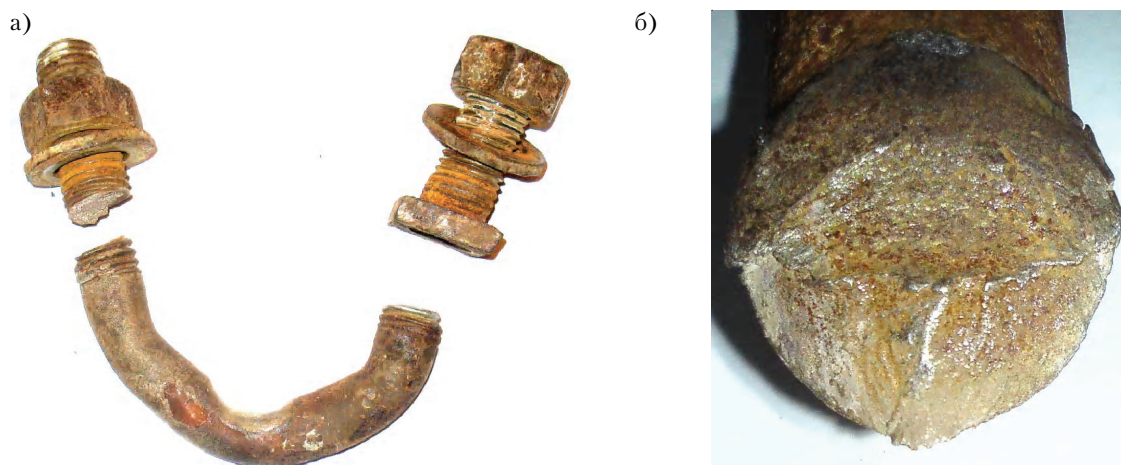


Рисунок 1. Характерные повреждения линейной арматуры: а – механический износ и разрыв U-образного болта; б – характер разрушения на изломе скобы СК-12.1.

1. Характеристика линейной сцепной арматуры

Линейная сцепная арматура предназначена для соединения элементов, изолирующих подвесок, и крепления проводов ВЛ и молниезащитных тросов к опорам. К ней относятся узлы крепления, скобы, серьги, ушки, звенья промежуточные, звенья монтажные, коромысла.

Узлы крепления типа КГП (рис. 2) предназначены для крепления посредством U-образного болта к металлическим траверсам опор, поддерживающих подвески проводов, и молниезащитных тросов с подвижностью в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Узлы КГП комплектуются скобой типа СК. Скобы предназначены для перехода с шарнирного цепного соединения на соединение типа «палец-проушина», изменения расположения оси шарнирности, сцепления арматуры, рассчитанной на разные нагрузки.

2. Прогнозирование усталостного ресурса конструкции узла крепления КГП по методу Палмгрена-Майнера

Как известно, ресурс – это допустимый срок службы изделия. Указывается в виде общего времени наработки или числа циклов нагружения конструкции. При большом числе циклов ($N > 10^5$) пластические деформации отсутствуют (усталостное разрушение). В промежуточной области ($10^2 < N < 10^5$) разрушение носит

смешанный характер (малоцикловое статическое разрушение).

Повторяющиеся операции приложения нагрузки и разгрузки со временем приводят к ослаблению элементов, даже если индуцированные напряжения намного меньше, чем допустимые ограничения нагрузки. Данное явление называется усталостью материалов. Каждый цикл колебания напряжений в некоторой степени ослабляет элемент. После некоторого количества циклов элемент разрушается. Усталость является основной причиной выхода из строя многих металлических конструкций, которые подвержены постоянным динамическим воздействиям.



Рисунок 2. Конструкция узла крепления типа КГП.

В процессе эксплуатации ВЛ элементы конструкции опор, в частности узлы подвеса, испытывают значительные циклические нагрузки от явлений вибрации и пляски проводов. Вследствие длительного воздействия таких нагрузок образуются усталостные повреждения линейной арматуры. Примером тому может являться 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. Для определения надежности арматуры необходимо определить ее прочность при действии статических и циклических нагрузок, возникающих от ветра, гололеда и различных форм колебаний проводов.

Усталостные повреждения линейной арматуры в процессе эксплуатации ВЛ могут носить накопительный характер и проявляться после достаточно длительной эксплуатации ВЛ. В некоторых случаях процессы износа элементов линейной арматуры могут протекать интенсивно и становятся постоянным источником отказов ВЛ. При уменьшении сечения в наиболее изношенных местах до 10 % техническое состояние арматуры считается исправным, до 20 % – работоспособным, более 20 %, а также при наличии трещин, раковин, значительных (более

2 % площади) фрагментов со сплошной коррозией и отслоением защитного покрытия – не работоспособным.

В данной работе, производился расчет прочности и прогнозирование усталостного ресурса узла крепления гирлянды изолятора типа КПП-12-1. Для предсказания усталостного ресурса материала применялся метод Палмгрена-Майнера, основанный на S-N кривых (рис. 3). Результаты статического, нелинейного или динамического исследования модальной временной диаграммы могут использоваться в качестве базиса для определения исследования усталости. Количество циклов, требуемое для усталостного разрушения в местоположении, зависит от материала и колебаний напряжения.

Информация для определенного материала обеспечивается кривой, называемой S-N кривая. S-N кривые показывают число циклов N, которое образец может выдержать до разрушения. Все циклы в испытании имеют определенный размах напряжений или амплитуду и измерение на одном образце дает одну точку на кривой. Естественно, общая тенденция такова, что чем меньше размах напряжений S, тем больше ресурс N. Кроме того, участки кривых зависят от нескольких физических факторов и могут быть представлены в различных математических формах. Кривые могут содержать, либо

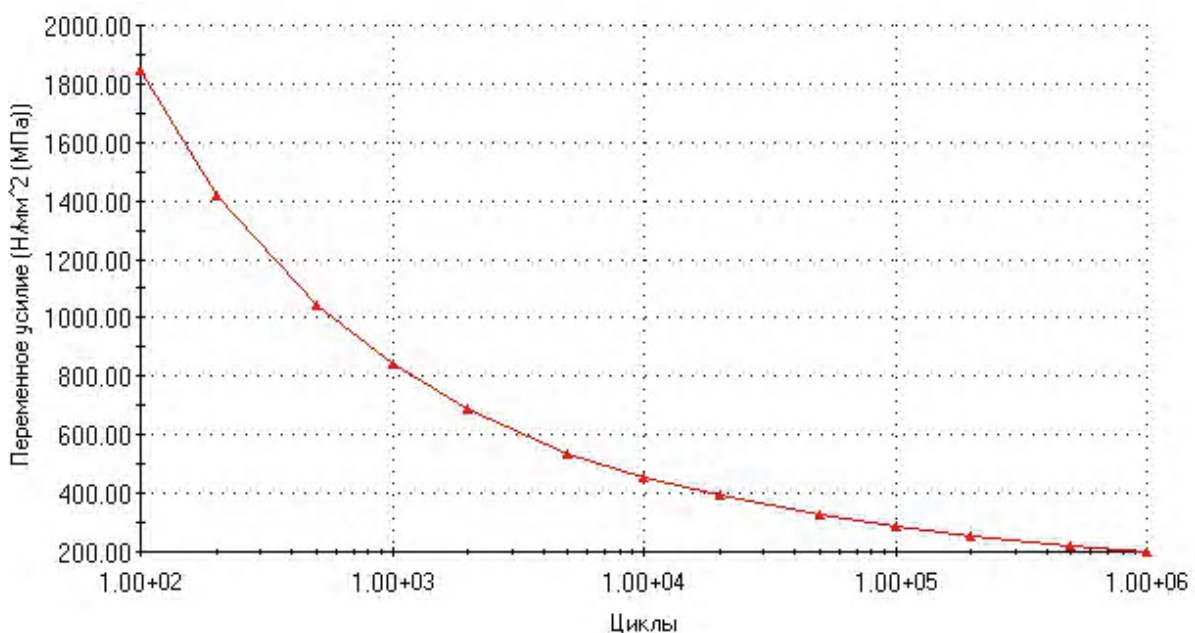


Рисунок 3. Кривая усталости стали.

не содержать предел усталости (предел выносливости) S_0 , т. е. нижний предел размаха напряжений S , ниже которого ресурс бесконечен.

Теория накопленного повреждения предполагает, что цикл напряжений со знакопеременным напряжением выше предела усталости, определяемого измеряемым неустранимым повреждением. Также предполагается, что полное разрушение, вызванное множеством циклов напряжения, равно сумме повреждений, вызванных отдельными циклами напряжений.

Формула Палмгрена-Майнера определяет накопленные усталостные повреждения через переменные, входящие в коэффициент использования η :

$$\eta = \sum \frac{n(S)}{N(S)},$$

где S – амплитуда напряжений или размах напряжений (т. е. двойная амплитуда); η – коэффициент использования, свидетельствующий о разрушении при $\eta = 1$; $n(S)$ – действительное число циклов с амплитудой напряжений или размахом S ; $N(S)$ – число циклов до разрушения N_j при амплитуде напряжений или размахе S .

Степень повреждения, также называемая коэффициентом использования, представляет собой отношение израсходованной долговечности конструкции. Степень повреждения 0,35 означает, что израсходовано 35 % ресурса конструкции. Разрушение от усталости происходит при степени повреждения 1,0.

Правило Майнера не учитывает влияние последовательности нагружения, т. е. оно прогнозирует, что вызванное циклом напряжений разрушение является независимым от того, где оно появляется в хронологии нагрузок. Также предполагается, что степень накопления разрушения не зависит от уровня напряжения. Наблюдаемое поведение означает, что трещины появляются в нескольких циклах с большими амплитудами напряжения, тогда как почти весь срок службы затрачивается на инициацию трещин при низких амплитудах напряжения.

Для расчета конструкции узла КГП-12-1 использовался модуль конечно-элементного анализа COSMOS-Works, интегрированный в систему пространственного моделирования SolidWorks. COSMOS-Works включает подмо-

дули для решения линейных и нелинейных, статических и динамических задач анализа конструкций, решения ряда специальных задач, таких как усталостная прочность при циклических нагрузках. COSMOS-Works позволяет оценивать прочность элементов по четырем критериям прочности:

- максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу (4 теория прочности);
- максимальные касательные напряжения;
- Мора-Кулона;
- максимальные нормальные напряжения.

Критерий Мизеса определяет момент исчерпания несущей способности сравнением величины эквивалентного напряжения с пределом текучести материала. Эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}}$ в некоторой точке тела рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения.

При этом эквивалентное напряжение не зависит от ориентации площадки, на которой оно действует, то есть является инвариантным.

Подмодуль расчета на усталостную прочность использует результаты расчета напряжений, полученные в результате статического либо динамического расчета. Подмодуль позволяет оценить усталостную долговечность (коэффициент запаса при усталостной эксплуатации) механической конструкции при циклическом нагружении. Расчет на усталостную прочность основан на правиле Майнера, используя усталостную кривую стали.

3. Моделирование узла подвеса гирлянды изоляторов типа КГП-12-1

Модель узла крепления типа КГП-12-1 создавалась посредством твердотельного моделирования в среде SolidWorks. Для построения модели учитывались геометрические параметры U-образного болта и скобы. Для более корректного отображения работы соединения были дополнительно смоделированы элемент траверсы опоры ВЛ, к которому закрепляется U-образный болт (стальная пластина), а также фиксирующие гайки по обе стороны от пластины. По торцам пластина закреплена от

перемещений по осям x , y , z . Для более точной передачи нагрузки на скобу СК были дополнительно смоделированы элементы подвеса – палец и серьга (рис. 4). Параметры сетки МКЭ: сетка – треугольная, с размером стороны ячейки – 4 мм, количество ячеек – 45 768.

Нагрузка на узел подвеса гирлянды изолятора типа КГП-12-1 задавалась как статическая, полученная из расчета на воздействие от пляски проводов, с использованием математической модели галопирования, описанной в работе [14]. Принятая аналитическая модель пляски проводов позволяет определять вертикальные и дополнительные горизонтальные усилия на подвес изолятора при нечетном количестве полувольт в пролете для расчета конструкции опоры ВЛ. В результате расчета опоры ВЛ на динамическое воздействие от пляски проводов установлено, что наиболее неблагоприятной для конструкции является пляска с одной полувольтной в пролете, вызывающая наибольшие усилия в элементах опоры. Величина усилия растяжения в моделируемом узле составила 17,5 кН.

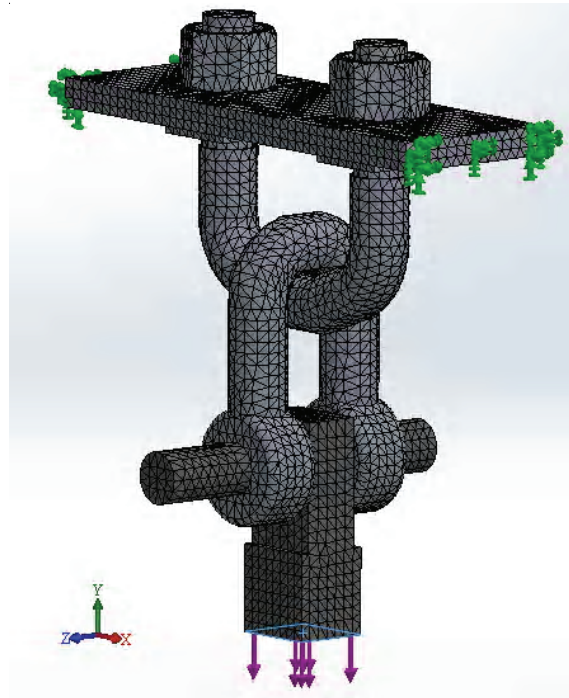


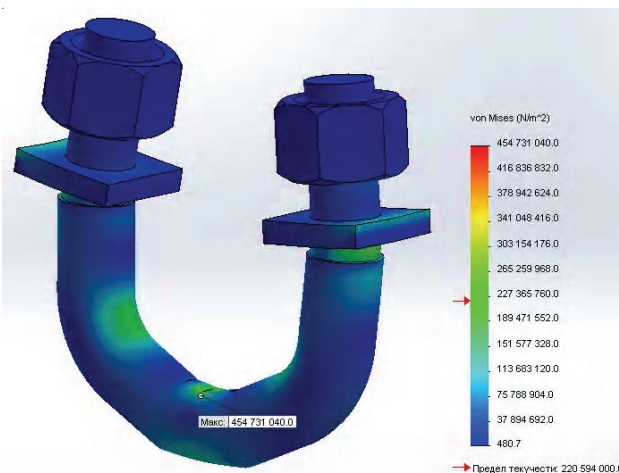
Рисунок 4. Конечно-элементная модель узла крепления гирлянды изолятора типа КГП-12-1.

4. Анализ напряженно-деформированного состояния узла крепления гирлянды изоляторов типа КГП-12-1

Выполнялся статический расчет и расчет на усталость узла типа КГП-12-1. Напряжения и деформация элементов узла при статическом расчете показаны на рис. 5–6.

Статический расчет узла крепления показал, что наибольшие напряжения возникают в зоне контакта U-образного болта и скобы, а также на перегибах U-образного болта и в зоне первого витка резьбы, т. е. в зонах концентраторов напряжений. Напряжения в этих местах превышают предел текучести материала в 2 раза.

а)



б)

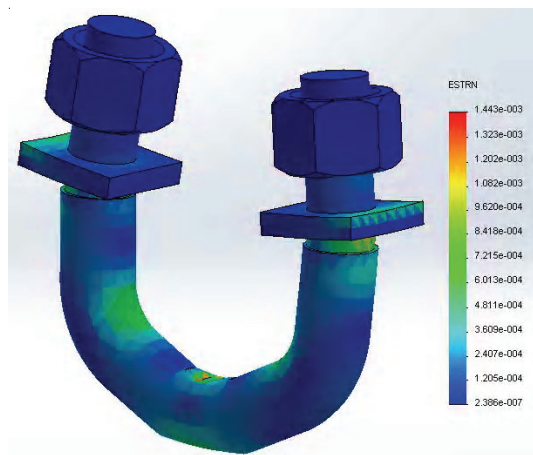


Рисунок 5. НДС U-образного болта при статической нагрузке: а – напряжения; б – деформация.

Расчет на усталость выявил наиболее слабые участки узла крепления КГП-12-1 (рис. 7). Установлено, что элементом узла КГП, наиболее подверженным усталостному повреждению при вертикальном приложении нагрузок, является U-образный болт (в месте подвеса скобы СК). Расчет показал, что приблизительно через 1608 циклов загрузки-разгрузки, диаметр U-образного болта в зоне контакта со

скобой уменьшится приблизительно на 10 % от первоначального. Интенсивность повреждения скобы СК несколько ниже, чем U-образного болта.

Результаты расчетов не выявили подобной интенсивности повреждения резьбовой части болта, следовательно, разрушение болтов в резьбовой части в отсутствии горизонтальных воздействий, возникающих при пляске, вызвано,

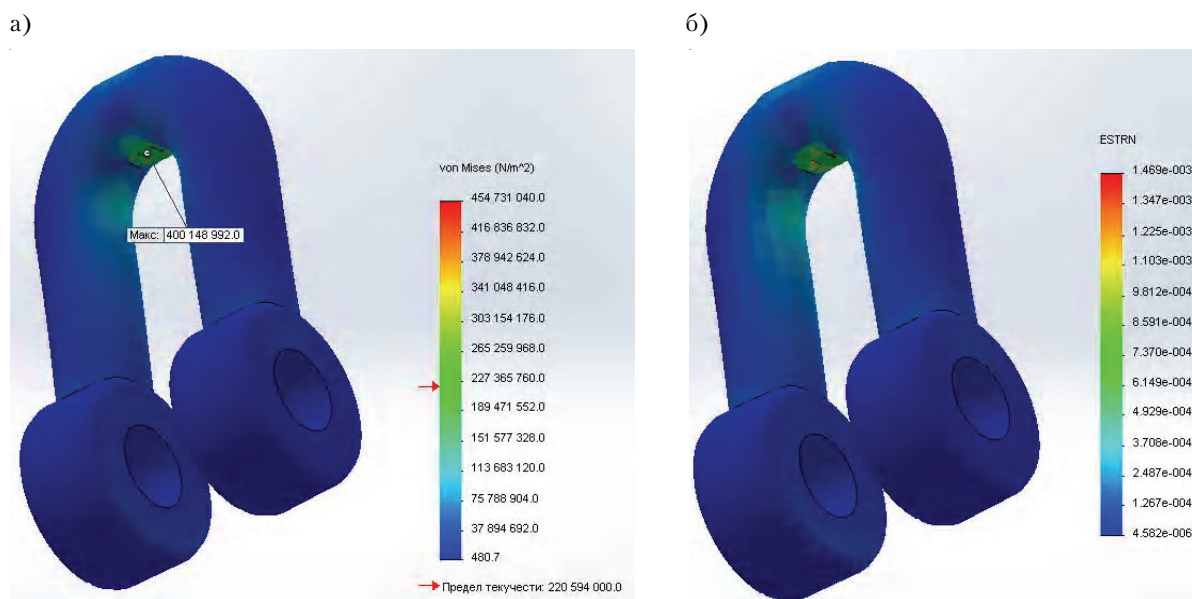


Рисунок 6. НДС скобы СК при статической нагрузке: а – напряжения; б – деформация.

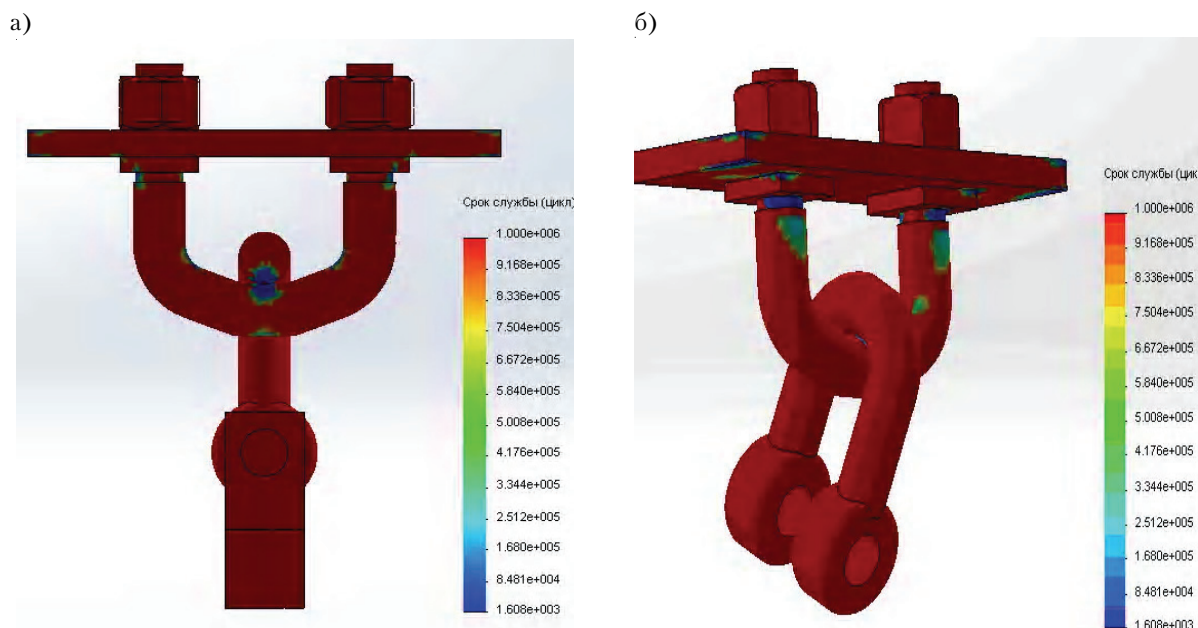


Рисунок 7. Срок службы (в циклах) узла крепления типа КГП-12-1 при расчете на усталость: а – при вертикальном приложении нагрузок; б – при дополнительной горизонтальной нагрузке от пляски.

в основном, нарушениями правил монтажа (недостаточной затяжкой нижних квадратных гаек). Однако, при дополнительных динамических горизонтальных нагрузках во время пляски, уже через 2 000 циклов начинаются развиваться микротрещины в зоне резьбы, что может вызвать разрушение U-образного болта в зоне первого витка резьбы (рис. 1), что чаще всего и имеет место при отказах ВЛ [3–4].

Данный вид усталости относится к малоцикловой усталости, т. к. количество циклов не превышает 50 000. Если учесть, что период одного колебания при пляске с одной до трех полуволн изменяется в пределах от 2,5 до 4,5 сек. Тогда за час непрерывной пляски произойдет от 800 до 1 440 циклов загрузки-разгрузки узла. Значит, за один час интенсивной пляски при самых неблагоприятных метеорологических условиях сечение элементов узла крепления типа КГП-12-1 может уменьшиться на 10 %. Явление пляски на отдельных линиях достигает от 15 до 25 часов в год. На основании этого можно сделать вывод, что усталостный ресурс крепления КГП-12-1 при самых неблагоприятных условиях частой пляски может составлять не более 1 года работы, в то время как срок службы линейной арматуры согласно п. 3.1.10 [13] должен составлять не менее 25 лет.

В целом этот вывод подтверждается полевыми наблюдениями, поскольку интенсивность повреждения элементов узла КГП в ходе пляски проводов является чрезвычайно высокой.

5. Прогнозирование остаточного ресурса ВЛ

Прогнозирование остаточного ресурса компонентов длительно эксплуатируемых ВЛ в виде ожидаемых потоков отказов или темпов потери их несущей способности возможно только на основе расчетной модели прочности компонентов и с учетом факторов их старения.

Для прогнозирования ожидаемых отказов, связанных с воздействием гололедно-ветровых нагрузок, в вероятностные расчёты надёжности ВЛ наряду с данными о темпах износа компонентов ВЛ необходимо вводить также значения максимальных гололедно-ветровых нагрузок с повторяемостью, регламентированной ПУЭ [13] для разных классов напряжений. Это даст возможность оценить масштабы ожида-

емых повреждений и затраты, связанные с устранением разрушений ВЛ, а также установить период эксплуатации ВЛ, после которого становится экономически целесообразной реконструкция ВЛ с заменой компонентов ВЛ, не удовлетворяющих технико-экономическим показателям.

6. Рекомендации по повышению надёжности узлов КГП

На основании статического и усталостного расчёта можно предложить следующие рекомендации по повышению надёжности узла крепления:

- предварительный расчёт узла КГП на выявление усталостного ресурса, применение узлов крепления с уже известным пороговым значением надёжности;
- испытания узлов КГП на усталость при действии циклических нагрузок [9, 20];
- использование более износостойких сталей в элементах конструкции (особенно в месте контакта U-образного болта со скобой) [4], которые обеспечивают надёжность крепления межатомными связями при действии повышенных температур;
- увеличение диаметра U-образного болта на резьбовой части для уменьшения влияния концентратора напряжения;
- применение подходов и решений, позволяющих ограничивать усталостные повреждения линейной арматуры [19];
- применение стойких защитных покрытий для защиты от агрессивной окружающей среды;
- необходимость постоянного мониторинга состояния узлов крепления гирлянд изоляторов, своевременность замены узлов крепления на новые.

Заключение

1. Статический расчёт узла крепления гирлянды изоляторов типа КГП-12-1 на нагрузку от галопирования проводов показал большие напряжения в зоне контакта U-образного болта и скобы, а также в местах перегиба болта и в зоне первого витка резьбы. Напряжения на некоторых участках превышают предел текучести в 2 раза.

2. Выполнен расчет на усталость узла крепления типа КГП-12-1. Расчет позволил установить, что усталостный ресурс узла при самых неблагоприятных условиях частой

пляски может составлять не более 1 года работы.

3. Предложены рекомендации по повышению надежности узла КГП.

Литература

1. Аэродинамика электросетевых конструкций [Текст] : [Моногр.] / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. Н. Шаповалов, Я. В. Назим ; Под ред. Е. В. Горохова, М. И. Казакевича. – Донецк : [б. и.], 2000. – 336 с.
2. Ветровые и гололедные воздействия на воздушные линии электропередачи [Текст] : [Моногр.] / Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим ; Под ред. Е. В. Горохова. – Донецк : [б. и.], 2005. – 345 с.
3. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» [Текст] / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.] // Металеві конструкції. – 2010. – Т. 16, № 2. – С. 75–92.
4. Экспериментальные исследования узлов крепления типа КГП для обеспечения надежности ВЛ [Текст] / Я. В. Назим, В. Н. Васылев, С. Н. Бакаев [и др.] // Металеві конструкції. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 199–208.
5. Пути повышения надежности ВЛ с учетом координации прочности элементов в районах с повышенными гололедно-ветровыми нагрузками [Текст] / Е. В. Горохов, Я. В. Назим, В. Н. Васылев [и др.] // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2010. – Т. 6, № 2. – С. 113–130.
6. ГОСТ 13276-79. Арматура линейная. Общие технические условия [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 18 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
7. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Справочник проектировщика [Текст] / Под ред. Б. Г. Коренева, Н. М. Рабиновича. – М. : Стройиздат, 1981. – 215 с.
8. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций. Справочник проектировщика [Текст] / Под ред. Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1981. – 461 с.
9. Дубинич, Л. А. Современный подход к испытаниям линейной арматуры ВЛ [Текст] / Л. А. Дубинич // Энергетик. – 2008. – № 4. – С. 17–20.
10. Роулэнс, Ч. Колебания проводов воздушных линий под воздействием ветра. Усталостная прочность. Вибрация. Часть 1 [Текст] : учебно-справочное пособие / Ч. Роулэнс. – М. : ЗАО ЭССП, 2005. – 185 с.
11. Крюков, К. П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи [Текст] : [Моногр.] / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергия, 1979. – 312 с.

Литература

1. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Kazakevich, M. I. (Ed.); Shapovalov, S. N.; Nazim, Ya. V. Aerodynamics of the power supply structures. Monograph. Donetsk, 2000. 336 p. (in Russian)
2. Gorokhov, Ye. V. (Ed.); Kazakevich, M. I.; Turbin, S. V.; Nazim, Ya. V. Wind and ice loading on overhead power transmission lines. Monograph. Donetsk, 2005. 345 p. (in Russian)
3. Gorokhov, Ye. V.; Bakayev, S. N.; Nazim, Ya. V.; Morgay, V. V.; Popov, M. S. Failure cause and consequence analysis at the high-voltage (330 kV) line sections of the Dzhankoy local electrical power station of the Crimean electrical power system of the NEC «Ukrenergo». In: *Metal Constructions*, 2010, Vol. 16, No. 2, p. 75–92. (in Russian)
4. Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. M.; Bakaev, S. M.; Smirnova, N. S.; Agbash, N. V. Engineering research of hinges to provide reliability of overhead power lines (OPL). In: *Metal Constructions*, 2010, Vol. 16, No. 3, p. 199–208. (in Russian)
5. Gorokhov, Ye. V.; Nazim, Ya. V.; Vasylev, V. M.; Leshchenko, O. O.; Garanzha, I. M.; Smirnova, N. S. Ways of increasing overhead power transmission line reliability regarding the coordination of component strength in the areas with a higher ice and wind loads. In: *Modern Industrial And Civil Construction*, 2010, Vol. 6, No. 2, p. 113–130. (in Russian)
6. GOST 13276-79. Overhead Line Hardware. General Specifications. Moscow: Publishing standards, 1991. 18 p. (in Russian)
7. Korenev, B. G. (Ed.); Rabinovich, N. M. (Ed.) Dynamic Analysis of Constructions for Special Effects. Reference Book of Design Engineer. Moscow: Stroiizdat, 1981. 215 p. (in Russian)
8. Korenev, B. G. (Ed.); Smirnov, A. F. (Ed.) Dynamic Analysis of Special Engineering Constructions. Reference Book of Design Engineer. Moscow: Stroiizdat, 1981. 461 p. (in Russian)
9. Dubinich, L. A. Modern Approach for Overhead Line Accessories. In: *Power Engineer*, 2008, No. 4, p. 17–20. (in Russian)
10. Roulens, Ch. Overhead Wires Oscillation Affected by Wind. Endurance Strength. Vibration. Part 1. Educational Reference Book. Moscow: ZAO YeSSP, 2005. 185 p. (in Russian)
11. Kriukov, K. P.; Novgorodtsev, B. P. Design and Mechanical Calculation of Electric Power Lines. Monograph. 2nd ed. Leningrad: Energiya, 1979. 312 p. (in Russian)

12. Миронов, Е. П. Пляска проводов на воздушных линиях [Текст] / Е. П. Миронов. – М. : Госэнергоиздат, 1955. – 53 с.
13. Правила улаштування електроустановок. Глава 2.5 «Повітряні лінії електропередачі напругою вище 1 кВ до 750 кВ» [Текст]. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. – III, 125 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
14. Dynamic loads on transmission line structures due to galloping conductors [Текст] / M. A. Baenziger, W. D. James, B. Wouters, L. Li // *IEEE Transactions on Power Delivery*. – 1994. – Vol. 9, No. 1. – P. 40–49.
15. Hunt, J. C. R. Overhead-line Oscillations and the Effect of Aerodynamic Dampers [Текст] / J. C. R. Hunt, D. J. W. Richards // *IEEE Proceedings*. – 1969. – Vol. 116 (II). – P. 1869–1874.
16. Irvine, H. M. Cable Structures [Текст] / H. M. Irvine. – Cambridge, Mass. : The MIT Press, 1981. – 259 p.
17. Jones, K. F. Coupled vertical and horizontal galloping [Текст] / K. F. Jones // *J. Eng. Mech.* – 1992. – Vol. 18, No. 1. – P. 92–107.
18. Rawlins, C. B. Analysis of Conductor Galloping Field Observations – Single Conductors [Текст] / C. B. Rawlins // *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. – 1981. – Vol. PAS-100. – P. 3744–3753.
19. State of the Art of Conductor Galloping [Текст] : Task Force B2.11.06 : Brochure No. 322 / by J-L. Lilien & D. G. Havard. – Paris: CIGRÉ, 2007. – 139 p. – ISBN 978-2-85873-011-7.
20. Overhead Lines – Requirements and Tests for Fittings: IEC 61284 [Текст]. – Ed. 2. – Geneva, Switzerland : International Electrotechnical Commission, 1997. – 131 p. – (International Standard).
12. Mironov, E. P. Conductor Galloping on Overhead Lines. Moscow: Gosenergoizdat, 1955. 53 p. (in Russian)
13. 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)
14. Baenziger, M. A.; James, W. D. Wouters, B.; Li, L. Dynamic loads on transmission line structures due to galloping conductors. In: *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1994, Vol. 9, No. 1, p. 40–49.
15. Hunt, J. C. R.; Richards, D. J. W. Overhead-line Oscillations and the Effect of Aerodynamic Dampers. In: *IEEE Proceedings*, 1969, Vol. 116 (II), p. 1869–1874.
16. Irvine, H. M. Cable Structures. Cambridge, Mass.: The MIT Press, 1981. 259 p.
17. Jones, K. F. Coupled vertical and horizontal galloping. In: *J. Eng. Mech.*, 1992, Vol. 18, No. 1, p. 92–107.
18. Rawlins, C. B. Analysis of Conductor Galloping Field Observations – Single Conductors. In: *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1981, Vol. PAS-100, p. 3744–3753.
19. State of the Art of Conductor Galloping. Task Force B2.11.06. Brochure No. 322 / by J-L. Lilien & D. G. Havard. Paris: CIGRÉ, 2007. 139 p. ISBN 978-2-85873-011-7.
20. Overhead Lines – Requirements and Tests for Fittings: IEC 61284. Ed. 2. Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission, 1997. 131 p. (International Standard).

Назим Ярослав Вікторович – к.т.н., доцент; 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 – SIGRE. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність та довговічність електромережних конструкцій, динамічні впливи на будівельні конструкції електромереж.

Брянський Олексій Петрович – магістрант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури, стажист Будівельного факультету Чеського технічного університету в Празі за програмою VSP-EaP-2011. Наукові інтереси: динамічний розрахунок конструкцій ПЛ на аварійні навантаження.

Назим Ярослав Вікторович – к.т.н., доцент; 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 – SIGRE. Научные интересы: эксплуатационная надежность и долговечность электросетевых конструкций, динамические нагрузки на строительные конструкции электросетей.

Брянский Алексей Петрович – магистрант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, стажер Строительного факультета Чешского технического университета в Праге по программе VSP-EaP-2011. Научные интересы: динамический расчет конструкций ВЛ на аварийные нагрузки.

Nazim Yaroslav – a Ph.D. (Eng.), Associate Professor; 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.

Brianskyi Oleksii – student of Master's Studies at Metal Structures department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, scholarship VSP-EaP-2011 at Faculty of Civil Engineering at Czech Technical University in Prague. His research interests include dynamic analysis structures of overhead lines by emergences loads.