



УДК 624.074.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ОПОР

И.З. Гатиятов¹, Л.С. Сабитов^{1,2}, Н.Ф. Кашапов², И.Р. Гильманшин²,
И.К. Киямов²

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

gatiyatov.iz@kgeu.ru

Резюме: Известные способы испытания опор создают продольные и поперечные статические нагрузки, приложенные к опоре. В реальных условиях эксплуатации значительная часть повреждений опор связана с воздействием на них динамических нагрузок, которые могут превосходить статические. Предложенный способ позволит провести экспериментальные исследования процессов каскадного разрушения анкерного участка вследствие обрыва проводов, когда потенциальная энергия натяжения проводов преобразуется в динамическое воздействие на конструкцию опор.

Ключевые слова: надежность, способ испытания, динамические нагрузки, система опор.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-129-137

Для цитирования: Гатиятов И.З., Сабитов Л.С., Кашапов Н.Ф., Гильманшин И.Р., И.К. Киямов Способы и установки контроля опор из трубчатых стержней, применяемых в энергетическом строительстве при воздействии на них статических и динамических нагрузок // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 9-10. С. 129-137. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-129-137.

THE DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE OF DYNAMIC TESTS OF SUPPORTS

I.Z. Gatiyatov¹, L.S.Sabitov^{1,2}, N.F.Kashapov², I.R.Gilmanshin², I.K.Kiyamov²

¹Kazan state power engineering University, Kazan, Russia

²Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

gatiyatov.iz@kgeu.ru

Abstract: Known methods of testing supports create longitudinal and transverse static load applied to the support. In real conditions the majority of the damage of the supports is connected with the influence on them of dynamic loads, which can exceed the static. The proposed method allows to conduct experimental studies of cascade processes of destruction of anchor site due to a wire breakage, when the potential energy of the tension wires is converted into a dynamic influence on the design of supports.

Keywords: reliability, testing method, dynamic loads, support system.

For citation: I.Z. Gatiyatov, L.S. Sabitov, N.F. Kashapov, I.R. Gilmanshin, I.K. Kiyamov Methods and systems of inspection of supports of tubular rods used in power engineering construction when exposed to static and

Металлические и железобетонные опоры нашли широкое применение в практике сетевого строительства. Они обладают рядом преимуществ перед деревянными опорами и сооружаются на особо ответственных линиях, где требуется высокая эксплуатационная надежность, а также на территории больших городов и поселков. Кроме того, металлические опоры устанавливаются на больших переходах через реки и другие инженерные сооружения, в промышленных районах и на горных участках.

Оценка влияния на прочность и деформативность опор динамических нагрузок, связанных, например, с обрывом проводов, вследствие гололедных аварий или усталостных колебательных повреждений на выходе из поддерживающего зажима, в настоящее время проводится только с помощью различных компьютерных программ.

Известные способы испытания опор создают продольные и поперечные нагрузки, приложенные к опоре [1]. Недостатком этих способов является то, что напряженно-деформированное состояние конструкции опоры производят при приложении к ней статических нагрузок, при том что в реальных условиях эксплуатации значительная часть повреждений опор связана с воздействием на них динамических нагрузок, которые могут превосходить статические почти в два раза [2].

Близким аналогом к предложенному является способ динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи, включающий: закрепление на верхней части опоры конца тросовой тяги с калиброванной разрывной вставкой и динамометром, другой конец которой соединен с лебедкой; воздействие на опору импульсной нагрузкой, создаваемой в результате разрыва калиброванной на заданное усилие вставки при натяжении лебедкой тросовой тяги до этого усилия, и определение отклика опоры на воздействие импульса нагрузки [3, 4]. Недостатком известного способа является то, что согласно ему предусмотрено проведение динамических испытаний только единичной стойки опоры воздушных линий электропередачи без учета действия на опору вертикальных нагрузок от собственного веса проводов и гололеда, а также упругого натяжения проводов.

Технический результат настоящего изобретения заключается в обеспечении динамических испытаний единой системы опор, объединенных упругими механическими связями в виде тросовых тяг с встроенными пружинами растяжения, моделирующей реальный анкерный участок для определения их динамических характеристик как в расчетных условиях, так и в аварийных режимах, вызванных воздействием гололедных нагрузок, превышающих предельные значения, включающих разрушение конструкций опор.

Достижение этого технического результата обеспечивается за счет того, что в известном способе, описанном выше, на основании силовой прямоугольной рамы стенда для динамических испытаний опор устанавливают не менее трех промежуточных опор, моделирующих анкерный участок, в котором боковые стойки рамы представляют собой макеты анкерных опор. На изоляторах, установленных на траверсах, закрепляют тросовые тяги с встроенными в них калиброванными разрывными вставками, динамометрами и пружинами растяжения. При этом зависимость между усилием растяжения и удлинением пружины соответствует зависимости силы натяжения провода в реальном пролете от его удлинения, вызванного воздействием на провод нагрузки от собственного веса провода и веса гололеда. Кроме того, концы тросовых тяг через блоки, установленные на верхней части боковой стойки рамы, соединяют с соответствующими лебедками, закрепленными на основании рамы. Наряду с этим, на каждом изоляторе опоры закрепляют тарировочный груз, вес которого равен разности между весом провода в реальном пролете и весом тросовой тяги с встроенными в нее калиброванной разрывной вставкой, динамометром и

пружиной растяжения, которая закреплена в пролете между двумя опорами, установленными на стенде. Натяжение тросовых тяг с помощью лебедок осуществляют до разрыва одной из калиброванных вставок, рассчитанных на минимальное усилие натяжения тросовой тяги, определяемое нагрузкой от собственного веса провода в пролете. При разрыве калиброванной вставки определяют отклик промежуточных опор на воздействие импульсной нагрузки, включая измерение амплитуды и собственной частоты колебаний опор, с помощью датчиков перемещения, установленных на верхней балке рамы. При этом тензодатчиками определяют механические напряжения в критических точках конструкций опор в период воздействия на опоры импульсной нагрузки.

Аналогичным путем повторяют описанные операции после закрепления на изоляторах дополнительных грузов, вес которых соответствует весу гололеда с возрастающей толщиной его стенки (включая ее максимальное значение). С учетом увеличения силы натяжения провода в пролете повышают величину усилия разрыва калиброванной вставки до значения, соответствующего этой дополнительной нагрузке и собственному весу провода.

После окончания испытаний по моделированию воздействия на провод гололеда с максимальной толщиной стенки устанавливают величину усилия разрыва калиброванной вставки (равную усилию разрыва провода), и за счет натяжения тросовой тяги производят разрушение наименее прочной конструкции опоры (при этом вследствие редукации тяжения проводов разрушаются конструкции опор в соседних с аварийным пролетах). Регистрируют основные параметры процесса разрушения конструкций опор и определяют коэффициенты динамичности опор.

Установка не менее трех промежуточных опор на основании силовой прямоугольной рамы, моделирующей анкерный участок, в котором боковые стойки рамы представляют собой макеты анкерных опор, закрепление на изоляторах, установленных на траверсах, тросовых тяг с встроенными в них калиброванными разрывными вставками, динамометрами и пружинами растяжения, являющимися упругими эквивалентами проводов в промежуточных пролетах, у которых зависимость между усилием растяжения и удлинением пружины соответствует зависимости силы натяжения провода в промежуточном пролете от его удлинения, вызванного воздействием на провод нагрузки от собственного веса провода и веса гололеда, а также закрепление на изоляторах опор грузов, вес которых соответствует весу приложенных к проводу нагрузок, позволило на компактном стенде исследовать работу опор в анкерном участке в расчетных и аварийных режимах в условиях, максимально приближенных к реальным. Отмеченные обстоятельства позволяют уточнить методики расчета опор на основе полученных экспериментальных данных, так как теоретические методы описания сложных динамических процессов, происходящих в воздушных линиях электропередачи с множеством влияющих факторов, имеют ограниченное применение вследствие недостаточно высокой точности расчетов.

Нагружение опор в конце испытаний разгружающей нагрузкой и регистрация основных параметров разрушения конструкций опор позволяют определить предельную расчетную нагрузку и выявить наименее прочные узлы конструкций опоры.

На рис. 1 показана схема стенда для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи, на рис. 2 – зависимость силы натяжения провода в пролете от его удлинения, вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда.

Стенд ИС-2 для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи включает силовую прямоугольную раму 1, на основании 2 которой установлено не менее трех испытуемых опор 3, моделирующих анкерный участок, в котором боковые стойки 4 рамы 1 представляют собой макеты анкерных опор. На изоляторах 5, установленных на траверсах 6, закреплены тросовые тяги 7 с встроенными в них калиброванными разрывными вставками 8, динамометрами 9 (устройства 8 и 9 показаны только на одной тросовой тяге) и пружинами растяжения 10, представляющими собой упругие эквиваленты

проводов (включая грозозащитный трос), которые закреплены на изоляторах 5 испытуемых опор 3 в реальных промежуточных пролетах. Концы тросовых тяг 7 через блоки 11 соединены с соответствующими лебедками 12, закрепленными на основании 2. На верхней балке 13 рамы 1 установлены датчики перемещения 14, вершин 15 опор 3.

Динамические испытания опор осуществляют следующим образом. Предварительно, для проведения динамических испытаний опор в полном соответствии с реальными условиями, на каждом изоляторе 5 испытуемой опоры 3 закрепляют тарировочный груз (не показан), вес которого равен разности между весом провода в реальном пролете и весом тяги 7 с встроенным в нее калиброванной разрывной вставкой 8, динамометром 9 и пружиной растяжения 10, закрепленной в пролете между двумя опорами 3, установленными на стенде.

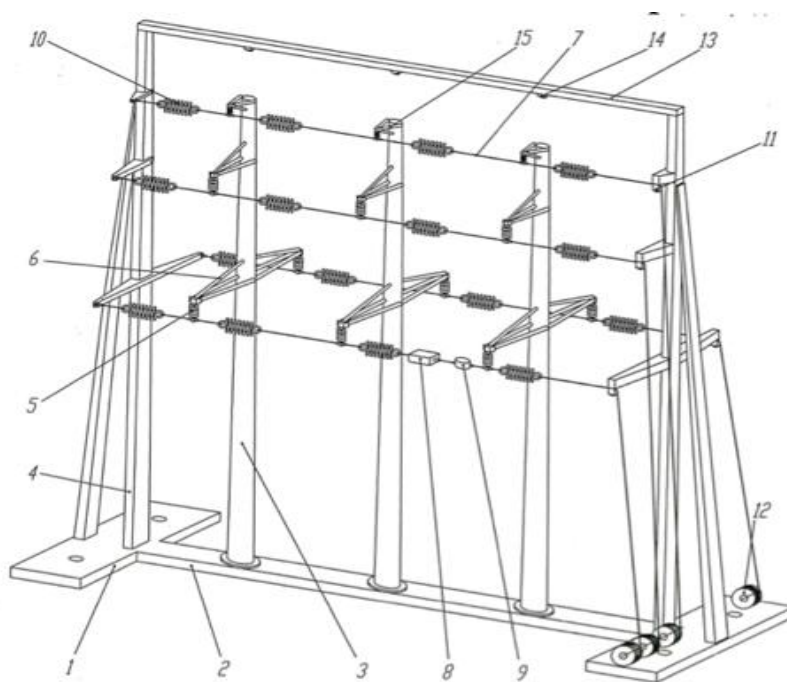


Рис.1. Стенд ИС-2 для динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи

После этого осуществляют контролируемое динамометрами 9 натяжение тросовых тяг 7 с помощью лебедок 12 до разрыва одной из калиброванных вставок 8, рассчитанных на минимальное усилие натяжения тросовой тяги 7, определяемое нагрузкой от собственного веса провода в реальном пролете. При разрыве калиброванной вставки 8 определяют отклик промежуточных опор 3 на реальное импульсное воздействие, соответствующее условиям эксплуатации, а именно обрыв провода в пролете. При этом измеряют амплитуду и частоту собственных колебаний опор 3, соединенных между собой тросовыми тягами 7 с встроенными пружинами растяжения 10, являющимися упругими эквивалентами проводов, с помощью датчиков перемещения 14.

Также тензодатчиками (не показаны) определяют механические напряжения в критических точках конструкций опор 3 в период воздействия на них импульсной нагрузки.

Аналогичным образом осуществляют повторение описанных операций после закрепления на изоляторах 5 дополнительных грузов (не показаны), вес которых соответствует весу гололеда с возрастающими ступенями толщины его стенки, включая её максимальное значение. Учитывая повышение силы натяжения провода в пролете от увеличения дополнительной нагрузки на него от веса гололеда, повышают величину усилия

разрыва калиброванной вставки 8 до значения, соответствующего этой дополнительной нагрузке и собственному весу провода.

После завершения испытаний по моделированию воздействия на провод гололеда с максимальной сверхнормативной толщиной стенки устанавливают величину усилия разрыва калиброванной вставки 8 равной усилию разрыва провода и за счет натяжения тросовой тяги 7 производят разрушение наименее прочной конструкции опоры 3. При этом вследствие редукиции тяжения проводов разрушаются конструкции опор 3 в соседних с аварийным пролетах. Также осуществляют регистрацию параметров процесса разрушения конструкций и определяют коэффициенты динамичности опор 3.

На примере ВЛ 110 кВ с многогранными опорами, к которым подвешены сталеалюминиевые провода АС-70, II района гололедности (максимальная толщина стенки гололеда составляет 10 мм), при длине пролета $l=300$ м определим зависимость силы натяжения провода в пролете от его удлинения, вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда.

Исходные данные:

- общее сечение провода $S=79,3$ мм²;
- диаметр провода $d=11,4$ мм;
- вес 1 км провода 275 кгс;
- максимально допустимое напряжение $\sigma_{\max}=11,6$ кгс/мм², при максимальной толщине стенки гололеда $c=10$ мм и температуре $t=-5^0$ С;

- удельная нагрузка от собственного веса провода $\gamma_0=3,46 \cdot 10^{-3}$ кгс/м·мм²;

- удельная нагрузка от веса гололеда с толщиной стенки 10 мм

$$\gamma_{r \max} = 7,463 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/м} \cdot \text{мм}^2;$$

- удельная нагрузка от веса провода с гололедом

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_{r \max} = 3,46 \cdot 10^{-3} + 7,63 \cdot 10^{-3} = 11,09 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/м} \times \text{мм}^2.$$

Механические напряжения в проводе при изменении нагрузок от гололеда определяются из уравнения состояния провода [5]:

$$\sigma - \frac{\gamma^2 \cdot E \cdot l^2}{24 \cdot \sigma^2} = \sigma_0 - \frac{\gamma_0^2 \cdot E \cdot l^2}{24 \cdot \sigma_0^2}, \quad (1)$$

где $E = 8,25 \cdot 10^3$ кгс/мм² – модуль упругости провода.

В результате решения уравнения (1) было определено σ_0 – напряжение в проводе, вызванное удельной нагрузкой γ_0 от собственного веса провода, $\sigma_0=4,21$ кгс/мм², а также напряжение $\sigma_5=7,24$ кгс/мм² при толщине стенки гололеда 5 мм.

По полученным значениям напряжений в проводе при толщинах стенки гололеда 0; 5 и 10 мм (точки А, В, С на графике) была построена зависимость силы натяжения провода в пролете $P = \sigma \times S$ от его удлинения ΔL , вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда (рис. 2). При этом удлинение ΔL определялось по формуле

$$\Delta L = l \cdot \frac{\sigma - \sigma_0}{E},$$

его максимальное значение равно

$$\Delta L_{\max} = l \cdot \frac{\sigma_{\max} - \sigma_0}{E} = 300 \cdot \frac{11,6 - 4,21}{8,25 \cdot 10^3} = 268,727 \text{ мм.}$$

Как следует из графика рис. 2, в точках А, В, С сила натяжения провода в пролете P и удлинение провода ΔL равны, соответственно, $P_A=333,85$ кгс, $\Delta L_A=153$ мм; $P_B=574,1$ кгс, $\Delta L_B=263,27$ мм; $P_C=919,88$ кгс, $\Delta L_C=421,8$ мм. При этом в диапазоне удлинения провода, вызванного воздействием гололеда, равном 268,73 мм, сила натяжения изменяется от 333,85

до 919,88 кгс практически по линейной зависимости. Аналогичным образом, согласно [5], производят расчет грозозащитного троса.

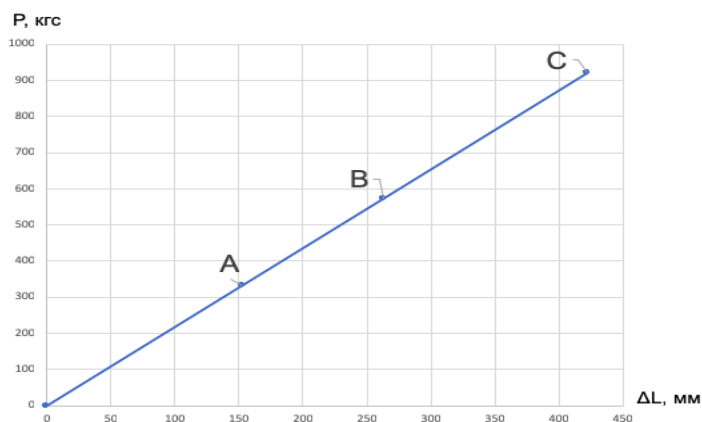


Рис. 2. Зависимость силы натяжения провода в пролете от его удлинения, вызванного изменением удельных нагрузок от гололеда

Так как в предложенном техническом решении провода в реальном пролете заменены их упругими эквивалентами, в качестве которых использованы пружины растяжения, показанная на рис. 2 зависимость является исходной для расчета нагрузочной характеристики пружины.

Расчет размеров и параметров пружины проведен согласно [6]. Параметры рассчитанной пружины представлены в таблице.

Таблица 1

Параметры пружины

Формат расчета усилий	Расчет усилий в кгс
Материал	60С2А, 51ХФА
Диаметр проволоки(прутка), d , мм	14
Наружный диаметр, $D1$, мм	111
Рабочее число витков, n , шт.	12
Предварительное растяжение, $S1$, мм	262
Рабочее растяжение, $S2$, мм	262
Максимальное растяжение, $S3$, мм	268
Количество пружин в партии, шт.	1
Внутренний диаметр зацепа, $D2$, мм	83
Длина пружины по телу, L_0 , мм	182
Длина пружины между зацепами, L , мм	348
Индекс пружины	6,93
Размер открытой части зацепа	35
Жесткость пружины, кг/мм	3,51
Предварительная нагрузка, $F1$, кг	268,33
Рабочая нагрузка, $F2$, кг	919
Максимальная нагрузка, $F3$, кг	940,05
Длина пружины между зацепами при нагрузке $F1$, $L1$, мм	424,5
Длина пружины между зацепами при нагрузке $F2$, $L2$, мм	610
Длина пружины между зацепами при нагрузке $F3$, $L3$, мм	616
Максимальные касательные напряжения, МПа	102,84
Масса пружины, m , кг	5,24862

Выводы

Использование предложенного способа динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи позволит обеспечить динамические испытания единой системы опор, объединенных упругими механическими связями в виде тросовых тяг с встроенными в них пружинами растяжения, наиболее полно моделирующей реальный анкерный участок для определения динамических характеристик опор при имитации реального импульсного воздействия на них, соответствующего условиям эксплуатации, а именно обрыв провода, как в расчетных, так и в аварийных режимах, вызванных воздействием гололедных нагрузок, превышающих предельные значения, включающих разрушение конструкций опор.

Также предложенный способ позволит провести экспериментальные исследования процессов каскадного разрушения анкерного участка вследствие обрыва проводов, когда потенциальная энергия натяжения проводов в пролетах анкерного участка преобразуется в мощное динамическое воздействие на конструкции опор, приводящее к их разрушению.

Литература

1. Пат. 2554285 Российская Федерация, МПК G 01 M 5/00. Способ испытания опор / Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р., Сабитов Л.С.; заявл.01.11.2013; опубл. 27.06.2015. Бюл. №18.
2. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 594с. С.106.
3. Пат. 2574419 Российская Федерация, МПК G 01 M 7/02. Способ проведения сейсмических испытаний опор линий электропередач / Пучков С.А., Баринов К.В.; заявл.28.08.2014; опубл. 10.02.2016. Бюл. №4.
4. Металлические конструкции, т.3 /Под редакцией В.В. Кузнецова. М.: АСВ, 1999. 528с. С.402.
5. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979. 312с.
6. Ачеркан Н.С. Детали машин, т.2. М.:Машиностроение, 1968. 408с.
7. Васылев В.Н., Гаранжа И.М. Методика экспериментальных исследований работы многогранных гнутых стоек (МГС) в опорной зоне опор воздушных линий (ВЛ) электропередачи // Металлические конструкции. 2010. N1, т. 16. С.51–60.
8. Пат. 2654897 Российская Федерация, МПК G 01 M 5/00. Способ динамических испытаний опор воздушных линий электропередачи /Сабитов Л.С., Кашапов Н.Ф., Гатиятов И.З., Гильманшин И.Р., Кузнецов И.Л., Киямов И.К., Мезиков А.К.; заявл. 17.08.2017; опубл. 23.05.2018. Бюл. №15.
9. Андреев В.И., Джинчвелашвили Г.А., Колесников А.В. Расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия с учетом нелинейных эффектов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. No 7. С. 33–35.
10. Гутников В.А., Сетуха А.В. Моделирование сочетания сейсмических и ветровых нагрузок при проектировании высотных зданий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. No 4. С. 24–31.
11. Radchenko A.V. Destruction of concrete beams with metal and composite reinforcement under impulse action / A.V. Radchenko, P.A. Radchenko, S.P. Batuev, V.S. Plevkov, D.G. Utkin // Journal of Physics : conference series. 2015. Vol. 653. –012047. 7 p. – DOI : 10.1088/1742-6596/653/1/012047. – 0,81 / 0,16 п.л.
12. Radchenko P.A. Numerical simulation of deformation and fracture of space protective shell structures from concrete and fiber concrete under pulse loading / P.A. Radchenko, S.P. Batuev, A.V. Radchenko, V.S. Plevkov // Journal of Physics: Conference Series. 2015. Vol. 653. – 012048. 9 p. – DOI : 10.1088/1742-6596/653/1/012048. – 1,04 / 0,26 п.л.
13. Сапожников А.И. Адекватные расчетные модели зданий и сооружений – гарантия их сейсмостойкости // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. No 6. С. 38–43.

Авторы публикации

Гатиятов Ильнур Зиннурович – старший преподаватель кафедры «Электротехнические комплексы и системы» (ЭТКС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Сабитов Линар Салихзанович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ); доцент Казанского (Приволжского) федерального университета.

Гильманин Искандер Рафаилович – к.т.н., доцент кафедры технической физики и энергетики Казанского (Приволжского) федерального университета; доцент кафедры электрооборудования КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева.

Кашанов Наиль Фаикович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической физики и энергетики Казанского (Приволжского) федерального университета.

Киямов Ильгам Киямович – д.э.н., профессор кафедры биомедицинский инженерии и управления инновациями Казанского (Приволжского) федерального университета.

References

1. Patent №2554285 RU, МПК G 01 M 5/00. Appl. 01.11.2013; publ. 27.06.2015. Byul. No.18.
2. Birbraer A.N. Extreme effects on buildings. SPb.: Publishing house of the Polytechnic University, 2009. 594с., P. 106.
3. Patent №2574419 RU, МПК G 01 M 7/02. Appl. 28.08.2014; publ. 10.02.2016. Byul. No.4.
4. Metal structures, vol. 3 / edited by V.V. Kuznetsov. M.: ASV, 1999. 528с. S. 402.
5. Kryukov K.P., Novgorodtsev B.P. Designs and mechanical calculation of power lines. L.: Energy, 1979. 312с.
6. Acherkan N.S. Machine parts, t. 2. M.: - engineering, 1968. 408 PP.
7. Vasilev V.N., Garanga I.M. Methodology of experimental research work is multi-faceted roll-formed racks (MGS) in the support area of the supports of air-lines (VL) transmission // Journal "Metal constructions". 2010. N1, VOLUME 16 (2010) 51–60.
8. Patent 2654897 RU, IPC G 01 M 5/00. Method of dynamic tests of supports of overhead power lines /Sabitov H.P., Kashapov N.F., Gatiyatov Z.I., Gil'manshin I.R., Kuznetsov I.L., Kiyamov I.K., Mesikov A.K.; Appl. 17.08.2017; publ. 23.05.2018, Byul. No.15.
9. Andreev V.I., Jinchvelashvili G.A., Kolesnikov A.V. Calculation of buildings and structures on seismic effects taking into account nonlinear effects // Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. 2012. No. 7. P. 33–35.
10. Gutnikov V.A., Setukha A.V. Modeling of combination of seismic and wind loads in the design of high-rise buildings-earthquake.// Resistant construction. Safety of structures. 2013. No. 4. P. 24–31.
11. Radchenko A.V. Destruction of concrete beams with metal and composite reinforcement under impulse action / A.V. Radchenko, P.A. Radchenko, S.P. Batuev, V.S. Plevkov, D.G. Utkin // Journal of Physics : conference series. 2015. Vol. 653. -012047. 7 p. - DOI : 10.1088/1742-6596/653/1/012047. - 0.81 / 0.16 p. 1.
12. Radchenko P.A. Numerical simulation of deformation and fraction of space protective shell structures from concrete and fiber concrete under pulse load - ing / P.A. Radchenko, S.P. Batuev, A.V. Radchenko, V.S. Plevkov // Journal of Physics: Conference Series. 2015. Vol. 653. 012048. 9 p. - DOI : 10.1088/1742-6596/653/1/012048. - 1.04 / 0.26 p. 1/
13. Sapozhnikov A.I. Adequate design models of buildings and structures – a guarantee of their seismic resistance // Building materials, equipment, technologies of the XXI century. 2013. No. 6. P. 38–43.

Authors of the publication

Ilnur Z. Gatiyatov – senior lecturer ,Department "Electrotechnical complexes and systems", Kazan state power emerging University.

Linar S. Sabitov – PhD, associate Professor, associate Professor ,Department Of "energy supply of enterprises and energy saving technologies", Kazan state energy University, associate Professor Kazan Federal University.

Iskander R. Gilmanshin – Associate Professor, department of Technical physics and Energetics of Kazan Federal University, Associate Professor, Department of Electrical Equipment, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI.

Nail F. Kashaпов – Doc. Sci. (Techn.), Professor, head Department of technical physics and energy, Kazan Federal University.

Ilgam K. Kiyumov – Doc. Sci. (Techn.), Professor, Department of biomedical engineering and innovation management, Kazan Federal University.

Поступила в редакцию

29 июня 2018 г.