УДК [621.311.031:621.331.153]001.24

ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ВОЗМОЖНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОРДИНАТ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ПИКОВ И ВПАДИН НАГРУЗКИ

Доктора техн. наук, профессора ЖЕЖЕЛЕНКО И. В., СТЕПАНОВ В. П., инженеры ГУДКОВ А. В., ИДИАТУЛИН Р. Ф.

Приазовский государственный технический университет (Украина),
Самарский государственный технический университет,
филиал ОАО «Системный оператор – Центральное диспетчерское управление Единой энергетической системы» – ОДУ Средней Волги (г. Самара, Россия)

Результаты [1–4] свидетельствуют о том, что групповые графики электрической нагрузки общепромышленных электроприемников (ЭП) на низших ступенях иерархии системы электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий и некоторых специальных промышленных ЭП – дуговых электросталеплавильных печей, буровых установок для разбуривания газовых и нефтяных скважин, станков-качалок для добычи нефти, промприборов, драг, землесосов, дражных бочек для разработки россыпных месторождений и месторождений полиметаллических руд имеют статистически неоднородный характер. Кривые экспериментальных законов распределения θ-ординат групповых неоднородных ГЭН подчиняются закону распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A [1–4]:

$$f_{AE}(P_\theta)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\theta}\exp\left[-\frac{(P_\theta-P_c)^2}{2\sigma_\theta^2}\right]\left[\begin{aligned}&1-\frac{A}{6}\left(3\frac{(P_\theta-P_c)}{\sigma_\theta}-\frac{(P_\theta-P_c)^3}{\sigma_\theta^3}\right)+\\&+\frac{E}{24}\left(\frac{(P_\theta-P_c)^4}{\sigma_\theta^4}-6\frac{(P_\theta-P_c)^2}{\sigma_\theta^2}+3\right)\end{aligned}\right], \quad (1)$$

где P_c, σ_θ и P_θ – среднее, среднеквадратическое отклонение и текущие значения θ-ординат ГЭН соответственно; A и E – коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Применение стандартного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A предполагает, что пределы изменения θ-ординат ГЭН равны бесконечности [5]. Однако из теории электрических нагрузок [6] известно, что θ-ординаты ГЭН не могут быть беспредельными и ограничиваются верхним пределом, равным сумме индивидуальных номинальных мощностей $p_{ном}$ электроприемников в группе, и нижним пределом, равным нулю. На практике наибольшие θ-ординаты ГЭН всегда намного меньше верхнего предела нагрузки, а наименьшие θ-ординаты ГЭН в ряде случаев больше нуля. Несоответствие фактических пределов изменения θ-ординат ГЭН теоретическим приводит к погрешностям в оценке расчетных значений пиков $P_{\text{рп}\theta AE}$ и впадин $P_{\text{рв}\theta AE}$, в частности расчетной нагрузки по нагреву $P_{\text{р}\theta AE}$ согласно выражению, которое практически реализует вероятностную модель (1):

$$P_{\text{п,в}\theta AE} = P_{\text{с}AE} \pm \beta_{1,2AE}\sigma_{\theta AE} \,. \qquad (2)$$

В (2) погрешности возникают в оценке средней нагрузки $P_{\text{с}AE}$, среднеквадратического отклонения нагрузки $\sigma_{\theta AE}$ и статистических коэффициентов β_{1AE}, β_{2AE}. Погрешности обусловлены тем, что расчетные значения пиков $P_{\text{п}\theta AE}$ и впадин $P_{\text{в}\theta AE}$ нагрузки выходят за пределы фактических значений θ-ординат ГЭН.

В работе рассматривается влияние степени отличия фактических законов распределения вероятностей θ-ординат групповых ГЭН общепромышленных и специальных промышленных ЭП на теоретический закон распределения вероятностей – закон Грама-Шарлье типа A, а также дается количественная оценка этого отличия.

В качестве примера на рис. 1 приведена гистограмма θ-ординат ГЭН группы специальных ЭП, которая аппроксимирована теоретическими кривыми закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A.

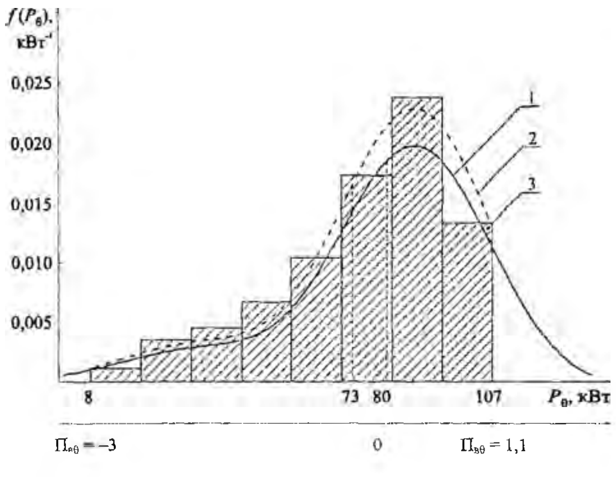

Рис. 1. Экспериментальные и теоретические плотности распределения вероятностей θ-ординат ГЭН шести станков-качалок на Ван-Еганском месторождении нефти: 1, 2 – теоретические кривые закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A ($P_{\text{с}AE}$ = 80 кВт; $\sigma_{\theta AE}$ = 24 кВт; A = –1,15; E = 0,73) и усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A ($C_{\text{ус}AE}$ = 1,158; $P_{\text{с(ус)}AE}$ = 73 кВт; $\sigma_{\theta(\text{ус})AE}$ = 19,3 кВт; A = –1,15; E = 0,73) соответственно; 3 – гистограмма

Расчеты по критерию К. Пирсона χ^2 показывают, что с доверительной вероятностью $e_{\text{д}} > 0,85$ экспериментальный закон распределения сходится к усеченному закону распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A

$$f_{\text{ус}AE}(P_\theta) = C_{\text{ус}AE} f_{AE}(P_\theta), \tag{3}$$

где $C_{\text{ус}AE}$ – коэффициент усечения, учитывающий ограниченность возможных значений θ-ординат ГЭН.

Анализ гистограммы свидетельствует о том, что следует различать два вида усечения гистограмм относительно средней нагрузки $P_{\text{с}AE}$: симметричное и несимметричное. Важность этого замечания обусловлена тем, что симметричное и несимметричное усечения закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A могут характеризоваться одним и тем же значением коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$. Коэффициент усечения $C_{\text{ус}AE}$ в выражении (3) определяется через нормированную функцию Φ^* нормального закона распределения вероятностей [5]

$$\Phi^*(\Pi_{\text{п,в}\theta}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int\limits_{-\infty}^{P_0} \exp\left[-\frac{\Pi^2_{\text{п,в}\theta}}{2}\right] d\Pi_{\text{п,в}\theta} \tag{4}$$

по выражению

$$C_{\text{ус}AE} = \left| \begin{array}{l} \Phi^*(\Pi_{\text{п}\theta}) - \Phi^*(\Pi_{\text{в}\theta}) - \frac{A}{6}\left[(\Pi^2_{\text{п}\theta} - 1) f(\Pi_{\text{п}\theta}) - (\Pi^2_{\text{в}\theta} - 1) f(\Pi_{\text{в}\theta})\right] + \\ \quad + \frac{E}{24}\left[(3\Pi_{\text{п}\theta} - \Pi^2_{\text{п}\theta}) f(\Pi_{\text{п}\theta}) - (3\Pi_{\text{в}\theta} - \Pi^2_{\text{в}\theta}) f(\Pi_{\text{в}})\right] \end{array} \right|^{-1}, \tag{5}$$

где $\Pi_{\text{п,в}\theta} = (P_{\text{п,в}\theta} - P_{\text{с}})/\sigma_\theta$ – верхний и нижний пределы изменения возможных нормированных значений θ-ординат ГЭН.

Рассмотрим влияние вида усечения и коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ на составляющие выражения (2). Отметим, что уменьшение нижнего $|\Pi_{\text{в}\theta}|$ и верхнего $|\Pi_{\text{п}\theta}|$ пределов нормированных θ-впадин и θ-пиков ГЭН приводит к увеличению коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$.

При несимметричном усечении закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A, когда верхние и нижние нормированные пределы изменения θ-ординат ГЭН не равны между собой по модулю: $|\Pi_{\text{п}\theta}| \neq |\Pi_{\text{в}\theta}|$, относительная средняя нагрузка $P^*_{\text{с(ус)}AE}$ группового ГЭН определяется по выражению

$$P^*_{\text{с(ус)}AE} = \frac{P_{\text{с(ус)}AE}}{P_{\text{с}AE}} = 1 + C_{\text{ус}AE}\sqrt{K^2_{\text{ф}\theta} - 1} \times$$

$$\times \left| \begin{array}{l} \varphi_*(\Pi_{\text{в}\theta})\left[1 - \frac{A}{6}(3\Pi_{\text{в}\theta} - \Pi^3_{\text{в}\theta}) + \frac{E}{24}(\Pi^4_{\text{в}\theta} - 6\Pi^2_{\text{в}\theta} + 3)\right] + \\ + \varphi_*(\Pi_{\text{п}\theta})\left[1 - \frac{A}{6}(3\Pi_{\text{п}\theta} - \Pi^3_{\text{в}\theta}) + \frac{E}{24}(\Pi^4_{\text{в}\theta} - 6\Pi^2_{\text{в}\theta} + 3)\right] \end{array} \right|, \tag{6}$$

где $P_{\text{с(ус)}AE}$ – средняя нагрузка симметрично-несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A; $K_{\text{ф}\theta}$ – коэффициент формы группового θ-ГЭН; $\varphi_*(\Pi_{\text{п,в}\theta}) = 1/\sqrt{2\pi}\exp(-\Pi^2_{\text{п,в}\theta}/2)$ – плотность стандартного нормального закона распределения вероятностей нормированных значений θ-пиков и θ-впадин ГЭН.

Влияние коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ на относительное значение средней нагрузки $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ при $A = -1{,}15$; $E = 0{,}73$ отражено на рис. 2. Анализ кривых 1 и 2 на рис. 2 для несимметрично-усеченного закона распределений вероятностей Грама-Шарлье типа A свидетельствует о том, что уменьшение нижнего предела нормированных θ-впадин ГЭН до $\Pi_{\text{в}\theta} = -1$ для кривой 1 приводит к увеличению $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ до 5 %, а уменьшение верхнего предела нормированных θ-пиков ГЭН до $\Pi_{\text{п}\theta} = 1$ для кривой 2 приводит к уменьшению $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ до 12 % по сравнению с теоретическим законом распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A. Точка A соответствует относительной средней нагрузке $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ для плотности распределения θ-ординат ГЭН, представленных на рис. 1. Кривая 3 на рис. 2 отражает результаты теоретических расчетов $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ для симметричного усечения закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при $|\Pi_{\text{п}\theta}| = |\Pi_{\text{в}\theta}|$ и $C_{\text{ус}AE} = 1\text{–}1{,}19$. Значение относительной средней нагрузки $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ в точке C (пересечение кривых 1, 2, 3 на рис. 2) соответствует симметрично-усеченному закону распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при $\Pi_{\text{п,в}\theta} = \pm 3$. Относительная средняя нагрузка $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ достигает значения единицы при $\Pi_{\text{п,в}\theta} = \pm\infty$.

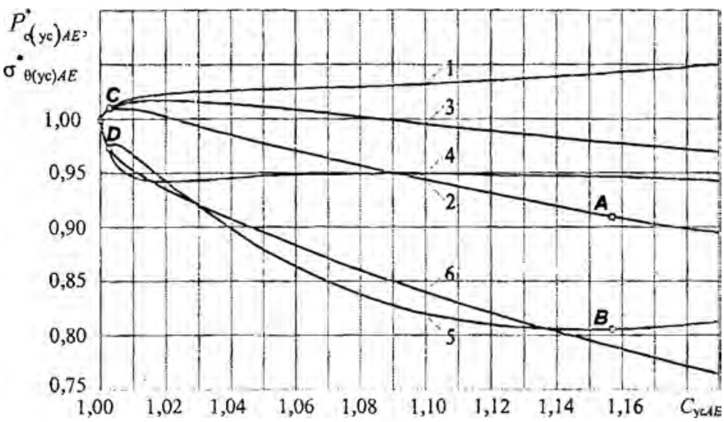

Рис. 2. Зависимости относительных значений $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ и среднеквадратического отклонения нагрузки $\sigma^*_{\theta(\text{ус})AE}$ от $C_{\text{ус}AE}$ при $A = -1{,}15$; $E = 0{,}73$: 1, 2, 3 – кривые изменения $P^*_{\text{c(ус)}AE}$ для несимметричного усечения при $\Pi_{\text{в}\theta} = -(3\text{–}1)$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 3$ и $\Pi_{\text{в}\theta} = -3$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 1\text{–}3$ и для симметричного усечения соответственно; 4, 5, 6 – кривые изменения $\sigma^*_{\theta(\text{ус})AE}$ для несимметричного усечения при $\Pi_{\text{в}\theta} = -(3\text{–}1)$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 3$ и $\Pi_{\text{в}\theta} = -3$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 1\text{–}3$ и для симметричного усечения соответственно

Количественная оценка влияния коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ на относительные значения среднеквадратического отклонения нагрузки $\sigma^*_{\theta(\text{ус})AE}$ производится по выражению

$$\overset{*}{\sigma}_{\theta(\text{ус})AE} = \frac{\sigma_{\theta(\text{ус})AE}}{\sigma_{\theta AE}} =$$

$$= \sqrt{\begin{aligned} &1 + C_{\text{ус}AE}\left(\begin{aligned} &\Pi_{\text{в}\theta}\varphi_*(\Pi_{\text{в}\theta})\left[1 - \frac{A}{6}\left(3\Pi_{\text{в}\theta} - \Pi_{\text{в}\theta}^3\right) + \frac{E}{24}\left(\Pi_{\text{в}\theta}^4 - 6\Pi_{\text{в}\theta}^2 + 3\right)\right] + \\ &+ \Pi_{\text{п}\theta}\varphi_*(\Pi_{\text{п}\theta})\left[1 - \frac{A}{6}\left(3\Pi_{\text{п}\theta} - \Pi_{\text{п}\theta}^3\right) + \frac{E}{24}\left(\Pi_{\text{п}\theta}^4 - 6\Pi_{\text{п}\theta}^2 + 3\right)\right] \end{aligned} \right) + \\ &+ C_{\text{ус}AE}^2\left(\begin{aligned} &\varphi_*(\Pi_{\text{в}\theta})\left[1 - \frac{A}{6}\left(3\Pi_{\text{в}\theta} - \Pi_{\text{в}\theta}^3\right) + \frac{E}{24}\left(\Pi_{\text{в}\theta}^4 - 6\Pi_{\text{в}\theta}^2 + 3\right)\right] + \\ &+ \varphi_*(\Pi_{\text{п}\theta})\left[1 - \frac{A}{6}\left(3\Pi_{\text{п}\theta} - \Pi_{\text{п}\theta}^3\right) + \frac{E}{24}\left(\Pi_{\text{п}\theta}^4 - 6\Pi_{\text{п}\theta}^2 + 3\right)\right] \end{aligned} \right)^2 \end{aligned}}, \quad (7)$$

где $\sigma_{\theta(\text{ус})AE}$ – усеченное значение среднеквадратического отклонения нагрузки симметрично-несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A.

Влияние коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ на относительные значения среднеквадратического отклонения нагрузки $\overset{*}{\sigma}_{\theta(\text{ус})AE}$ при $A = -1{,}15$; $E = 0{,}73$ отражено на рис. 2. Анализ кривых 4 и 5 на рис. 2 свидетельствует о том, что уменьшение нижнего предела до $\Pi_{\text{в}\theta} = -1$ (кривая 4) и верхнего предела до $\Pi_{\text{п}\theta} = 1$ (кривая 5) для нормированных θ-впадин и θ-пиков ГЭН несимметрично-усеченного закона распределений вероятностей Грама-Шарлье типа A приводит к снижению относительных значений $\overset{*}{\sigma}_{\theta(\text{ус})AE}$ до 6 и 23 % соответственно по сравнению с неусеченным законом распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A. Точка B соответствует относительному среднеквадратическому отклонению нагрузки $\overset{*}{\sigma}_{\theta(\text{ус})AE}$ для плотности распределения θ-ординат ГЭН, представленных на рис. 1. Кривая 6 на рис. 2 отражает результаты теоретических расчетов $\overset{*}{\sigma}_{\theta(\text{ус})AE}$ для симметричного усечения закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при $|\Pi_{\text{п}\theta}| = |\Pi_{\text{в}\theta}|$ и $C_{\text{ус}AE} = 1\text{–}1{,}19$ и показывает, что погрешность в расчетах среднеквадратического отклонения нагрузки может достигать 30 %. Значение относительного среднеквадратического отклонения нагрузки $\overset{*}{\sigma}_{\theta(\text{ус})AE}$ в точке D (пересечение кривых 4, 5, 6 на рис. 2) соответствует симметрично-усеченному закону распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при $\Pi_{\text{п,в}\theta} = \pm 3$. Относительное среднеквадратическое отклонение нагрузки $\overset{*}{\sigma}_{\theta(\text{ус})AE}$ достигает значения единицы при $\Pi_{\text{п,в}\theta} = \pm\infty$.

Значения статистических коэффициентов β_{1AE} и β_{2AE} в выражении (2) для закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A определяется граничной вероятностью E_x и значениями коэффициентов асимметрии A и эксцесса E. Статистический коэффициент β_{1AE} используется для оценки пиков $P_{\text{п}\theta AE}$ нагрузки, а статистический коэффициент β_{2AE} – впадин $P_{\text{в}\theta AE}$ нагрузки. Значения статистических коэффициентов $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$ для симметрично-несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A определяются из решения следующих уравнений [4, 7]:

$$F_{\text{ус}AE}(P_\theta) = 1 - E_x; \quad (8)$$

$$F_{\text{ус}AE}(P_\theta) = E_x\,, \tag{9}$$

где $F_{\text{ус}AE}(P_\theta)$ – функция симметрично-несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A θ-ординат ГЭН.

Выражения (8) и (9) с учетом известной взаимосвязи между плотностью $f_{\text{ус}AE}(P_\theta)$ и функцией $F_{\text{ус}AE}(P_\theta)$ распределения вероятностей [5] перепишем в виде:

$$1 - E_x = \frac{C_{\text{ус}AE}}{\sqrt{2\pi}\sigma_\theta}\int\limits_{P_{\text{в}\theta(\text{ус})AE}}^{P_{\text{рп}\theta(\text{ус})AE}} \exp\left(-\frac{(P_\theta - P_c)^2}{2\sigma_\theta^2}\right)\left[\begin{array}{l}1 - \dfrac{A}{6}\left(3\dfrac{P_\theta - P_c}{\sigma_\theta} - \dfrac{(P_\theta - P_c)^3}{\sigma_\theta^3}\right) + \\ + \dfrac{E}{24}\left(\dfrac{(P_\theta - P_c)^4}{\sigma_\theta^4} - 6\dfrac{(P_\theta - P_c)^2}{\sigma_\theta^2} + 3\right)\end{array}\right] dP; \tag{10}$$

$$E_x = \frac{C_{\text{ус}AE}}{\sqrt{2\pi}\sigma_\theta}\int\limits_{P_{\text{в}\theta}}^{P_{\text{рв}\theta(\text{ус})AE}} \exp\left(-\frac{(P_\theta - P_c)^2}{2\sigma_\theta^2}\right)\left[\begin{array}{l}1 - \dfrac{A}{6}\left(3\dfrac{P_\theta - P_c}{\sigma_\theta} - \dfrac{(P_\theta - P_c)^3}{\sigma_\theta^3}\right) + \\ + \dfrac{E}{24}\left(\dfrac{(P_\theta - P_c)^4}{\sigma_\theta^4} - 6\dfrac{(P_\theta - P_c)^2}{\sigma_\theta^2} + 3\right)\end{array}\right] dP, \tag{11}$$

где $P_{\text{рп,в}\theta(\text{ус})AE} = P_{\text{с}(\text{ус})AE} \pm \beta_{1,2\,(\text{ус})AE}\sigma_{\theta(\text{ус})AE}$ – расчетные значения θ-пиков, θ-впадин для усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A.

Уравнения (10) и (11) относительно статистических коэффициентов $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$, входящих в пределы интегралов, в явном виде неразрешимы. Поэтому здесь корни этих уравнений определялись численным методом с помощью программы Mathcad в зависимости от коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ для фиксированного значения граничной вероятности $E_x = 0{,}05$.

Влияние коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ на значения статистических коэффициентов $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$ при $A = -1{,}15$; $E = 0{,}73$ отражено на рис. 3. Анализ кривых 1 и 4 на рис. 3 свидетельствует о том, что уменьшение верхнего предела нагрузки до $\Pi_{\text{п}\theta} = 1$ для нормированных θ-пиков ГЭН несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A приводит к увеличению значений статистических коэффициентов $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$ до 10 и 5 % соответственно по сравнению с законом распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A. Результаты теоретических расчетов, отраженные кривыми 2 и 5 на рис. 3, показывают, что уменьшение θ-впадины ГЭН до $\Pi_{\text{в}\theta} = -1$ несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грамма-Шарлье типа A приводит к изменению статистического коэффициента $\beta_{1(\text{ус})AE}$ до 17 % и уменьшению статистического коэффициента $\beta_{2(\text{ус})AE}$ до 119 % по сравнению с законом распределения Грама-Шарлье типа A. Точки A и B соответствуют статистическим коэффициентам $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$ для плотности распределения θ-ординат ГЭН (рис. 1). Кривые 3 и 6 (рис. 3) характеризуют результаты теоретических расчетов $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$ для симметричного усечения закона распределения Грама-Шарлье типа A при $|\Pi_{\text{п}\theta}| = |\Pi_{\text{в}\theta}|$ и $C_{\text{ус}AE} = 1\text{–}1{,}19$.

Точки D (пересечение кривых 1, 2, 3) и F (пересечение кривых 4, 5, 6) на рис. 3 соответствуют значениям $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$ при $\Pi_{\text{п,в}\theta} = \pm3$. Точки C и E соответствуют статистическим коэффициентам β_{1AE} и β_{2AE} теоретического закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A.

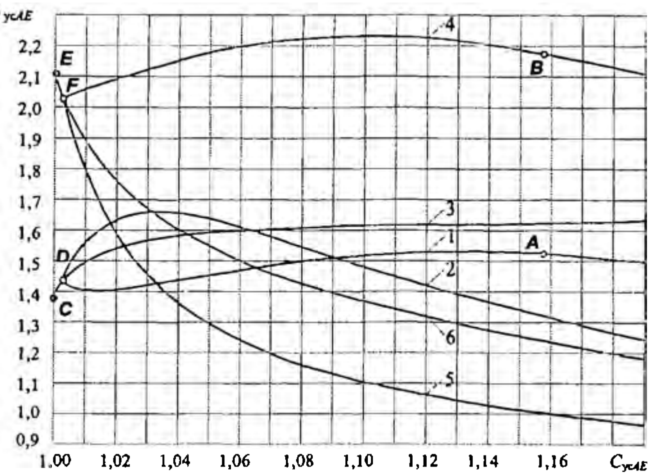

Рис. 3. Зависимости статистических коэффициентов $\beta_{1(\text{ус})AE}$ и $\beta_{2(\text{ус})AE}$ от коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ при $E_x = 0{,}05$: 1, 2, 3 – кривые изменения $\beta_{1(\text{ус})AE}$ для несимметричного усечения при $\Pi_{\text{в}\theta} = -3$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 1\text{–}3$ и $\Pi_{\text{в}\theta} = -(1\text{–}3)$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 3$ и для симметричного усечения соответственно; 4, 5, 6 – кривые изменения $\beta_{2(\text{ус})AE}$ для несимметричного усечения при $\Pi_{\text{в}\theta} = -3$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 1\text{–}3$ и $\Pi_{\text{в}\theta} = -(1\text{–}3)$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 3$ и для симметричного усечения соответственно

Вероятностные погрешности расчетных значений пиков $P_{\text{рп}\theta(\text{ус})AE}$ и впадин $P_{\text{рв}\theta(\text{ус})AE}$ для усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A определяются по выражению

$$\Delta P_{\text{рп,в}\theta(\text{ус})AE} = \left|\frac{P_{\text{рп,в}\theta(\text{ус})AE} - P_{\text{рп,в}\theta AE}}{P_{\text{рп,в}\theta(\text{ус})AE}}\right| \cdot 100\,\%. \quad (12)$$

Отношение значений погрешностей θ-впадин и θ-пиков ГЭН $\Delta P_{\text{рв}\theta(\text{ус})AE}$, %/$\Delta P_{\text{рп}\theta(\text{ус})AE}$, %, для усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при различных величинах пределов нормированных θ-пика $\Pi_{\text{п}\theta}$ и θ-впадины $\Pi_{\text{в}\theta}$ ГЭН, а также коэффициентов A и E, наблюдаемых на практике, при граничной вероятности $E_x = 0{,}05$ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вероятностные погрешности расчетных значений пиков $P_{\text{рп}\theta(\text{ус})AE}$ и впадин $P_{\text{рв}\theta(\text{ус})AE}$

A	E	$\Delta P_{\text{рв}\theta(\text{ус})AE}$, %, / $\Delta P_{\text{рп}\theta(\text{ус})AE}$, %, при			
		$\Pi_{\text{в}\theta} = -3$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 1{,}1$ ($C_{\text{ус}AE} = 1{,}158$)	$\Pi_{\text{в}\theta} = -3$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 1$ ($C_{\text{ус}AE} = 1{,}19$)	$\Pi_{\text{в}\theta} = -1$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 3$ ($C_{\text{ус}AE} = 1{,}19$)	$\Pi_{\text{в}\theta} = -1$; $\Pi_{\text{п}\theta} = 1$ ($C_{\text{ус}AE} = 1{,}46$)
–1,15	0,73	7/11	3/12	52/1	52/13
–2	2	17/8	16/9	57/6	57/16
–2	–2	1/8	2/9	57/4	55/7
2	–2	5/27	5/33	20/13	20/18
2	2	2/52	2/55	14/8	13/47

Из табл. 1 видно, что погрешность расчетных значений пиков $P_{\text{рп}\theta(\text{ус})AE}$ и впадин $P_{\text{рв}\theta(\text{ус})AE}$ для усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A от значений θ-пиков $P_{\text{рп}\theta AE}$ и θ-впадин $P_{\text{рв}\theta AE}$ теоретического закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A превосходит допустимую ±10 % и для плотности распределения θ-ординат ГЭН (рис. 1) составляет 7 и 11 % соответственно для впадины $\Delta P_{\text{рв}\theta(\text{ус})AE}$ и пика $\Delta P_{\text{рп}\theta(\text{ус})AE}$ нагрузки. Результаты теоретических расчетов (табл. 1) показывают, что при бóльших значениях коэффициентов асимметрии A и эксцесса E погрешности расчетных значений θ-пиков и θ-впадин будут еще значительнее и достигают 57 %.

Положения, изложенные в данной статье, не претендуют на инженерную завершенность, а лишь иллюстрируют влияние коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ и косвенно нижнего $\Pi_{\text{в}\theta}$ и верхнего $\Pi_{\text{п}\theta}$ пределов изменения нормированных θ-ординат ГЭН на расчетные значения пиков и впадин нагрузки.

ВЫВОД

Погрешность оценки расчетных значений пиков $P_{\text{рп}\theta AE}$ и впадин $P_{\text{рв}\theta AE}$ графиков электрической нагрузки без учета коэффициента усечения $C_{\text{ус}AE}$ в ряде случаев может быть больше допустимой ±10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минеев Р. В., Михеев А. П., Рыжнев Ю. Л. Графики нагрузок дуговых электропечей. – М.: Энергия, 1977. – 186 с.

2. Степанов В. П. Исследование особенностей электрических нагрузок и разработка методов расчета их для буровых установок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1981. – 21 с.

3. Ляхомский А. В. Развитие теории и совершенствование методов повышения эффективности применения электроэнергии на горных предприятиях: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 1990. – 21 с.

4. Жежеленко И. В., Кротков Е. А., Степанов В. П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 220 с.

5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 564 с.

6. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский, Г. М. Каялов, П. Н. Клейн, Б. С. Мешель. – Л.: Энергия, 1971. – 264 с.

7. Шидловский А. К., Куренный Э. Г. Введение в статистическую динамику систем электроснабжения. – Киев: Наук. думка, 1984. – 271 с.

Представлена кафедрой
автоматизированных
электроэнергетических систем

Поступила 17.10.2005