

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]:

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

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 $p_{\text{ном}}$ 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 $P_{\text{п}\theta AE}$ и впадин $P_{\text{в}\theta AE}$, в частности расчетной нагрузки по нагреву $P_{\text{р}\theta AE}$ согласно выражению, которое практически реализует вероятностную модель (1):

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

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 .

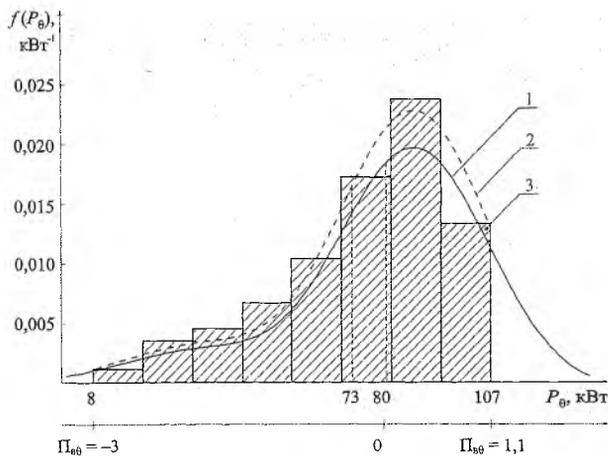


Рис. 1. Экспериментальные и теоретические плотности распределения вероятностей θ -ординат ГЭН шести станков-качалок на Ван-Еганском месторождении нефти: 1, 2 – теоретические кривые закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A ($P_{\text{с}AE} = 80$ кВт; $\sigma_{\theta AE} = 24$ кВт; $A = -1,15$;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

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

$$f_{ycAE}(P_\theta) = C_{ycAE} f_{AE}(P_\theta), \quad (3)$$

где C_{ycAE} – 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_{cAE} : 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_{ycAE} . Коэффициент усечения C_{ycAE} в выражении (3) определяется через нормированную функцию Φ^* нормального закона распределения вероятностей [5]

$$\Phi^*(\Pi_{n,\theta}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{P_\theta} \exp\left[-\frac{\Pi_{n,\theta}^2}{2}\right] d\Pi_{n,\theta} \quad (4)$$

по выражению

$$C_{ycAE} = \left\{ \begin{aligned} & \Phi^*(\Pi_{n\theta}) - \Phi^*(\Pi_{\theta}) - \frac{A}{6} \left[(\Pi_{n\theta}^2 - 1)f(\Pi_{n\theta}) - (\Pi_{\theta}^2 - 1)f(\Pi_{\theta}) \right] + \\ & + \frac{E}{24} \left[(3\Pi_{n\theta} - \Pi_{n\theta}^2)f(\Pi_{n\theta}) - (3\Pi_{\theta} - \Pi_{\theta}^2)f(\Pi_{\theta}) \right] \end{aligned} \right\}^{-1}, \quad (5)$$

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

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

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: $|\Pi_{n\theta}| \neq |\Pi_{\theta}|$, относительная средняя нагрузка $P_{c(yc)AE}^*$ группового ГЭН определяется по выражению

$$P_{c(yc)AE}^* = \frac{P_{c(yc)AE}}{P_{cAE}} = 1 + C_{ycAE} \sqrt{K_{\Phi\theta}^2 - 1} \times \left\{ \begin{aligned} & \varphi_*(\Pi_{\theta}) \left[1 - \frac{A}{6} (3\Pi_{\theta} - \Pi_{\theta}^3) + \frac{E}{24} (\Pi_{\theta}^4 - 6\Pi_{\theta}^2 + 3) \right] + \\ & \times \left[\varphi_*(\Pi_{n\theta}) \left[1 - \frac{A}{6} (3\Pi_{n\theta} - \Pi_{n\theta}^3) + \frac{E}{24} (\Pi_{n\theta}^4 - 6\Pi_{n\theta}^2 + 3) \right] \right] \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

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

Влияние коэффициента усечения C_{ycAE} на относительное значение средней нагрузки $P_{c(yc)AE}^*$ 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 $\Pi_{п\theta} = -1$ для кривой 1 приводит к увеличению $P_{c(yc)AE}^*$ до 5 %, а уменьшение верхнего предела нормированных θ -пиков ГЭН до $\Pi_{п\theta} = 1$ для кривой 2 приводит к уменьшению $P_{c(yc)AE}^*$ до 12 % по сравнению с теоретическим законом распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A . Точка A соответствует относительной средней нагрузке $P_{c(yc)AE}^*$ для плотности распределения θ -ординат ГЭН, представленных на рис. 1. Кривая 3 на рис. 2 отражает результаты теоретических расчетов $P_{c(yc)AE}^*$ для симметричного усечения закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при $|\Pi_{п\theta}| = |\Pi_{п\theta}|$ и $C_{ycAE} = 1-1,19$. Значение относительной средней нагрузки $P_{c(yc)AE}^*$ в точке C (пересечение кривых 1, 2, 3 на рис. 2) соответствует симметрично-усеченному закону распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при $\Pi_{п,\theta} = \pm 3$. Относительная средняя нагрузка $P_{c(yc)AE}^*$ достигает значения единицы при $\Pi_{п,\theta} = \pm \infty$.

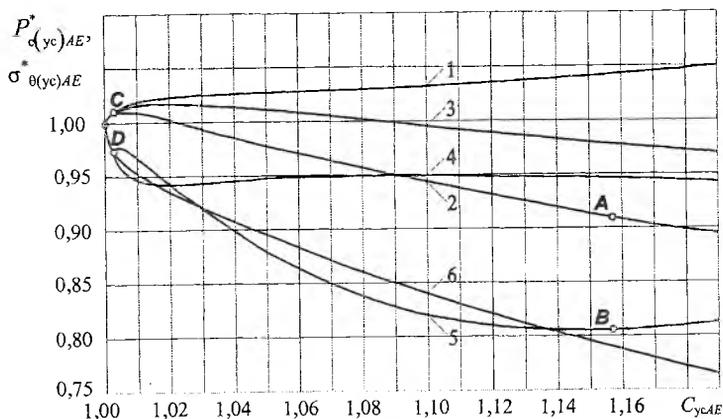


Рис. 2. Зависимости относительных значений $P_{c(yc)AE}^*$ и среднее квадратическое отклонения нагрузки $\sigma_{\theta(yc)AE}^*$ от C_{ycAE} при $A = -1,15$; $E = 0,73$: 1, 2, 3 — кривые изменения $P_{c(yc)AE}^*$ для несимметричного усечения при $\Pi_{п\theta} = -(3-1)$; $\Pi_{п\theta} = 3$ и $\Pi_{п\theta} = -3$; $\Pi_{п\theta} = 1-3$ и для симметричного усечения соответственно; 4, 5, 6 — кривые изменения $\sigma_{\theta(yc)AE}^*$ для несимметричного усечения при $\Pi_{п\theta} = -(3-1)$; $\Pi_{п\theta} = 3$ и $\Pi_{п\theta} = -3$; $\Pi_{п\theta} = 1-3$ и для симметричного усечения соответственно

Количественная оценка влияния коэффициента усечения C_{ycAE} на относительные значения среднее квадратическое отклонения нагрузки $\sigma_{\theta(yc)AE}^*$ производится по выражению

$$\sigma_{\theta(y_c)AE}^* = \frac{\sigma_{\theta(y_c)AE}}{\sigma_{\theta AE}} =$$

$$= \sqrt{1 + C_{y_c AE} \left(\Pi_{в\theta} \varphi_*(\Pi_{в\theta}) \left[1 - \frac{A}{6} (3\Pi_{в\theta}^3 - \Pi_{в\theta}^3) + \frac{E}{24} (\Pi_{в\theta}^4 - 6\Pi_{в\theta}^2 + 3) \right] + \right.} \quad (7)$$

$$\left. + \Pi_{п\theta} \varphi_*(\Pi_{п\theta}) \left[1 - \frac{A}{6} (3\Pi_{п\theta}^3 - \Pi_{п\theta}^3) + \frac{E}{24} (\Pi_{п\theta}^4 - 6\Pi_{п\theta}^2 + 3) \right] \right) +$$

$$+ C_{y_c AE}^2 \left(\varphi_*(\Pi_{в\theta}) \left[1 - \frac{A}{6} (3\Pi_{в\theta}^3 - \Pi_{в\theta}^3) + \frac{E}{24} (\Pi_{в\theta}^4 - 6\Pi_{в\theta}^2 + 3) \right] + \right. \Big)^2$$

$$\left. + \varphi_*(\Pi_{п\theta}) \left[1 - \frac{A}{6} (3\Pi_{п\theta}^3 - \Pi_{п\theta}^3) + \frac{E}{24} (\Pi_{п\theta}^4 - 6\Pi_{п\theta}^2 + 3) \right] \right)^2,$$

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

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

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 $P_{п\theta AE}$ нагрузки, а статистический коэффициент β_{2AE} – впадин $P_{в\theta AE}$ нагрузки. Значения статистических коэффициентов $\beta_{1(y_c)AE}$ и $\beta_{2(y_c)AE}$ для симметрично-несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A определяются из решения следующих уравнений [4, 7]:

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

$$F_{ycAE}(P_\theta) = E_x, \quad (9)$$

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

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

$$1 - E_x = \frac{C_{ycAE}}{\sqrt{2\pi}\sigma_\theta} \int_{P_{\theta 0 AE}}^{P_{\theta \text{пн}}(yc)AE} \exp\left(-\frac{(P_\theta - P_c)^2}{2\sigma_\theta^2}\right) \left[1 - \frac{A}{6} \left(3 \frac{P_\theta - P_c}{\sigma_\theta} - \frac{(P_\theta - P_c)^3}{\sigma_\theta^3} \right) + \frac{E}{24} \left(\frac{(P_\theta - P_c)^4}{\sigma_\theta^4} - 6 \frac{(P_\theta - P_c)^2}{\sigma_\theta^2} + 3 \right) \right] dP; \quad (10)$$

$$E_x = \frac{C_{ycAE}}{\sqrt{2\pi}\sigma_\theta} \int_{P_{\theta 0}}^{P_{\theta \text{пн}}(yc)AE} \exp\left(-\frac{(P_\theta - P_c)^2}{2\sigma_\theta^2}\right) \left[1 - \frac{A}{6} \left(3 \frac{P_\theta - P_c}{\sigma_\theta} - \frac{(P_\theta - P_c)^3}{\sigma_\theta^3} \right) + \frac{E}{24} \left(\frac{(P_\theta - P_c)^4}{\sigma_\theta^4} - 6 \frac{(P_\theta - P_c)^2}{\sigma_\theta^2} + 3 \right) \right] dP, \quad (11)$$

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

Уравнения (10) и (11) относительно статистических коэффициентов $\beta_{1(yc)AE}$ и $\beta_{2(yc)AE}$, 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_{ycAE} для фиксированного значения граничной вероятности $E_x = 0,05$.

Влияние коэффициента усечения C_{ycAE} на значения статистических коэффициентов $\beta_{1(yc)AE}$ и $\beta_{2(yc)AE}$ 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 $\Pi_{\theta 0} = 1$ для нормированных θ -пиков ГЭН несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A приводит к увеличению значений статистических коэффициентов $\beta_{1(yc)AE}$ и $\beta_{2(yc)AE}$ 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 $\Pi_{\theta 0} = -1$ несимметрично-усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A приводит к изменению статистического коэффициента $\beta_{1(yc)AE}$ до 17 % и уменьшению статистического коэффициента $\beta_{2(yc)AE}$ до 119 % по сравнению с законом распределения Грама-Шарлье типа A . Точки A и B соответствуют статистическим коэффициентам $\beta_{1(yc)AE}$ и $\beta_{2(yc)AE}$ для плотности распределения θ -ординат ГЭН (рис. 1). Кривые 3 и 6 (рис. 3) характеризуют результаты теоретических расчетов $\beta_{1(yc)AE}$ и $\beta_{2(yc)AE}$ для симметричного усечения закона распределения Грама-Шарлье типа A при $|\Pi_{\theta 0}| = |\Pi_{\theta 0}|$ и $C_{ycAE} = 1-1,19$.

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

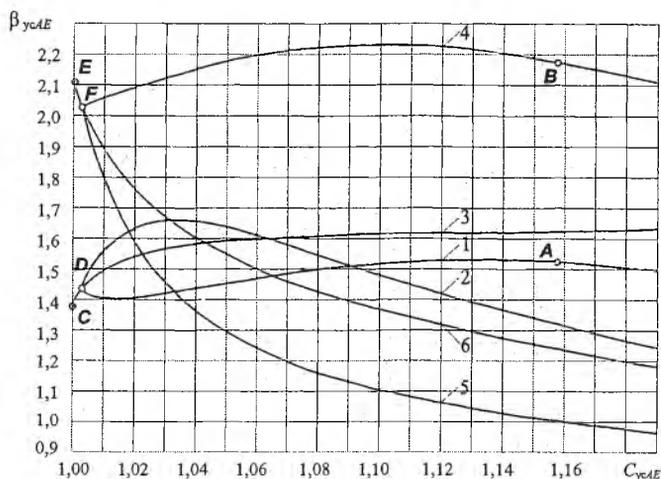


Рис. 3. Зависимости статистических коэффициентов $\beta_{1(yс)AE}$ и $\beta_{2(yс)AE}$ от коэффициента усечения $C_{yсAE}$ при $E_x = 0,05$: 1, 2, 3 – кривые изменения $\beta_{1(yс)AE}$ для несимметричного усечения при $\Pi_{в\theta} = -3$; $\Pi_{п\theta} = 1-3$ и $\Pi_{в\theta} = -(1-3)$; $\Pi_{п\theta}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

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

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

Отношение значений погрешностей θ -впадин и θ -пиков ГЭН $\Delta P_{рв\theta(yс)AE}, \%, / \Delta P_{рп\theta(yс)AE}, \%$, для усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A при различных величинах пределов нормированных θ -пика $\Pi_{п\theta}$ и θ -впадины $\Pi_{в\theta}$ 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 $P_{рп\theta(yс)AE}$ и впадин $P_{рв\theta(yс)AE}$

A	E	$\Delta P_{рп\theta(yс)AE}, \% / \Delta P_{рв\theta(yс)AE}, \% ,$ при			
		$\Pi_{в\theta} = -3; \Pi_{п\theta} = 1,1$ ($C_{yсAE} = 1,158$)	$\Pi_{в\theta} = -3; \Pi_{п\theta} = 1$ ($C_{yсAE} = 1,19$)	$\Pi_{в\theta} = -1; \Pi_{п\theta} = 3$ ($C_{yсAE} = 1,19$)	$\Pi_{в\theta} = -1; \Pi_{п\theta} = 1$ ($C_{yсAE} = 1,46$)
-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 $P_{рп\theta(yс)AE}$ и впадин $P_{рв\theta(yс)AE}$ для усеченного закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A от значений θ -пиков $P_{рп\theta AE}$ и θ -впадин $P_{рв\theta AE}$ теоретического закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа A превосходит допустимую $\pm 10\%$ и для плотности распределения θ -ординат ГЭН (рис. 1) составляет 7 и 11 % соответственно для впадины $\Delta P_{рв\theta(yс)AE}$ и пика $\Delta P_{рп\theta(yс)AE}$ нагрузки. Результаты теоретических расчетов (табл. 1) показывают, что при больших 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 $C_{усAE}$ и косвенно нижнего $\Pi_{н\theta}$ и верхнего $\Pi_{в\theta}$ пределов изменения нормированных θ -ординат ГЭН на расчетные значения пиков и впадин нагрузки.

В Ы В О Д

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

Л И Т Е Р А Т У Р А

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