

Рис. 4. Внешние характеристики трансформатора при различной величине воздушного зазора в сердечнике реактивной обмотки

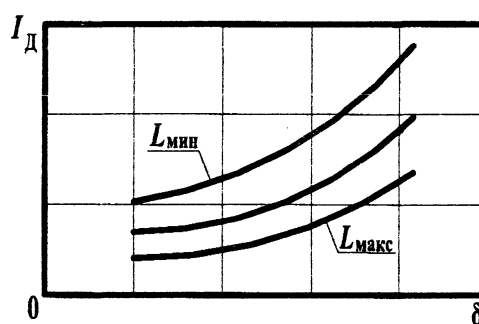


Рис. 5. Зависимость тока от воздушного зазора и длины дуги L

Регулирование сварочного тока осуществляется изменением воздушного зазора. С увеличением зазора растет магнитное сопротивление верхнего стержня $R_{\mu C}$ и соответственно снижается индуктивное сопротивление реактивной обмотки согласно уравнению:

$$X_p = \frac{\omega w_p^2}{R_{\mu C}},$$

где ω – частота первичного напряжения;
 w_p – число витков реактивной обмотки.

Из уравнения (3) следует:

$$I_d = \frac{\sqrt{U_2^2 - U_d^2}}{X_p}. \quad (4)$$

При увеличении зазора знаменатель выражения (4) уменьшается, а числитель существенно не изменяется, так как снижение U_2 компенсируется снижением U_d . Таким образом, для увеличения тока сварки необходимо увеличить воздушный зазор, и наоборот (рисунок 5).

Литература

1. Рабинович И.Я. Оборудование для дуговой электрической сварки. Источники питания дуги. – М.: Машгиз, 1958. – 380 с.

УДК 631.311

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛУЧАСОВОГО МАКСИМУМА НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Белько В.В.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Заявляемый получасовой максимум активной нагрузки промышленного предприятия может быть определен вероятностным методом на основе анализа суточных графиков нагрузки по формуле [1]:

$$P_{\max} = P_{\text{ср}} + k\sigma,$$

где $P_{\text{ср}}$ – среднее значение получасовой нагрузки предприятия в часы максимумов нагрузки энергосистемы;

k – квантиль, характеризующая ширину коридора неопределенности значений получасового максимума;

σ – среднеквадратичное отклонение получасовых нагрузок.

Этот метод позволяет достаточно точно найти значения параметров $P_{\text{ср}}$ и σ . Однако выбор квантили k носит субъективный характер. Рекомендованное традиционное для подобного рода задач значение $k = 3$ (правило «трех сигм») может привести к необоснованному увеличению платы предприятия за электроэнергию, поставляемую энергосистемой. С другой стороны, при уменьшении квантили возрастает вероятность привлечения потребителей-регуляторов для оперативного ограничения электропотребления в часы максимумов нагрузки энергосистемы во избежание штрафа за превышение заявляемого максимума нагрузки предприятия. Это увеличит ущерб от недоотпущенной продукции за время ограничения продукции предприятия.

В связи с этим предлагается определить квантиль k исходя не из чисто метрологических соображений, а минимизировать затраты, связанные с прохождением пиков нагрузки энергосистемы. Критерий минимума суммарных затрат предприятия при двухставочном тарифе имеет вид:

$$\Delta Z = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_2 + \Delta\Pi_3 + C = \min, \quad (1)$$

где ΔZ – среднесуточное изменение суммарных затрат при вариации квантили;

$\Delta\Pi_1$ – среднесуточное изменение платы за заявляемый получасовой максимум;

$\Delta\Pi_2$ – среднесуточное изменение платы (штрафа) за превышение максимума;

$\Delta\Pi_3$ – среднесуточное изменение платы за потребленную электроэнергию;

C – стоимость недоотпущенной продукции в среднем за сутки.

В случае, когда предприятие не ограничивает свою нагрузку, имеем $\Delta\Pi_3 = 0$ и $C = 0$. Тогда критерий (1) принимает вид:

$$\Delta Z_1 = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_2 = \min. \quad (2)$$

Величину $\Delta\Pi_1$ определяем следующим образом:

$$\Delta\Pi_1 = \frac{a}{n} (P_{\text{max}} - P_{\text{ср}}), \quad (3)$$

где a – основная (годовая) ставка двухставочного тарифа за один заявленный киловатт мощности в часы пиков нагрузки энергосистемы;

n – число дней в году.

Величина $\Delta\Pi_2$ находится с учетом штрафного коэффициента $k_{\text{ш}}$ за превышение заявленного максимума:

$$\Delta\Pi_2 = 2k_{\text{ш}} \frac{a}{n} \rho(P > P_{\text{max}}) [P_{\text{ср}}^{\text{ус}} - P_{\text{max}}], \quad (4)$$

где $\rho(P > P_{\text{max}})$ – вероятность превышения текущей получасовой нагрузки P получасового максимума P_{max} ;

$P_{\text{ср}}^{\text{ус}}$ – среднее значение усеченной совокупности значений получасовой нагрузки, превышающих максимум.

При нормальном законе распределения нагрузки имеем [2]:

$$\rho(P > P_{\text{max}}) = \frac{1}{2} - \Phi(u), \quad (5)$$

где $\Phi(u)$ – интеграл вероятностей:

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2}P_0} \int_0^u e^{-\frac{1}{2}t^2} dt;$$

$$u = \frac{P_{\max} - P_{\text{ср}}}{\sigma}.$$

Величина $P_{\text{ср}}^{\text{ус}}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{ср}}^{\text{ус}} = P_{\text{ср}} + y^2 \varphi(u), \quad (6)$$

где $\varphi(u)$ – плотность одностороннего усеченного распределения:

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sigma(1-\tau)} \varphi_{\text{н}}(u), \quad (7)$$

где $\varphi_{\text{н}}(u)$ – стандартизованная плотность нормального распределения, имеющая вид:

$$\varphi_{\text{н}}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2};$$

τ – степень усечения, т. е. часть исходного распределения нагрузки, отброшенная при усечении:

$$\tau = \frac{1}{2} + \Phi(u).$$

С учетом (3)–(5) и (6) минимизируемый функционал (2) принимает вид:

$$\Delta Z_1 = \frac{a}{n} \left(P_{\max} - P_{\text{ср}} + 2k_{\text{ш}} \left[\frac{1}{2} - \Phi(u) \right] \left[P_{\text{ср}} - P_{\max} + y^2 \varphi(u) \right] \right) = \min.$$

Постановку задачи поясняет рисунок 1. Заштрихованная область представляет собой вероятность превышения заявленного максимума.

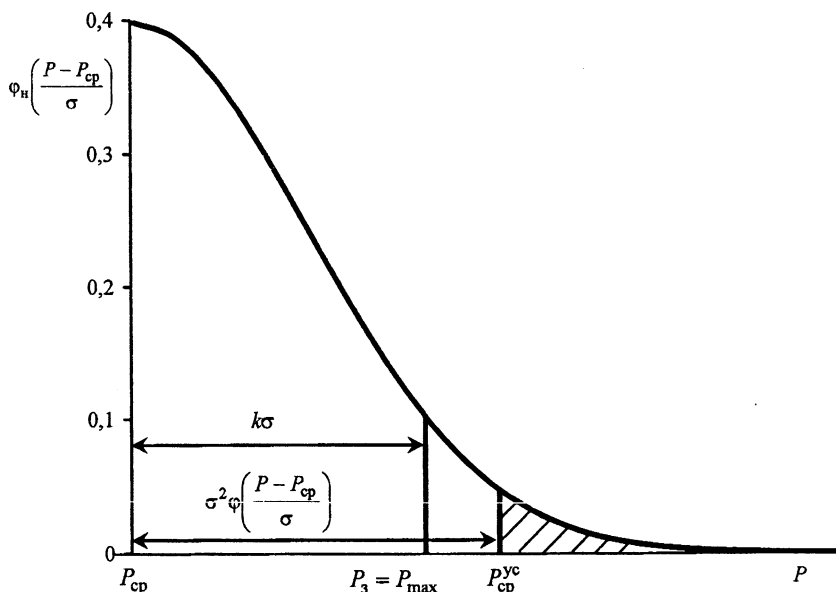


Рис. 1. Стандартизованная плотность нормального распределения

На рисунке 2 представлены зависимости изменения суммарных затрат и их составляющих от квантили при основной ставке $a = 244000$ руб./кВт, $n = 365$ дней, $\sigma = 200$ кВт и разных значениях штрафного коэффициента. Расчеты произведены в белорусских рублях.

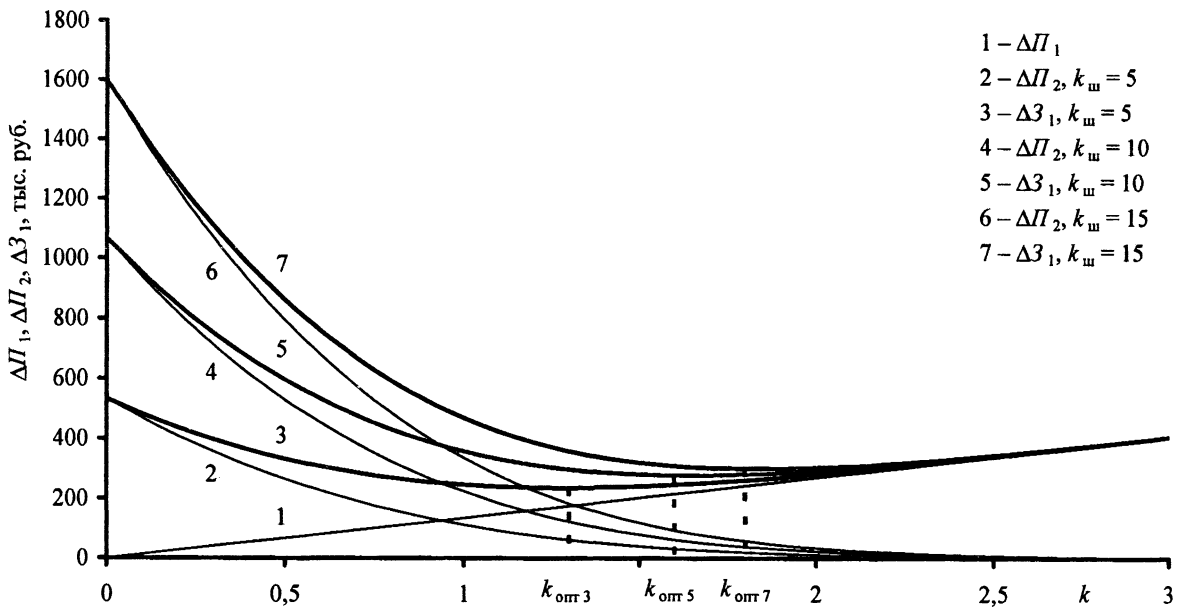


Рис. 2. Изменение суммарных затрат предприятия при отсутствии ограничения нагрузки

Рассмотрим случай, когда предприятие ограничивает свое электропотребление с помощью потребителей-регуляторов. Тогда $\Delta\Pi_2 = 0$ и критерий оптимизации (1) принимает вид:

$$\Delta Z_2 = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_3 + C = \min, \quad (8)$$

где $\Delta\Pi_3$ – суточное изменение платы за потребленную электроэнергию:

$$\Delta\Pi_3 = b\rho(P > P_{\max})\Delta W_{\Sigma}, \quad (9)$$

где b – дополнительная ставка двухставочного тарифа;

ΔW_{Σ} – суммарное суточное изменение электропотребления, определяемое следующим образом:

$$\Delta W_{\Sigma} = -\Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3. \quad (10)$$

Составляющие суммарного изменения электропотребления:

ΔW_1 – среднесуточное снижение электропотребления за время ограничения утреннего и вечернего максимумов нагрузки, равное площади, ограниченной реализацией случайной функции $P(t)$ выше уровня P_{\max} :

$$\Delta W_1 = \frac{2\sigma}{\sigma_x} \sqrt{2\pi} (\sigma + 2\pi(1-\tau)\varphi_n(u)) [P_{\text{ср}} - P_{\max}], \quad (11)$$

где σ_x – среднеквадратичное значение производной получасовой нагрузки, определяется из выражения [3]:

$$y_x = \sqrt{-\frac{d^2 Kx}{dx^2} \Big|_{x=0}}. \quad (12)$$

Полагая получасовую нагрузку дифференцируемой случайной функцией с корреляционной функцией вида:

$$K(x) = y^2 e^{-\sigma|x|} (1 + \sigma|x|), \quad (13)$$

получаем $y_x = \sigma\alpha$.

ΔW_2 – среднесуточные затраты электроэнергии на восстановление технологического процесса после окончания ограничений получасового максимума:

$$\Delta W_2 = d\Delta W_1, \quad (14)$$

где d – доля электроэнергии, которая расходуется на восстановление технологического процесса.

ΔW_3 – среднесуточное повышение электропотребления в часы провалов нагрузки, компенсирующее его снижение в часы пиков нагрузки с восполнением недоотпущенной продукции:

$$\Delta W_3 = r\Delta W_1, \quad (15)$$

где r_1 – доля снижения электропотребления, которая компенсируется его повышением в часы провалов нагрузки с соответствующим восполнением недоотпущенной продукции.

Стоимость продукции, недоотпущенной за сутки из-за ограничения максимумов нагрузки, определяется с учетом удельного ущерба y для данного производства:

$$C = (1-r)y\rho(P > P_{\max})\Delta W_1. \quad (16)$$

Критерий оптимизации (8) с учетом (3), (5), (7), (9)–(16) принимает вид:

$$\Delta Z_2 = \frac{a}{n} [P_{\max} - P_{\text{ср}}] + \frac{2\sigma}{\alpha} \sqrt{2\pi} \left[\frac{1}{2} - \Phi(u) \right] [b(r+d-1) + (1-r)y] \times \\ \times \left(1 + 2\pi(1-\tau)^2 \varphi(u) [P_{\text{ср}} - P_{\max}] \right) = \min.$$

На рисунке 3 представлены результаты расчетов затрат ΔZ_2 при значениях основной ставки $a = 244000$ руб./кВт, дополнительной ставки $b = 188$ руб./кВт·ч, $n = 365$ дней, $\sigma = 200$ кВт, $k_{\text{ш}} = 10$, $d = 0$, $r = 0$, $\alpha = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ в зависимости от удельного ущерба.

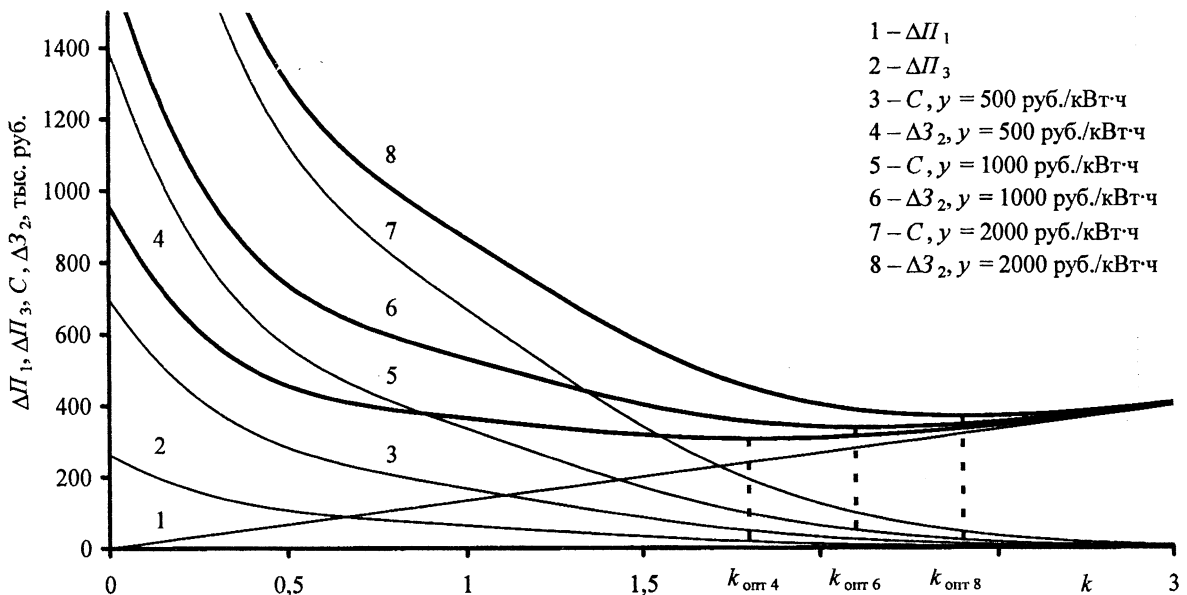


Рис. 3. Изменение суммарных затрат предприятия при ограничении нагрузки

Для определения общей экономической эффективности ограничения нагрузки с помощью потребителей-регуляторов следует учитывать необходимость дополнительных капиталовложений ΔK на установку дополнительного оборудования и издержки $\Delta И$. Тогда критерий оптимизации квантиля примет вид:

$$\Delta Z_2^* = \Delta Z_2 + E_H \Delta K + \Delta И,$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Условие целесообразности оперативного ограничения нагрузки:

$$\Delta Z_2^* < \Delta Z_1. \quad (17)$$

Т. к. погрешность оценки затрат ΔZ_2^* значительно больше погрешности затрат ΔZ_1 , следует ввести зону неразличимости в условие (17).

Литература

1. Волобринский С.Д. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волобринский, Г.М. Каялов, П.М. Клейн, Б.С. Мешель. – Л.: Энергия, 1971.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968.
3. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968.

УДК 621.313

ПЕРСПЕКТИВЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В БЕЛАРУСИ – 2008 ГОД

Жебрик О.З.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент **ОЛЕШКЕВИЧ М.М.**

«Нетрадиционная энергетика» нетрадиционна потому, что не везде еще у нас есть традиция – беречь родную природу.

Как и за счет каких источников человечество собирается покрывать всё возрастающие затраты энергии? Даже если энергетического кризиса удастся избежать, но мир рано или поздно столкнется с тем, что запасы невозобновляемых сырьевых ресурсов – нефти, газа и угля – будут исчерпаны. Чем активнее мы их используем, тем меньше их остается и тем дороже они нам обходятся. По расчетам специалистов, при нынешних объемах добычи угля на Земле хватит лет на 400–500, а нефти и газа – максимум на столетие. К тому же опустошение земных недр и сжигание топлива уродует планету, и год от года ухудшают ее экологию. Одним словом, перед человечеством стоит задача освоения экологически чистых, возобновляемых, или, как их еще называют, нетрадиционных, источников энергии. Среди них энергия ветра.

Освоение возобновляемых источников энергии и в особенности ветроэнергетики особенно важно для Беларуси с точки зрения обеспечения энергетической безопасности страны в связи недостатком собственных энергетических ресурсов (обеспеченность ими лишь на 15 %), быстрого роста цен на импортное углеводородное топливо, насыщенности энергоемкими промышленными предприятиями и большим промышленным потреблением энергии и топлива.

Преимущества ветроэнергетики:

- низкая себестоимость электроэнергии – ветроэнергетика может конкурировать с ядерной, угольной и газовой энергетикой;
- нулевая стоимость топливной составляющей, источник энергии неисчерпаем и присутствует в неограниченных количествах;
- экологическая чистота – производство энергии не сопровождается выбросами двуокиси углерода;
- независимость от поставщиков энергоресурсов и цен на топливо, надежность поставок;
- модульный дизайн, быстрый монтаж;