

УДК 621.311

Влияние ущерба от недоотпуска продукции на выбор потребителя-регулятора предприятия

Белько В.В.

Научный руководитель – АНИЩЕНКО В.А. д.т.н., профессор

Максимум получасовой средней электрической нагрузки промышленного предприятия может быть рассчитан статистическим методом по формуле [1]:

$$P_{max} = P_{cp} + \beta\sigma, \quad (1)$$

где P_{cp} – среднее значение получасовой нагрузки предприятия в часы максимумов нагрузки энергосистемы; β – статистический коэффициент, определяющий ширину коридора неопределенности значений получасового максимума; σ – среднеквадратичное отклонение получасовых нагрузок.

Для промышленных предприятий с присоединенной мощностью 750 кВ·А и выше в Республике Беларусь используется двухставочный тариф. В общем случае при двухставочном тарифе выбор параметров β и P_{max} осуществляется по критерию минимума изменения среднесуточных суммарных затрат предприятия за сутки [2, 3]:

$$\Delta Z = \Delta\Pi_{\Sigma} + C = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_2 + \Delta\Pi_3 + C = \min, \quad (2)$$

где $\Delta\Pi_{\Sigma}$ – среднесуточное суммарное изменение платы предприятия, в т.ч. $\Delta\Pi_1$ – изменение платы за заявленную договорную мощность $P_3 = P_{max}$; $\Delta\Pi_2$ – изменение платы (штрафа) за превышение этой мощности; $\Delta\Pi_3$ – изменение платы за потребленную электроэнергию; C – стоимость продукции, недоотпущенной предприятием из-за оперативного принудительного ограничения получасового максимума нагрузки предприятия в часы пиков нагрузки энергосистемы.

В случае, когда предприятие не ограничивает свою нагрузку, имеем $\Delta\Pi_3=0$ и $C=0$. Тогда критерий (2) принимает вид:

$$\Delta Z_1 = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_2 = \min. \quad (3)$$

Величина $\Delta\Pi_1$ находится следующим образом:

$$\Delta\Pi_1 = \frac{a}{n}(P_{max} - P_{cp}), \quad (4)$$

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

Величина $\Delta\Pi_2$ определяется с учетом штрафного коэффициента k_u за превышение заявленного максимума:

$$\Delta\Pi_2 = 2k_u \frac{a}{n} \rho(P > P_{max}) [P_{cp}^{yc} - P_{max}], \quad (5)$$

где $\rho(P > P_{max})$ – вероятность превышения текущей получасовой нагрузки P получасового максимума P_{max} ; P_{cp}^{yc} – среднее значение усеченной совокупности значений получасовой нагрузки, превышающих максимум.

При нормальном законе распределения нагрузки имеем [4]:

$$\rho(P > P_{max}) = \frac{1}{2} - \Phi(u), \quad (6)$$

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

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad u = \frac{P_{max} - P_{cp}}{\sigma}. \quad (7)$$

Величина P_{cp}^{yc} рассчитывается по формуле:

$$P_{cp}^{yc} = P_{cp} + \sigma^2 \varphi(u), \quad (8)$$

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

$$\varphi(u) = \frac{1}{\sigma(1-\tau)} \varphi_n(u), \quad (9)$$

где $\varphi_n(u)$ – стандартизованная плотность нормального распределения:

$$\varphi_n(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}u^2}, \quad (10)$$

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

$$\tau = \frac{1}{2} + \Phi(u). \quad (11)$$

Если предприятие ограничивает свое электропотребление с помощью потребителей-регуляторов, то $\Delta\Pi_2=0$ и критерий оптимизации (2) принимает вид:

$$\Delta Z_2 = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_3 + C = \min, \quad (12)$$

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

$$\Delta\Pi_3 = b \cdot \rho(P > P_{\max}) \cdot \Delta W_\Sigma, \quad (13)$$

где b – дополнительная ставка двухставочного тарифа; ΔW_Σ – суммарное суточное изменение электропотребления, определяемое следующим образом:

$$\Delta W_\Sigma = -\Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3. \quad (14)$$

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} :

$$\Delta W_1 = \frac{2\sigma}{\sigma_v} \sqrt{2\pi} (\sigma + 2\pi(1-\tau)\varphi_n(u) [P_{cp} - P_{\max}]), \quad (15)$$

где σ_v – среднеквадратичное значение производной получасовой нагрузки, определяется из выражения [5]:

$$\sigma_v = \sqrt{-\frac{d^2 K(v)}{dv^2} \Big|_{v=0}}. \quad (16)$$

Полагая получасовую нагрузку дифференцируемой случайной функцией с корреляционной функцией вида:

$$K(v) = \sigma^2 e^{-\alpha|v|} (1 + \alpha|v|), \quad (17)$$

получаем $\sigma_v = \sigma \cdot \alpha$.

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

$$\Delta W_2 = d \cdot \Delta W_1, \quad (18)$$

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:

$$\Delta W_3 = k \cdot \Delta W_1, \quad (19)$$

где k – 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:

$$C = (1 - k) \cdot y \cdot \rho(P > P_{\max}) \cdot \Delta W_1. \quad (20)$$

Рассмотрим влияние ущерба от недоотпуска продукции на выбор потребителя-регулятора промышленного предприятия. Для этого определим суммарные затраты предприятия при отсутствии потребителей-регуляторов ΔZ_1 и при их наличии ΔZ_2 при вариации параметров y , d и k .

На рисунке 1 представлены результаты расчетов изменения суммарных затрат ΔZ_1 и ΔZ_2 при значениях основной ставки $a=244000$ руб./кВт, дополнительной ставки $b=188$ руб./кВт·ч, $n=365$ дней, $\sigma=200$ кВт, $k_u=10$, $k=0$, $\alpha=10^{-4}$ с⁻¹, в зависимости от параметров y и d .

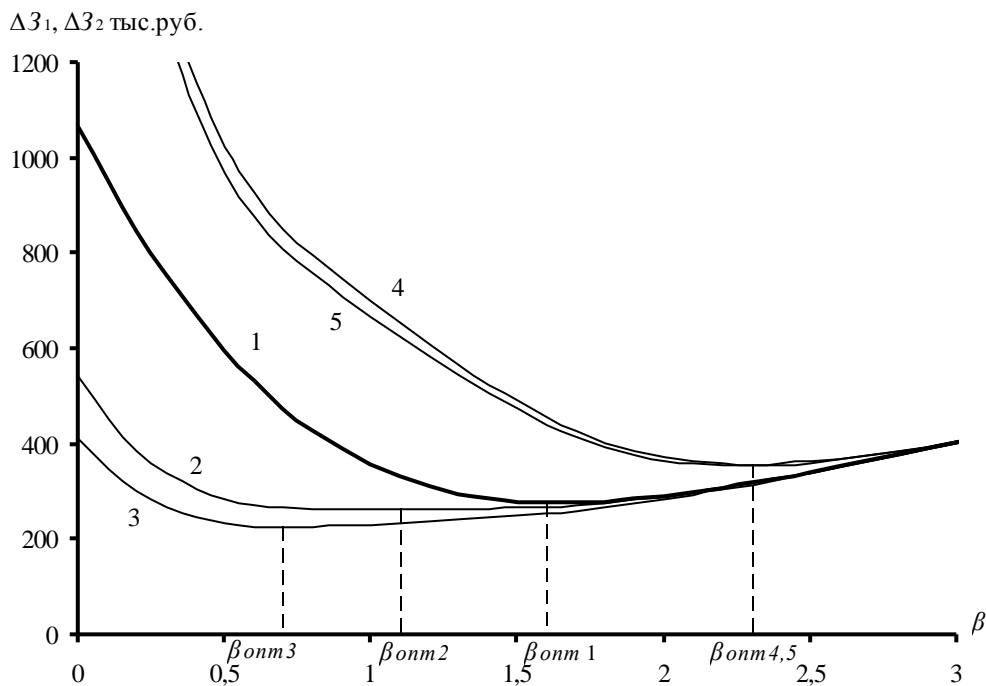


Рисунок 1. Суммарные затраты предприятия: 1 – ΔZ_1 ; 2,3 – ΔZ_2 при $y=200$ руб./кВт·ч и соответственно $d=0, d=0,5$; 4,5 – ΔZ_2 при $y=1500$ руб./кВт·ч и соответственно $d=0, d=0,5$.

Как видно из рисунка 1, с увеличением доли электроэнергии на восстановление технологического процесса d уменьшается оптимальное значение коэффициента $\beta_{онм}$ и соответственно уменьшается значение суммарных затрат ΔZ_2 .

На рисунке 2 приводятся результаты расчетов суммарных затрат ΔZ_1 и ΔZ_2 в зависимости от параметров y и k (при $d=0,5$). Как видно из рисунка 2, с увеличением доли снижения электропотребления k уменьшается оптимальное значение коэффициента $\beta_{онм}$. Данные на рисунках 1, 2 позволяют предприятию принять решение о целесообразности использования потребителей-регуляторов в зависимости от параметров d и k .

На рисунке 3 представлены оптимальные значения статистического коэффициента $\beta_{онм}$ при различных величинах d и k .

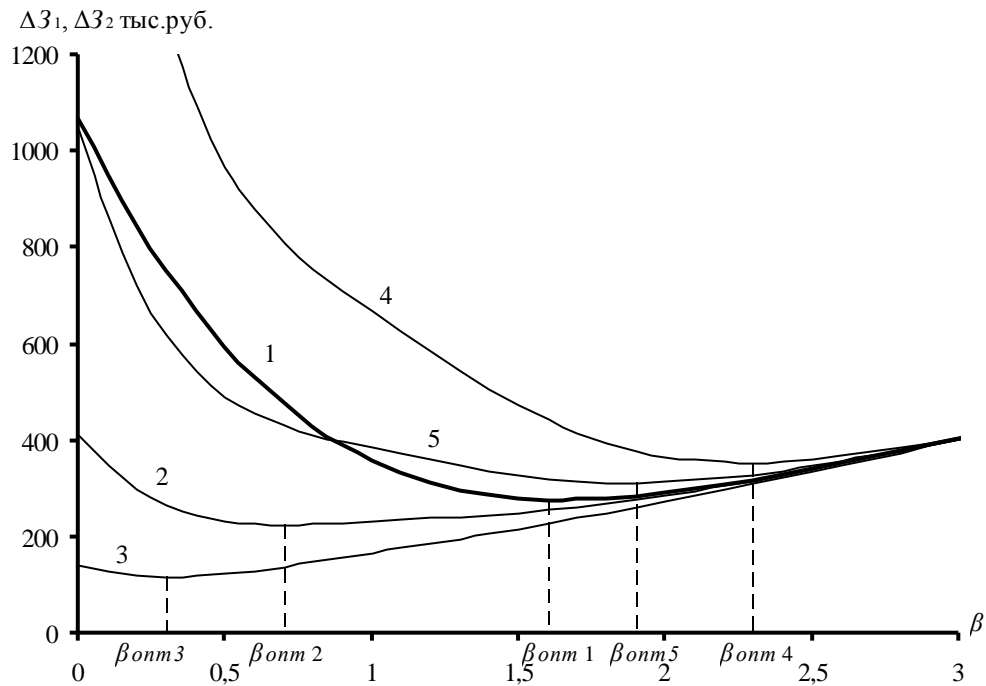


Рисунок 2. Суммарные затраты предприятия: 1 – ΔZ_1 ; 2,3 – ΔZ_2 при $y=200$ руб./кВт·ч и соответственно $k=0, k=0,5$; 4,5 – ΔZ_2 при $y=1500$ руб./кВт·ч и соответственно $k=0, k=0,5$.

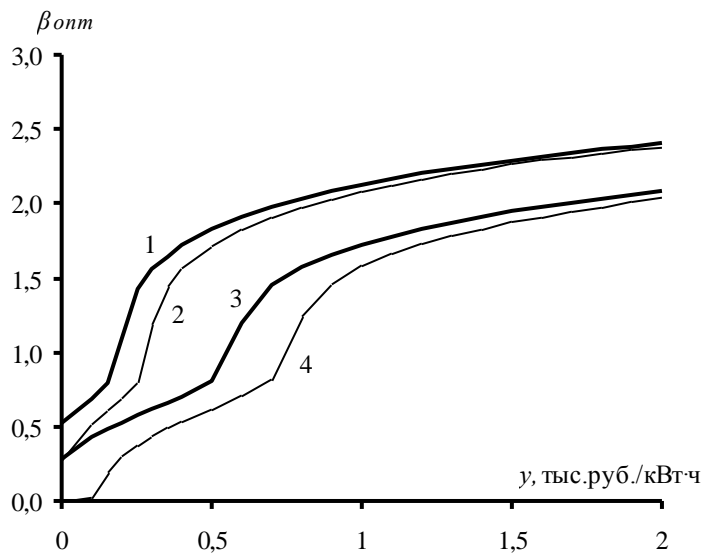


Рисунок 3. Оптимальный статистический коэффициент $\beta_{онм}$: 1 – при $d=0, k=0$; 2 – при $d=0,5, k=0$; 3 – при $d=0, k=0,5$; 4 – при $d=0,5, k=0,5$.

Согласно рисунку 3 при небольших значениях удельного ущерба y ($y \leq 0,5$ тыс. руб./кВт·ч) параметры d и k сильно влияют на величину $\beta_{онм}$, при увеличении y их влияние на $\beta_{онм}$ резко снижается.

Приведенная методика позволяет решать вопрос о целесообразности использования потребителей-регуляторов и определять величину $\beta_{онм}$ при их наличии.

Литература

1. Волобринский, С.Д. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С.Д. Волобринский, Г.М. Каялов, П.М. Клейн, Б.С. Мешель. – Ленинград: Энергия, 1971. – 264 с.
2. Белько, В.В. Определение получасового максимума нагрузки промышленного предприятия / В.В. Белько, В.А. Анищенко // Актуальные проблемы энергетики: Материалы 64-й научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов. – Мн.: БНТУ, 2009. – С. 184–186.

3. Анищенко, В.А. Оптимизация статистической оценки получасового максимума нагрузки промышленного предприятия / В.А. Анищенко, В.В. Белько // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений. – 2009 . – №4. – С. 24–33.
4. Корн, Г., Корн, Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
5. Свешников, А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 464 с.