

УДК 621.32 (075.8)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСВЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Кандидаты техн. наук, доценты КОЗЛОВСКАЯ В. Б., РАДКЕВИЧ В. Н.

*Белорусский национальный технический университет*

При составлении электрических балансов, выполнении энергетических обследований и разработке норм расхода электроэнергии на основные виды продукции или работ, а также решении других задач, связанных с оценкой электропотребления производственных объектов, требуется определять расход электроэнергии на искусственное освещение зданий и сооружений расчетным путем. И хотя доля затрат электроэнергии на освещение промышленных предприятий относительно невелика и составляет в зависимости от отрасли промышленности порядка 5–15 % от общего электропотребления, тем не менее неточности расчетов методического характера могут исказить представление об энергетических режимах работы оборудования.

В общем случае годовой расход электроэнергии на освещение определяется по следующему выражению [1, 2]:

$$W_{\text{го}} = P_{\text{ро}} T_{\text{махо}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ро}}$  – расчетная активная нагрузка освещения, кВт;  $T_{\text{махо}}$  – годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки, значение которого зависит от географической широты местности, вида освещения (рабочее, безопасности, эвакуационное и т. д.), наличия в помещении естественного освещения, числа и длительности рабочих смен [1, 2].

Расчетная нагрузка освещения помещения, здания или наружной территории при номинальном напряжении сети, к которой подключаются световые приборы, вычисляется по формуле

$$P_{\text{ро}} = K_{\text{со}} \sum_{i=1}^n K_{\text{ПРА}i} P_{\text{номи}i}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{со}}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки рассматриваемого объекта;  $K_{\text{ПРА}i}$  – коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующей

шем аппарате (ПРА)  $i$ -й газоразрядной лампы;  $p_{\text{номи}}$  – номинальная мощность  $i$ -й лампы, кВт;  $n$  – количество ламп, установленных в помещении, здании или системе наружного освещения.

Коэффициент спроса для рабочего освещения при отсутствии данных, основанных на специальных обследованиях осветительных установок, может приниматься в соответствии с рекомендациями, приведенными в [3]:

1 – для небольших производственных зданий, отдельных помещений, а также наружного освещения;

0,95 – для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,85 – для производственных зданий, состоящих из многих отдельных помещений;

0,8 – для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других подобных зданий;

0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений, а также для электрических подстанций.

При определении электрических нагрузок аварийного и дежурного освещения коэффициент спроса принимается равным единице. В практических расчетах, как правило, используются следующие значения коэффициента, учитывающего потери в ПРА [2, 4]:

1,0 – для ламп накаливания;

1,1 – для газоразрядных ламп высокого давления (ГЛВД) типа ДРЛ, ДРИ и т. п., а также для газоразрядных ламп низкого давления (ГЛНД), работающих с электронными ПРА;

1,2 – для ГЛНД, включаемых по стартерной схеме;

1,3 – для ГЛНД, включаемых по бесстартерной схеме.

Расчеты следует выполнять исходя из фактической или предполагаемой к использованию установленной мощности ламп, обеспечивающих нормируемую освещенность помещений или наружной территории.

Расчетная нагрузка освещения отдельных помещений и зданий при отсутствии достоверной информации об установленной мощности источников света может быть приближенно определена по формуле

$$P_{\text{по}} = K_{\text{со}} p_y F \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где  $p_y$  – удельная мощность общего равномерного освещения, Вт/м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь освещаемого помещения или здания, м<sup>2</sup>.

Удельная мощность освещения принимается в зависимости от типа и номинальной мощности ламп, расчетной высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью, уровня освещенности и других показателей освещения. Данные об удельной мощности для светильников прямого света с разными типами ламп при уровне освещенности  $E = 100$  лк, условном КПД светильника, равном 100 %, коэффициенте запаса 1,3 – для ламп накаливания и 1,5 – для газоразрядных ламп, приводятся в справочной литературе [2, 4]. Значение удельной мощности с учетом конкретных характеристик осветительных установок находят пропорциональным пересчетом по формуле

$$p_y = p_{\text{yt}} K_3 E_{\text{н}} / K_{\text{зт}} \eta \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где  $p_{\text{ут}}$  – табличное значение удельной мощности;  $K_3$  и  $K_{3т}$  – фактический и табличный коэффициент запаса;  $E_n$  – величина нормированной освещенности;  $\eta$  – условный КПД светильника в относительных единицах,  $\eta = 0,5-0,8$ .

При расчетах расходов электроэнергии на освещение значения  $T_{\text{махо}}$  принимаются по [1, 2]. В табл. 1 приведена информация о годовом числе часов использования максимальной нагрузки внутреннего освещения для ближайшей к территории Республики Беларусь географической широты местности, а в табл. 2 – наружного освещения.

Как следует из [1, 2], при наличии естественного освещения в зданиях предприятий с односменным режимом работы и пятью рабочими днями в неделю число часов использования максимума осветительной нагрузки равно 700 ч на северной широте  $46^\circ$  и 850 ч – на широте  $64^\circ$ , а при шести рабочих днях – соответственно 550 и 700 ч.

Таблица 1

**Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки для внутреннего освещения на северной широте  $56^\circ$**

Количество рабочих дней в неделю	Рабочее освещение и освещение безопасности				Эвакуационное освещение
	Число смен			При непрерывной работе	
	1	2	3		
При наличии естественного освещения					
5	750	2250	4150	–	4800
6	600	2100	4000	–	4800
7	–	–	–	4800	4800
При отсутствии естественного освещения					
5	2150	4300	6500	–	8760
6	2150	4300	6500	–	8760
7	–	–	–	7700	8760

Таблица 2

**Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки наружного освещения на всех широтах**

Вид освещения	Режим включения					
	Ежедневно			В рабочие дни		
	На всю ночь	До 1 ч	До 24 ч	На всю ночь	До 1 ч	До 24 ч
Рабочее освещение заводских территорий	3600	2450	2100	3000	2060	1750
Охранное освещение	3500	–	–	–	–	–

Для двух- и трехсменных предприятий, а также при непрерывном режиме работы производственного объекта значение  $T_{\text{махо}}$  принимается по табл. 1 на всех указанных широтах как при наличии, так и при отсутствии естественного освещения.

Следовательно, географическая широта местности оказывает влияние на время использования максимальной нагрузки освещения только односменных потребителей электроэнергии. Однако широта  $56^\circ$ , для которой в справочной литературе приводятся значения  $T_{\text{махо}}$ , затрагивает только

самые северные районы Витебской области, а территория Республики Беларусь находится примерно между  $52^\circ$  и  $56^\circ$  северной широты. При расчете годового расхода электроэнергии на освещение, принимая  $T_{\max}$  для широты  $56^\circ$ , получаются несколько завышенные результаты только для односменных потребителей. Линейная интерполяция значений  $T_{\max}$  для широт, находящихся в интервале между  $56^\circ$  и  $46^\circ$ , показывает, что с уменьшением широты на один градус время  $T_{\max}$  сокращается на 5 ч. При этом погрешность расчета по данным табл. 1 может достигать 2,7 % для односменного предприятия, работающего в режиме пятидневной недели, и 3,4 % – шестидневной недели. Уточнение значения  $T_{\max}$  в зависимости от фактической широты местности способствует повышению точности расчета. Следует иметь в виду, что приводимые в [1, 2] значения  $T_{\max}$  рассчитаны по световому календарю, а не определены статистическим путем и, как отмечено в [5], скорее всего являются заниженными.

При расчете электробаланса предприятия и норм расхода электроэнергии на основные виды продукции или работ необходимо распределять годовой расход электроэнергии на освещение по кварталам года. Для предприятий, работа которых не носит сезонного характера, наиболее просто расход электроэнергии за  $i$ -й квартал  $W_{ki}$  может быть определен с использованием коэффициента долевого участия  $\gamma_i$  каждого квартала в общем расходе электроэнергии на освещение  $W$  в течение года по формуле

$$W_{ki} = \gamma_i W \quad (i = 1, 4). \quad (5)$$

Долевые коэффициенты можно рассчитать по выражению

$$\gamma_i = \frac{T_{cti}}{\sum_{i=1}^4 T_{cti}}, \quad (6)$$

где  $T_{cti}$  – средняя продолжительность темного времени суток в  $i$ -м квартале года. При этом  $\sum_{i=1}^4 \gamma_i = 1$ .

Расчет по (6) показал, что на территории Республики Беларусь для I, II, III и IV кварталов года значения  $\gamma_i$  соответственно равны 0,29; 0,19; 0,21 и 0,31.

Использование данных табл. 1 несколько затруднительно при сезонном характере работы предприятия, существенном отклонении режима работы предприятия от нормального технологического регламента (например, вследствие ремонтов, незапланированных остановок производственного процесса, дополнительной работы в неурочное время и т. п.), а также при определении расхода электроэнергии на освещение за период менее года. В таких случаях целесообразно производить расчет расхода электроэнергии на освещение по (1) с использованием вместо  $T_{\max}$  фактического числа часов работы световых приборов (числа часов горения ламп), которое при отсутствии достоверной статистической информации вычисляется по следующим формулам [4]:

- рабочее освещение

$$T_{\text{po}} = (M - m)T_{\text{св}} + T_{\text{пр}}; \quad (7)$$

- дежурное освещение

$$T_{\text{до}} = MT'_{\text{св}}; \quad (8)$$

- наружное освещение

$$T_{\text{но}} = MT''_{\text{св}} + T_{\text{пн}}, \quad (9)$$

где  $M$  – общее число суток в рассматриваемом периоде;  $m$  – число нерабочих суток за то же время;  $T_{\text{св}}$ ,  $T'_{\text{св}}$ ,  $T''_{\text{св}}$  – среднесуточное число часов включения световых приборов рабочего, дежурного и наружного освещения соответственно;  $T_{\text{пв}}$  и  $T_{\text{пн}}$  – дополнительное число часов включения внутреннего и наружного электрического освещения в пасмурные дни.

Среднесуточная продолжительность работы световых приборов приближенно определяется по формулам [6]:

$$T_{\text{св}} = \frac{T_1 + T_2}{2}; \quad T'_{\text{св}} = \frac{T'_1 + T'_2}{2}; \quad T''_{\text{св}} = \frac{T''_1 + T''_2}{2}, \quad (10)$$

где  $T_1$ ,  $T'_1$ ,  $T''_1$  – соответственно длительность включения внутреннего рабочего, дежурного и наружного освещения в сутки с наибольшим значением темного времени за рассматриваемый период, ч;  $T_2$ ,  $T'_2$ ,  $T''_2$  – то же, но в сутки с наименьшим значением темного времени, ч.

Расход электроэнергии на освещение в этом случае определяется по формулам:

- рабочее освещение

$$W_{\text{po}} = P_{\text{po}}T_{\text{po}}; \quad (11)$$

- дежурное освещение

$$W_{\text{до}} = P'_{\text{po}}T_{\text{до}}; \quad (12)$$

- наружное освещение

$$W_{\text{но}} = P''_{\text{po}}T_{\text{но}}, \quad (13)$$

где  $P_{\text{po}}$ ,  $P'_{\text{po}}$ ,  $P''_{\text{po}}$  – расчетная активная мощность нагрузки рабочего, дежурного и наружного освещения соответственно, кВт.

При наличии на освещаемом объекте естественного света дополнительное число часов освещения в пасмурные дни, в случае отсутствия конкретных фактических данных, принимается равным 2–5 % от общего числа часов включения осветительных установок. Учитывая, что в среднем в течение года в Республике Беларусь число пасмурных дней составляет примерно 250, следует принимать наибольшее значение повышающего коэффициента при определении дополнительного числа часов освещения, т. е. 5 %.

Тогда расход энергии на искусственное освещение за расчетный период определяется по формулам:

- рабочее освещение

$$W_{\text{po}} = 1,05 P_{\text{po}} (M - m) T_{\text{св}}; \quad (14)$$

- наружное освещение

$$W_{\text{но}} = 1,05 P_{\text{po}}'' M T_{\text{св}}''. \quad (15)$$

В случае необходимости расход реактивной энергии для осветительных установок можно рассчитать аналогично. При этом расчетная реактивная нагрузка освещения при номинальном напряжении сети вычисляется по формуле

$$Q_{\text{po}} = K_{\text{co}} \sum_{i=1}^n K_{\text{ПРА}i} P_{\text{но}mi} \text{tg}\varphi_i, \quad (16)$$

где  $\text{tg}\varphi_i$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности для  $i$ -й газоразрядной лампы.

Для ГЛВД среднее значение  $\text{tg}\varphi$  принимается равным 1,73, а для ГЛНД с компенсированными ПРА – 0,48.

Расход реактивной электроэнергии осветительными установками можно найти по формуле:

- рабочее освещение

$$V_{\text{po}} = Q_{\text{po}} T_{\text{po}}; \quad (17)$$

- дежурное освещение

$$V_{\text{до}} = Q'_{\text{po}} T_{\text{до}}; \quad (18)$$

- наружное освещение

$$V_{\text{но}} = Q''_{\text{po}} T_{\text{но}}; \quad (19)$$

где  $Q_{\text{po}}$ ,  $Q'_{\text{po}}$ ,  $Q''_{\text{po}}$  – расчетная реактивная нагрузка рабочего внутреннего, дежурного и наружного освещения соответственно, квар.

Отметим, что рассматриваемый метод можно также использовать для расчета затрат электроэнергии на искусственное освещение коммунально-бытовых и сельскохозяйственных потребителей, принимая соответствующие значения коэффициента спроса осветительной нагрузки.

## ВЫВОДЫ

1. Предложен способ распределения годового расхода электроэнергии на искусственное освещение по кварталам года, учитывающий среднюю продолжительность темного времени суток, что может быть использовано при составлении электробалансов и определении норм расхода электроэнергии на промышленных предприятиях.

2. Расчет затрат электроэнергии на освещение производственных объектов на основе рассмотренного способа определения времени включения

осветительных установок повышает точность полученных результатов при разработке электрических балансов и норм электропотребления на промышленных предприятиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С п р а в о ч н и к по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
2. К н о р р и н г, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
3. И н с т р у к ц и я по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий: СН357–77. – М.: Стройиздат, 1977. – 96 с.
4. К о з л о в с к а я, В. Б. Электрическое освещение: справ. / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацкевич. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 255 с.
5. К н о р р и н г, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
6. Ф е д о р о в, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров. – М.: Энергия, 1972. – 416 с.

Представлена кафедрой  
электроснабжения

Поступила 22.02.2008

УДК 621.311:658.86

### **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ФАКТОРНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ К ЗАДАЧАМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОСРОЧНОГО СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ В АРМЕНИИ**

**Кандидаты техн. наук ГНУНИ Т. С., САРКИСЯН В. О., КОЛЯН Г. Л.**

*ЗАО «Научно-исследовательский институт энергетики», Республика Армения*

Выбор перспективной схемы развития энергетических систем сопряжен с прогнозированием долгосрочного спроса на энергетические ресурсы. Данная проблема выходит за рамки чисто энергетической и во многом определяется факторами экономического характера.

Настоящая статья посвящена вопросам оценки величины долгосрочного спроса на энергоресурсы, основанной на развитии методических подходов, используемых в теории стратегического управления [1, 2] и теории подобия [3, 4].

При прогнозировании долгосрочного спроса на энергию, особенно в развивающихся странах и странах с переходной экономикой, следует учитывать следующие основные факторы:

- экономическое развитие приведет к росту спроса на энергию;
- по мере экономического развития будет иметь место изменение структуры внутреннего валового продукта (ВВП);