

УДК 621.316.016.25

В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский

СТОИМОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОМПЛЕКТНЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

В современных условиях электропотребления в целях обеспечения эффективности мероприятий по компенсации реактивной мощности, осуществляемых в электрических сетях промышленных предприятий, все более остро возникает необходимость в решении задачи оптимизации процесса компенсации реактивной мощности. Эта задача в общем случае состоит в определении оптимальной мощности и мест установки компенсирующих устройств и имеет своей целью нахождение такого решения, которое бы обеспечивало максимальный экономический эффект при соблюдении всех технических условий нормальной работы электрических сетей и приемников электроэнергии.

В качестве критерия экономического эффекта при решении задачи оптимизации процесса компенсации реактивной мощности обычно используется минимум суммарных приведенных затрат. Технические требования сводятся к ограничениям по отклонениям напряжения в узлах сети, по нагрузке элементов сети передаваемой мощностью, по мощности компенсирующих устройств и др.

В наиболее простом из вариантов решения задачи, т. е. при однокритериальной оптимизации, когда критерием экономического эффекта (критерием оптимизации) является минимум суммарных приведенных затрат, технические условия вводятся в оптимизационную задачу в виде ряда различных ограничений и допущений. Целевая функция включает в себя затраты на потери мощности и на компенсирующие устройства:

$$Z = Z_n + Z_k, \quad (1)$$

где Z_n – затраты на потери мощности, руб./год; Z_k – приведенные затраты на компенсирующие устройства, руб./год.

Целью оптимизационной задачи в данном случае является определение такого значения мощности компенсирующих устройств Q_k , которое дает минимум целевой функции (1). Оптимальное значение мощности компенсирующих устройств определяется из условия $\partial Z / \partial Q_k = 0$.

Затраты на потери мощности в соответствии с [1] выражаются формулой

$$Z_n = c_0 \Delta P = c_0 (\Delta P_P + \Delta P_Q) = Z_{nP} + Z_{nQ}, \quad (2)$$

где c_0 – удельная стоимость потерь, руб./кВт в год; Z_{nP} и Z_{nQ} – затраты на потери, обусловленные потоками активной и реактивной мощности соответственно, руб./год.

Затраты на компенсирующие устройства рассмотрим на примере комплектных конденсатор-

ных установок ввиду того, что они получили наиболее широкое распространение на промышленных предприятиях в качестве средств компенсации реактивной мощности. Установка дополнительных конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности связана с затратами средств на приобретение, доставку, монтаж и обслуживание как самих конденсаторных установок, так и дополнительного оборудования. При этом, как правило, при решении задачи оптимизации процесса компенсации реактивной мощности вводится допущение, в соответствии с которым данные затраты приближенно могут быть представлены зависящими прямо пропорционально от мощности конденсаторных установок, т. е. в виде линейной зависимости [1, 2]:

$$Z_k = z_k Q_k, \quad (3)$$

где z_k – удельные приведенные затраты на конденсаторные установки, руб./кВАр в год; Q_k – номинальная мощность конденсаторных установок, кВАр.

Проверим фактическую возможность и допустимость применения указанного допущения на практике при решении задачи оптимизации процесса компенсации реактивной мощности, проанализировав основные стоимостные показатели, которыми характеризуются комплектные конденсаторные установки.

Ввиду того, что основную часть затрат на конденсаторные установки производят одновременно (затраты на приобретение, доставку и монтаж оборудования), а снижение потерь происходит в течение всего срока службы конденсаторных установок, то единовременные затраты на конденсаторные установки приводятся к годовым путем их умножения на нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений E_n . Поскольку кроме единовременных затрат на конденсаторные установки необходимо производить ежегодные амортизационные отчисления на их обслуживание и ремонт, а также учитывать потери активной мощности на генерацию реактивной в самих конденсаторных установках, то удельные приведенные затраты на конденсаторные установки будут определяться по формуле

$$z_k = (E_n + a_{op}) (K_k + K_{mp} + K_M) + c_k, \quad (4)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (для расчетов в электроэнергетике принимается равным 0,125); a_{op} – норма амортизационных отчислений на обслуживание и ремонт; K_k , K_{mp} и K_M – соответственно

удельные единовременные затраты на приобретение конденсаторных установок, их транспортировку к месту назначения и проведение монтажных работ, руб./кВАр; c_k – удельная стоимость потерь активной мощности в конденсаторных установках, руб./кВАр в год.

В соответствии с [3] $a_{op} = 0,05$, и тогда формула (4) приобретает вид:

$$\begin{aligned} z_k &= 0,175(K_k + K_{mp} + K_m) + c_k = \\ &= 0,175K_k + 0,175(K_{tr} + K_m) + c_k = \\ &= z_{k,k} + z_{k,dop} + c_k \end{aligned} \quad (5)$$

где $z_{k,k}$ – составляющая удельных приведенных затрат, определяемая стоимостью конденсаторных установок, руб./кВАр в год; $z_{k,dop}$ – составляющая удельных приведенных затрат, определяемая стоимостью транспортировки конденсаторных установок к месту назначения и стоимостью проведения монтажных работ, руб./кВАр в год.

Удельная стоимость потерь активной мощности в конденсаторных установках может быть определена по формуле

$$c_k = c_0 \Delta p_k \quad (6)$$

Усредненные стоимостные показатели комплектных конденсаторных установок

где Δp_k – удельные потери активной мощности в конденсаторах на генерацию реактивной, определяемые в соответствии с паспортными данными конденсаторных установок (при отсутствии паспортных данных могут быть приняты равными 0,004 кВт/кВАр для конденсаторов 0,4 кВ и 0,002 кВт/кВАр для конденсаторов 6 (10) кВ).

Ниже в таблице приведены усредненные стоимостные показатели современных типов комплектных конденсаторных установок, полученные в результате анализа действующих цен у производителей комплектных конденсаторных установок. С этой целью было выполнено сопоставление цен на комплектные конденсаторные установки одинаковой номинальной мощности, указанных в прайс-листах различных заводов-изготовителей комплектных конденсаторных установок, и на основании этого определены усредненные значения их основных стоимостных показателей.

Как следует из таблицы, с увеличением мощности конденсаторных установок увеличиваются и приведенные затраты на их установку, но при этом, очевидно, снижаются затраты на потери мощности и электроэнергии в сети. Поэтому целью оптимизационной задачи должно быть опре-

Номинальная мощность, кВАр	Цена, руб.	Удельная стоимость, руб./кВАр	Удельные приведенные затраты, руб./кВАр в год	Приведенные затраты, руб./год
Номинальное напряжение 0,4 кВ				
50	35263	705,26	123,42	6171,05
75	45305	604,06	105,71	7928,31
100	53098	530,98	92,92	9292,10
150	69472	463,15	81,05	12157,68
200	87902	439,51	76,91	15382,83
250	108278	433,11	75,79	18948,63
300	120388	401,29	70,23	21067,95
350	126670	361,92	63,34	22167,33
400	151385	378,46	66,23	26492,36
450	173404	385,34	67,43	30345,63
500	192612	385,22	67,41	33707,12
550	226523	411,86	72,08	39641,33
600	260434	434,06	75,96	45575,95
700	310262	443,23	77,57	54295,85
750	336612	448,82	78,54	58907,10
850	357925	421,09	73,69	62636,88
900	368337	409,26	71,62	64458,98
1000	401042	401,04	70,18	70182,35
Номинальное напряжение 6 (10) кВ				
450	142455	316,57	55,40	24929,70
900	206584	229,54	40,17	36152,20
1350	282216	209,05	36,58	49387,73
1800	360790	200,44	35,08	63138,29
2250	438319	194,81	34,09	76705,76
2700	516761	191,39	33,49	90433,21
3150	595204	188,95	33,07	104160,70

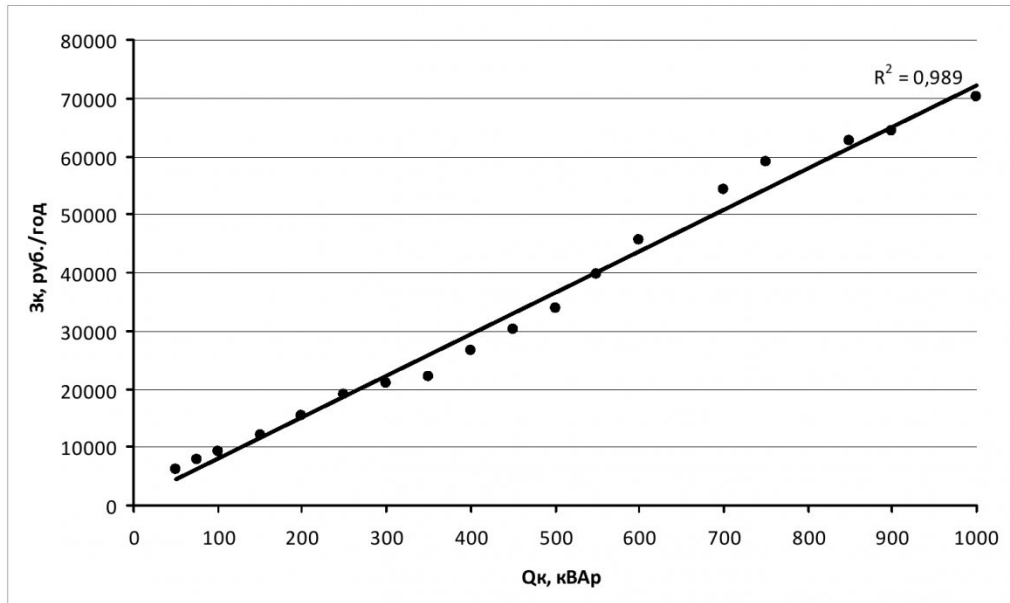


Рис. 1. График зависимости $Z_k = f(Q_k)$ для комплектных конденсаторных установок на напряжение 0,4 кВ

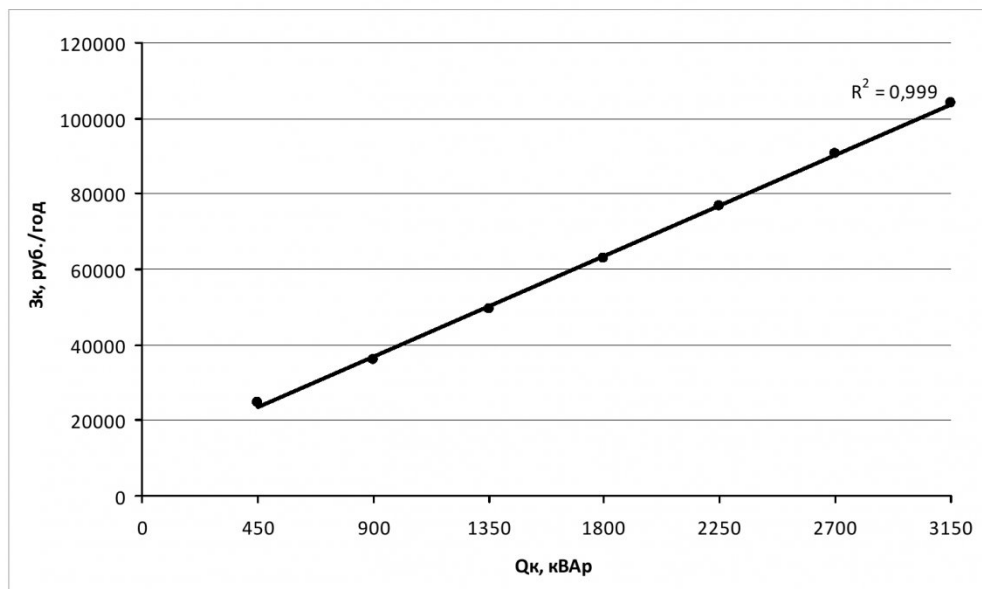


Рис. 2. График зависимости $Z_k = f(Q_k)$ для комплектных конденсаторных установок на напряжение 6 (10) кВ

деление такой мощности конденсаторных установок и мест их установки в сети, при которых суммарные приведенные затраты принимают наименьшее возможное значение.

На основе полученных усредненных стоимостных показателей комплектных конденсаторных установок были построены графики зависимости приведенных затрат на конденсаторные установки от их номинальной мощности и произведена аппроксимация данных графиков линейной аппроксимирующей функцией. График зависимости $Z_k = f(Q_k)$ для комплектных конденсаторных установок на напряжение 0,4 кВ приведен на рис. 1, а для комплектных конденсаторных установок на напряжение 6 (10) кВ – на рис. 2.

Вид графиков зависимости $Z_k = f(Q_k)$, представленных на рис. 1 и 2, указывает на достаточно высокую степень близости аппроксимации полученных данных линейной аппроксимирующей функцией. Об этом также свидетельствуют и близкие к единице значения коэффициентов детерминации R^2 , которые составили 0,989 для комплектных конденсаторных установок на напряжение 0,4 кВ и 0,999 для комплектных конденсаторных установок на напряжение 6 (10) кВ.

Таким образом, анализ усредненных стоимостных показателей комплектных конденсаторных установок и графиков зависимости $Z_k = f(Q_k)$ показал, что характер изменения приведенных

затрат на конденсаторные установки при изменении их номинальной мощности в целом достаточно достоверно описывается линейной зависимостью (3). Данное обстоятельство, в свою очередь, позволяет сделать вывод о возможности практического применения допущения о прямо пропорциональной зависимости приведенных затрат на

конденсаторные установки от их номинальной мощности, а также о допустимости использования указанного допущения при решении задачи оптимизации процесса компенсации реактивной мощности с достаточной для практики степенью точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
2. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : Учебник для студентов высших учебных заведений. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
3. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.

□ Авторы статьи:

Ефременко
Владимир Михайлович
– канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
зав. каф. электроснабжения горных
и промышленных предприятий КузГТУ,
тел.8-904-999-0817
E-mail: evm.kegpp@kuzstu.ru

Беляевский
Роман Владимирович
– ассистент каф. электроснабжения
горных и промышленных предпри-
ятий КузГТУ, тел. 8-950-584-7672
E-mail: belaevsky@mail.ru

УДК 621.316.016.25

В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРУЗКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Силовые трансформаторы являются одними из основных потребителей реактивной мощности на промышленных предприятиях. На их долю приходится около 30 % от общей реактивной мощности, потребляемой в промышленных электрических сетях. При этом значительная часть реактивной мощности, потребляемой силовыми трансформаторами на промышленных предприятиях, обусловлена, в основном, их малой нагрузкой. Снижение коэффициента загрузки силовых трансформаторов приводит к повышенному потреблению ими реактивной мощности, а также к увеличению коэффициента реактивной мощности $tg\varphi$, как самих трансформаторов, так и промышленного предприятия в целом. В настоящее время значение $tg\varphi$ нормируется в зависимости от уровня напряжения в виде установленных в [1] предельных значений коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети. При этом в соответствии с [1] соблюдение предельных значений коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети, должно обеспечиваться потребителями посредством соблюдения режимов потребления электрической энергии либо использования компенсирующих устройств. Поэтому представ-

ляется целесообразным рассмотреть влияние коэффициента загрузки силовых трансформаторов на величину их коэффициента реактивной мощности и на основании этого выработать рекомендации по их рациональной эксплуатации, которые бы способствовали поддержанию допустимых значений $tg\varphi$ силовых трансформаторов, а, следовательно, и обеспечению соблюдения установленных предельных значений $tg\varphi$ в электрической сети промышленного предприятия.

В [2] приведены графики зависимости коэффициента реактивной мощности от коэффициента загрузки $tg\varphi = f(\beta)$ для силовых трансформаторов типов ТМ и ТМГ номинальной мощностью от 25 до 2500 кВА, полученные расчетным путем на основании их технических (каталожных) данных. Указанные трансформаторы достаточно широко применяются на промышленных предприятиях для питания электроприемников в цеховых электрических сетях. Приведенный в [2] анализ зависимостей $tg\varphi = f(\beta)$ показал, что при снижении коэффициента загрузки силовых трансформаторов значение их коэффициента реактивной мощности существенно увеличивается.

Теперь проанализируем полученные в [2] результаты, построив графики зависимости коэффициента реактивной мощности $tg\varphi$ от номинальной