

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ ELECTROTECHNICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья

УДК 621.316

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-3-11

Леонова Юлия Юрьевна, Негадаев Владислав Александрович

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: NegadaevVA@kuzstu.ru

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ



Информация о статье

Поступила:

27 декабря 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 марта 2025 г.

Принята к печати:

05 мая 2025 г.

Опубликована:

05 июня 2025 г.

Ключевые слова:

сети электроснабжения, реактивная мощность, компенсация, статические конденсаторы, допустимый ток, емкость, стоимость компенсации реактивной мощности

Аннотация.

Рост стоимости энергоресурсов обуславливает необходимость учета мероприятий по снижению производственных потерь электроэнергии при построении сети электроснабжения. Снизить потери электроэнергии возможно за счет увеличения коэффициента мощности. Несмотря на значительное количество исследований по вопросам оптимизации методов выбора устройств компенсации реактивной мощности, их размещения и управления, зачастую затраты на установку таких устройств определяются приблизительно, без учета характера зависимостей между стоимостью и их параметрами. В настоящей статье представлены результаты исследований зависимостей стоимости устройств компенсации реактивной мощности от их параметров: реактивной мощности, допустимого тока и емкости. Для уточнения характера связи между стоимостью конденсаторных батарей и значением реактивной мощности определены уравнения регрессии, описывающие данную зависимость (в ценах 2023 года). Для нахождения уравнений регрессии использован метод корреляционного анализа. По значению критерия Фишера выбрано уравнение регрессии, которое наилучшим способом описывает зависимость между указанными параметрами конденсаторных батарей. Предложено использование индекса-дефлятора для прогнозирования стоимости конденсаторных батарей. Для определения значений реактивной мощности конденсаторной батареи, при которых целесообразно включение конденсаторов через повышающий трансформатор, проведен расчет стоимости способов компенсации реактивной мощности при значениях реактивной мощности 50 кВАр и выше и сравнение методов компенсации реактивной мощности с использованием повышающего трансформатора и без его использования. По итогам исследования сделаны выводы: о существовании зависимости между стоимостью конденсаторных батарей и реактивной мощностью, описываемой полиномиальным уравнением регрессии; о влиянии значения напряжения на стоимость единицы емкости конденсаторных батарей. Отмечено, что в случае, если требуемая реактивная мощность превышает значение в 300 кВАр, целесообразно рассмотреть включение статических конденсаторов с использованием повышающего трансформатора.

Для цитирования: Леонова Ю.Ю., Негадаев В.А. Рациональный подход к выбору устройства компенсации реактивной мощности // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 2 (178). С. 3-11. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-3-11, EDN: ETMDKW

Введение

Проектирование сетей электроснабжения связано с выбором параметров элементов сетей электро-

снабжения: уровня тока и напряжения; материала жилы и изоляции кабелей, их длины и площади

сечения; типа устройств компенсации реактивной мощности, их количества и места расположения.

Выбор параметров элементов сетей электропитания должен производиться с учетом требований нормативных документов, технических требований, обеспечивая надежность и эффективность электроснабжения.

При этом наблюдающийся рост стоимости топливно-энергетических ресурсов обуславливает необходимость снижения производственных потерь электроэнергии за счет выбора способов повышения энергоэффективности.

Повышение энергоэффективности позволяет снизить величину удельного электропотребления на единицу производимой продукции, что, в конечном итоге, положительно влияет на конкурентоспособность предприятия.

Одним из значимых способов повышения энергоэффективности предприятия является увеличение коэффициента мощности.

Увеличение коэффициента мощности позволяет не только снизить потери электроэнергии непосредственно у потребителя, но и снизить загрузку трансформаторов и генераторов, установленных на электростанциях, реактивными токами. В некоторых случаях при значительной нагрузке реактивными токами получение от трансформаторов и генераторов установленной активной мощности становится невозможным. Возникает необходимость увеличения мощности и размеров источников питания, что приводит к дополнительным затратам.

Увеличение коэффициента мощности может быть достигнуто мероприятиями, направленными на улучшение использования электрооборудования (применение оборудования с номинальными характеристиками, близкими к расчетным; применение асинхронных короткозамкнутых двигателей взамен асинхронных двигателей с контактными кольцами; устранение длительной работы электрооборудования на холостом ходу и т.д.), и мероприятиями по компенсации реактивной индуктивной составляющей полной мощности (применение статических (косинусных) конденсаторов, синхронных двигателей и т.д.).

Мероприятия по компенсации реактивной индуктивной мощности, по сравнению с мероприятиями, направленными на улучшение использования электрооборудования, являются более эффективными. Они не только способствуют снижению потерь электроэнергии, но являются одним из средств регулирования напряжения в электрических сетях, повышения их пропускной способности и экономии топливно-энергетических ресурсов.

Однако, использование естественных способов компенсации реактивной мощности, т.е. учет имеющегося оборудования [1, 2] (собственная емкость системы, РС-газители и т.д.) позволяет снизить стоимость системы компенсации реактивной мощности до 25 %.

Учитывая разнообразие устройств компенсации реактивной мощности, а также широкий выбор алгоритмов для реализации мероприятий, выбор способа компенсации представляется трудной задачей.

В целом, следует отметить, что в большинстве случаев в качестве устройств компенсации индуктивной реактивной составляющей полной мощности рассматриваются статические конденсаторы. Выбор данного вида устройств обусловлен более простой и дешевой эксплуатацией по сравнению с другими компенсирующими устройствами, наличием возможности изменения установленной мощности в зависимости от потребности и возможности установки статических конденсаторов в любой точке сети.

Ряд авторов рассмотрел вопрос оптимизации методов выбора устройств, размещения и управления устройствами компенсации реактивной мощности [1-9, 13]. В [3] для повышения эффективности процессов снижения потерь активной мощности предложен алгоритм управления статическими преобразователями, в [5] – алгоритм оптимизации параметров конденсаторных установок на основе имитационного моделирования управления статическими преобразователями.

Авторы исследуют влияние режимов регулирования напряжения [10], коэффициента загрузки цеховых трансформаторов [11], электромагнитной обстановки в электрических сетях [12] на значение коэффициента мощности.

Выбор оптимального места размещения устройств компенсации реактивной мощности предлагается на основе использования метода индекса прогнозирования падения напряжения [7], метаэвристического метода дифференциальной эволюции [13], генетического алгоритма [14, 15, 16, 17]. Метод математического моделирования применялся для обоснования мероприятий по энергосбережению в [18]. Для оптимизации перетоков реактивной мощности в [19] предложена система мониторинга параметров распределительной сети с корректирующим управлением на основе нейронной сети.

Несмотря на проведение большого количества исследований, затраты на установку устройств компенсации реактивной мощности определяются чаще всего приблизительно на основании стоимости отдельных устройств [6], реже – на основании удельной стоимости одного кВАр мощности устройства. Данный подход не учитывает характер зависимости стоимости компенсации реактивной мощности и может привести к решениям, которые не будут удовлетворять критерию оптимальности с точки зрения минимума стоимости компенсации реактивной мощности.

Поэтому авторами проведена работа по определению зависимостей между стоимостью устройств компенсации реактивной мощности и их параметрами.

Учитывая перечисленные выше достоинства, в качестве устройств компенсации реактивной мощности выбраны статические конденсаторы.

Впоследствии полученные зависимости лягут в основу алгоритма выбора оптимальных параметров сети электроснабжения.

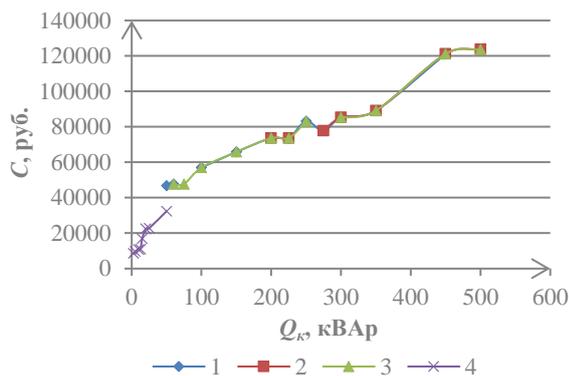


Рис. 1. Зависимость стоимости конденсаторной батареи C от реактивной мощности Q_k при номинальных напряжениях: 1 – 6,3 кВ; 2 – 6,6 кВ; 3 – 10,5 кВ; 4 – 0,4 кВ

Fig. 1. The dependence of the cost of the capacitor bank C on the reactive power Q_k at rated voltages: 1 – 6.3 kV; 2 – 6.6 kV; 3 – 10.5 kV; 4 – 0.4 kV

Таблица 1. Уравнения регрессии и их характеристики.

Table 1. Regression equations and their characteristics.

R^2	r	F
$y = 223,38x + 20401, (1)$		
0,9279	0,9633	244,52
$y = -0,2464x^2 + 330,28x + 15546, (2)$		
0,9493	0,97432	355,75
$y = 4007,8x^{0,5493}, (3)$		
0,9654	0,9825	530,13
$y = 19752e^{0,0047x}, (4)$		
0,7002	0,8368	44,38
$y = 21634\ln(x) - 36877, (5)$		
0,8886	0,9427	151,56

Определение зависимостей между стоимостью устройств компенсации реактивной мощности и их параметрами

Для определения зависимостей между стоимостью устройств компенсации реактивной мощности и их параметрами использована информация о параметрах статических конденсаторов, объединенных в конденсаторные батареи, на примере модели NUCON PSPE3 реактивной мощностью от 2,5 до 50 кВАр на номинальное напряжение 0,4 кВ (Россия) и модели КЭП ТОО «УККЗ» реактивной мощностью от 50 до 500 кВАр на номинальные напряжения 6,3; 6,6 и 10,5 кВ (Казахстан).

Рассмотренные модели предназначены для коррекции коэффициента мощности трехфазной сети частоты 50 Гц с коэффициентом искажения синусоидальности напряжения менее 2 %, изготовлены со встроенными внутрь разрядными резисторами.

Конденсаторные элементы соединены внутри корпуса в треугольник.

На основании информации о параметрах и стоимости конденсаторных батарей построены графики зависимостей стоимости конденсаторных батарей от реактивной мощности, допустимого тока и емкости (рис. 1-3).

Таблица 2. Характеристики уравнения степенной регрессии.

Table 2. Characteristics of the power regression equation.

Q_k , кВАр	C , руб.	$C_{расч}$, руб.	A , %
2,5	8520	6630	22,19
5	9600	9702	1,06
10	10740	14197	32,19
12,5	10800	16049	48,60
15	16800	17739	5,59
20	22400	20776	7,25
25	22800	23485	3,01
50	46692	34368	26,40
60	47704	37988	20,37
75	47704	42941	9,98
100	56987	50293	11,75
150	65833	62840	4,55
200	73674	73597	0,10
225	73674	78516	6,57
250	83135	83194	0,07
275	77689	87666	12,84
300	85319	91958	7,78
350	89102	100084	12,32
450	121220	114899	5,21
500	123668	121745	1,56
$A_{ср}$, %			11,69

Таблица 3. Уравнения регрессии и их характеристики (без значений до 50 кВАр).

Table 3. Regression equations and their characteristics (without values up to 50 kVAr).

R^2	r	F
$y = 170,65x + 37154, (6)$		
0,9724	0,9861	387,55
$y = 0,0736x^2 + 132,29x + 40650, (7)$		
0,9759	0,9879	445,43
$y = 4775,9x^{0,5177}, (8)$		
0,9643	0,9723	303,19
$y = 43992e^{0,0022x}, (9)$		

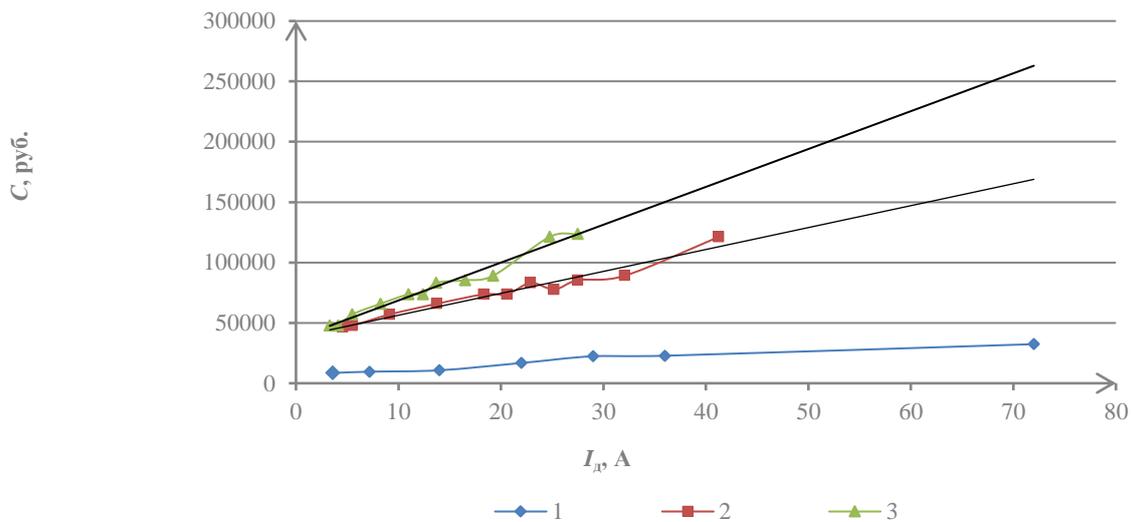


Рис. 2. Зависимость стоимости конденсаторной батареи C от допустимого тока I_d при номинальных напряжениях: 1 – 0,4 кВ; 2 – 6,3 кВ; 3 – 10,5 кВ

Fig. 2. The dependence of the cost of the capacitor bank C on the permissible current I_d at rated voltages: 1 – 0.4 kV; 2 – 6.3 kV; 3 – 10.5 kV

Как видно из рисунка 1, при увеличении значения реактивной мощности стоимость конденсаторных батарей практически линейно возрастает. При этом стоит отметить, что при разных значениях номинального напряжения, но одинаковых значениях реактивной мощности стоимости конденсаторных батарей совпадают.

Для уточнения характера связи между стоимостью конденсаторных батарей и значением реактивной мощности найдены уравнения линейной регрессии и парной нелинейной регрессии, определены величина достоверности R^2 , коэффициент корреляции r , проверена значимость полученных уравнений (1)–(5) по критерию Фишера F (табл. 1)

Так как значения критерия Фишера F оказались меньше критического значения $F_{крит} = 4,38$ для всех найденных уравнений, то уравнение регрессии, которое наилучшим способом описывает зависимость между указанными параметрами конденсаторных батарей, выбрано по максимальному значению критерия Фишера F (уравнение (3) степенной зависимости). Для данного уравнения регрессии рассчитаны ошибки аппроксимации A (в том числе средняя ошибка аппроксимации $A_{ср}$) (табл. 2).

Исходя из значений, приведенных в табл. 2, видно, что при значениях реактивной мощности менее 50 кВАр, среднее значение ошибки аппроксимации составляет 11,69 %, максимальное значение ошибки аппроксимации достигает 48,6 %.

При исключении значений до 50 кВАр среднее значение ошибки аппроксимации $A_{ср}$ составляет 4,17 %, при этом максимальное значение ошибки аппроксимации не превышает 7,71 % для полиномиальной модели регрессии (7), выбранной по критерию Фишера (табл. 3, табл. 4).

Таблица 4. Характеристики уравнения полиномиальной регрессии (без значений до 50 кВАр).

Table 4. Characteristics of the polynomial regression equation (without values up to 50 kVAr).

Q_k , кВАр	C , руб.	$C_{расч}$, руб.	A , %
50	46692	47449	1,62
60	47704	48852	2,41
75	47704	50986	6,88
100	56987	54615	4,16
150	65833	62150	5,60
200	73674	70052	4,92
225	73674	74141	0,63
250	83135	78323	5,79
275	77689	82596	6,32
300	85319	86961	1,92
350	89102	95968	7,71
450	121220	115085	5,06
500	123668	125195	1,23
$A_{ср}$, %			4,17

Полученное уравнение (7) описывает зависимость стоимости конденсаторной батареи от реактивной мощности в ценах 2023 года. Для прогнозирования стоимости в последующие годы необходимо в уравнение ввести индекс-дефлятор.

Из рис. 2 и 3 видно, что стоимость конденсаторных батарей линейно зависит от допустимого тока и емкости конденсатора, при этом наблюдаются

различия в стоимости конденсаторных батарей с одинаковым значением допустимого тока (емкости) и разным значением номинального напряжения.

Стоимость единицы емкости конденсаторных батарей увеличивается при увеличении значения напряжения. При этом стоимости конденсаторов близких емкостей отличаются в разы. Так стоимость конденсатора емкостью 17 мкФ при номинальном напряжении 0,4 кВ составляет 8520 руб., а емкостью 18,06 мкФ при номинальном напряжении 6,3 кВ – 121220,19 руб., что в 14,2 раза больше, чем стоимость конденсатора при напряжении 0,4 кВ. При этом для конденсатора с номинальным напряжением 0,4 кВ и емкостью 17 мкФ значение реактивной мощности составляет 2,5 кВАр, а для конденсатора с номинальным напряжением 6,3 кВ и емкостью 18,06 мкФ – 450 кВАр, что в 180 раз больше, чем реактивная мощность конденсатора в

Таблица 5. Параметры конденсаторных батарей и их стоимость.

Table 5. Parameters of capacitor banks and their cost.

Мощность реактивная, кВАр	Напряжение, кВ	Емкость, мкФ	Цена, руб.
2,5	0,4	3×17	8520,00
450	6,3	3×18,06	121220,19

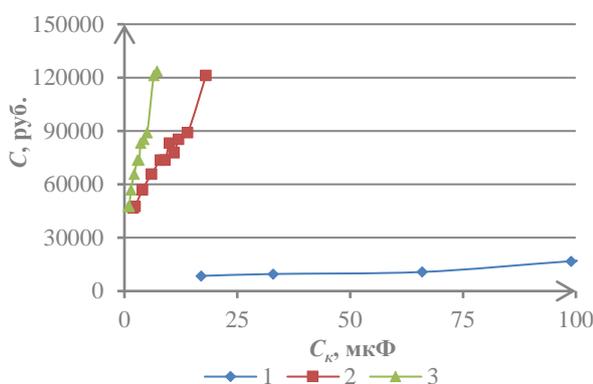


Рис. 3. Зависимость стоимости конденсаторной батареи C от емкости C_k при номинальных напряжениях: 1 – 0,4 кВ; 2 – 6,3 кВ; 3 – 10,5 кВ

Fig. 3. The dependence of the cost of the capacitor bank C on the capacity of the C_k at rated voltages: 1 – 0.4 kV; 2 – 6.3 kV; 3 – 10.5 kV

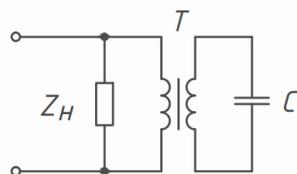


Рис. 4. Принципиальная схема включения статических конденсаторов с использованием повышающего трансформатора
Fig. 4. Schematic diagram of switching on static capacitors using a step-up transformer

первом случае (табл. 5).

Поэтому при выборе конденсаторов, если емкость конденсаторной батареи на низком напряжении значительная, для уменьшения установленной емкости статических конденсаторов и, возможно, стоимости целесообразно рассмотреть включение конденсаторов через повышающий трансформатор, так как необходимая для компенсации емкость уменьшается пропорционально квадрату коэффициента трансформации трансформатора. Принципиальная схема включения статических конденсаторов с использованием повышающего трансформатора приведена на рис. 4. Конденсатор подключают к вторичной обмотке повышающего трансформатора, первичную обмотку подключают на зажимы потребителя.

Для определения значений реактивной мощности конденсаторной батареи, при которых целесообразно вести расчет и сравнение двух методов компенсации (с повышающим трансформатором и без), рассчитана стоимость способов компенсации реактивной мощности при значениях реактивной

Таблица 6. Стоимость компенсации реактивной мощности.

Table 6. The cost of reactive power compensation.

Реактивная мощность, кВАр	без повышающего трансформатора			
	без повышающего трансформатора		с повышающим трансформатором	
	напряжение, кВ	стоимость, руб.	напряжение, кВ	стоимость, руб.
50	0,4	32400	10	142703
100		64800		151987
150		97200		160832
200		129600		168673
250		162000		178135
300		194400		180319
350		226800		184101
450		291600		216220
500		324000		218668

мощности от 50 кВАр (табл. 6).

Из анализа зависимостей (рис. 5) можно сделать вывод, что расчет и сравнение двух методов компенсации целесообразно проводить в случае, если требуемая реактивная мощность превышает значение 300 кВАр.

3. Выводы

По итогам проведенного анализа сделаны выводы:

а) существует зависимость между стоимостью конденсаторных батарей и реактивной мощностью, описываемая полиномиальным уравнением регрессии, следовательно, возможно предсказать стоимость для конденсаторных батарей, у которых она неизвестна, для чего необходимо воспользоваться выражением (7) с применением индекса-дефлятора.

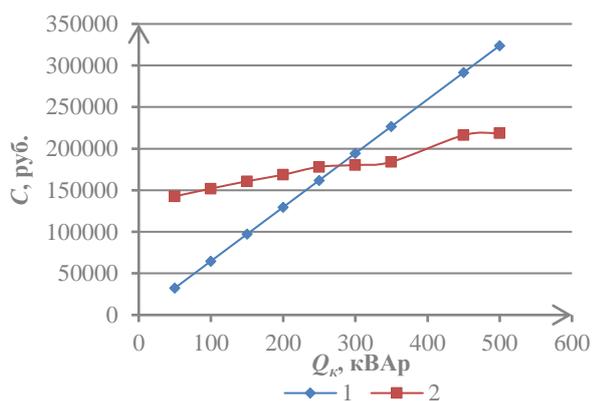


Рис. 5. Зависимости стоимости конденсаторной батареи C от реактивной мощности Q_k при номинальных напряжениях: 1 – 0,4 кВ (без повышающего трансформатора); 2 – 10,5 кВ (с повышающим трансформатором)

Fig. 5. The dependence of the cost of the capacitor bank C on the reactive power Q_k at rated voltages: 1 – 0.4 kV (without a step-up transformer); 2 – 10.5 kV (with a step-up transformer)

б) стоимость единицы емкости конденсаторных батарей увеличивается при увеличении значения напряжения;

в) в случае, если требуемая реактивная мощность превышает значение в 300 кВАр, целесообразно рассмотреть включение статических конденсаторов с использованием повышающего трансформатора. Однако окончательный вывод возможно сделать только после учета затрат на установку и техническое обслуживание повышающего трансформатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кузьмин Р.С., Меньшиков В.А., Скакунов Д.А., Дементьев В.В., Карташев Ю.А., Ящук К.П. Естественные средства компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения 6...10 кВ горно-металлургических предприятий // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 2. С. 44-46.
- Плотников С.М., Рубцов К.Д., Чинков П.О. Использование собственной емкости статора асинхронного двигателя для компенсации реактивной мощности // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2022. № 28. С. 50-53.
- Бабенко В.В., Крысанов В.Н. Блок коммутации конденсаторов, повышающий эффективность установок компенсации реактивной мощности // Интеллектуальная электротехника. 2021. № 4. С. 68-80.
- Benavides-Córdoba S.B., Ortiz-Castrillón J.R., Gutiérrez-Villa Y.A., Muñoz-Galeano, N., Cano-Quintero J.B., López-Lezama J.M. Assessment of energy quality impacts for reactive power compensation with capacitor banks and D-STATCO // Revista Vinculos: Ciencia Tecnología y Sociedad. 2019. Vol. 16, № 2. P. 232-241.
- Воронин В. А., Непша Ф. С. Выбор оптимальной конфигурации конденсаторных установок

для компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения выемочных участков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12. С. 94-108.

6. Нуритдинов М.Р., Вильданов Р.Г., Нуритдинова К.Р. Выбор установки компенсации реактивной мощности, основанный на максимизации получаемого уровня качества и оснащения при минимизации стоимости совокупного владения // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 2 (140). С. 93-99.

7. Olencki A., Belica D., Markiewicz J., Mróz P. Power network parameters standards with implements IEEE-1459 Power Definitions // Przegląd Elektrotechniczny. 2020. Vol. 96, № 3.

8. Николаев С.А., Рябишина Л.А. Исследование проблемы оптимальной компенсации реактивных нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 5. С. 18-25.

9. Михалкова Е.Г., Кенесов Е.К., Баймаханов О.Д. Определение эффективности расстановки компенсирующих устройств для оптимизации работы участка электрических сетей 6/0,4 кВ // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2022. № 1 (56). С. 18-28.

10. Счастный В.П., Жуковский А.И. Взаимовлияние режимов регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021 № 64(3). С. 239-249.

11. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. № 22(2). С. 65-74.

12. Семенова Н.Г., Чернова А.Д. Выбор конденсаторов и устройств компенсации неактивной мощности напряжением до 1000 В // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 84-92.

13. Губин П.Ю., Малахов А.А., Рындина К.В. Оптимальное размещение средств компенсации реактивной мощности с помощью метода дифференциальной эволюции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2021. Т. 21. № 2. С. 62-71.

14. Soma G.G. Optimal Sizing and Placement of Capacitor Banks in Distribution Networks Using a Genetic Algorithm // Electricity. 2021. Vol. 2. № 2. P. 187-204.

15. Влацкая Л.А., Семенова Н.Г. Применение генетических алгоритмов в задачах оптимизации размещения компенсирующих устройств // Электротехнические системы и комплексы. 2019. № 4(45). С. 21-28.

16. Abass A.Z., Pavlyuchenko D.A., Hussain Z.S. Methods comparison for optimal capacitor placement in distribution system // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2020, P. 1-6.

17. Swarnkar A., Gupta N., Niazi K.R. Optimal placement of fixed and switched shunt capacitors for

large-scale distribution systems using genetic algorithms // IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe. 2010. P. 621–631.

18. Применение методов обоснования мероприятий по энергосбережению в системах электропитания горнодобывающих предприятий / А.С. Семёнов, Ю.В. Бебихов, А.Н. Егоров и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2022. Т. 22, № 2. С. 5-17.

19. Манин А.В., Вайнер Д.Б. Система мониторинга параметров распределительной сети с кор-

ректирующим управлением на основе нейронной сети // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2022. № 4. С. 35-45.

20. Серебряков А.С., Осокин В.Л., Капусткин С.А. Энергосбережение на разных ступенях напряжения при компенсации реактивной мощности в распределительных сетях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. №2 (184). С. 148-157.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Леонова Юлия Юрьевна, ассистент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), LeonovaYuYu@kuzstu.ru.

Негадаев Владислав Александрович, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), кандидат технических наук.

Заявленный вклад авторов:

Леонова Юлия Юрьевна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Негадаев Владислав Александрович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-3-11

Yuliya Yu. Leonova, Vladislav A. Negadaev

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: NegadaevVA@kuzstu.ru

A RATIONAL APPROACH TO CHOOSING A REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICE



Article info

Received:

27 December 2024

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

05 May 2025

Published:

05 June 2025

Abstract.

The increase in the cost of energy resources makes it necessary to take into account measures to reduce non-production losses of electricity when building an electricity supply network. It is possible to reduce power losses by increasing the power factor. Despite a significant amount of research on the optimization of methods for selecting reactive power compensation devices, their placement and management, the installation costs of such devices are often determined approximately, without taking into account the nature of the dependencies between cost and their parameters. This article presents the results of research on the dependence of the cost of reactive power compensation devices on their parameters: reactive power, permissible current and capacitance. To clarify the nature of the relationship between the cost of capacitor banks and the value of reactive power, regression equations describing this relationship (in prices of 2023) are defined. The method of correlation analysis is used to find the regression equations. Based on the value of the Fisher criterion, a regression equation was cho-

Keywords: power supply networks, reactive power, compensation, static capacitors, permissible current, capacity, cost of reactive power compensation.

sen that best describes the relationship between the specified parameters of capacitor banks. The use of a deflator index to predict the cost of capacitor banks is proposed. To determine the values of the reactive power of a capacitor bank, at which it is advisable to turn on capacitors through a step-up transformer, the cost of reactive power compensation methods at reactive power values of 50 kVAr and above and a comparison of reactive power compensation methods using a step-up transformer and without its use was carried out. Based on the results of the study, conclusions were drawn: on the existence of a relationship between the cost of capacitor banks and reactive power, described by a polynomial regression equation; on the influence of voltage values on the cost of a unit of capacitance of capacitor banks. It is noted that if the required reactive power exceeds the value of 300 kVAr, it is advisable to consider switching on static capacitors using a step-up transformer.

For citation: Leonova Yu.Yu., Negadaev V.A. A rational approach to choosing a reactive power compensation device. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 2(178):3-11 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-3-11, EDN: ETMDKW

REFERENCES

1. Kuzmin R.S., Menshikov V.A., Skakunov D.A., Dementiev V.V., Kartashev Yu.A., Yaschuk K.P. (2009) Natural means of reactive power compensation in power supply systems of 6...10 kV mining and metallurgical enterprises. Mining equipment and electromechanics, 2:44.
2. Plotnikov S.M., Rubtsov K.D., Chinkov P.O. (2022) Using the intrinsic capacity of the asynchronous motor stator to compensate for reactive power. Journal of Advanced Research in Technical Science. 28:50.
3. Babenko V.V., Krysanov V.N. (2021) Capacitor switching unit that increases the efficiency of reactive power compensation units. Intelligent electrical engineering, 4:68.
4. Benavides-Córdoba S.B., Ortiz-Castrillón J.R., Gutiérrez-Villa Y.A., Muñoz-Galeano, N., Cano-Quintero J.B., López-Lezama J.M. (2019) Assessment of energy quality impacts for reactive power compensation with capacitor banks and D-STATCO. Revista Vínculos: Ciencia Tecnología y Sociedad, T. 16, 2: 232.
5. Voronin V.A., Nepsha F.S. (2022) Choosing the optimal configuration of condenser installations for reactive power compensation in power supply systems of excavation sites. Mining information and Analytical Bulletin, 12:94.
6. Nuritdinov M.R., Vildanov R.G., Nuritdinova K.R. (2023) The choice of a reactive power compensation installation based on maximizing the desired level of quality and equipment while minimizing the cost of total ownership. Science and Business: ways of development, 2(140):93.
7. Olencki A., Belica D., Markiewicz J., Mróz P. (2020) Power network parameters standards with implements IEEE-1459 Power Definitions. Przegląd Elektrotechniczny, T. 96, 3.
8. Nikolaev S.A., Ryabishina L.A. (2021) Investigation of the problem of optimal compensation of reactive loads of power supply systems of industrial enterprises. International Technical and Economic Journal, 5:18.
9. Mikhalkova E.G., Kenesov E.K., Baymakhanov O.D. (2022) Determination of the efficiency of the arrangement of compensating devices for optimizing the operation of a section of 6/0.4 kV electric networks. Bulletin of the Almaty University of Energy and Communications, 1(56):18.
10. Schastny V.P., Zhukovsky A.I. (2021) Mutual influence of voltage regulation modes and reactive power compensation in electric networks of industrial enterprises. Energy. Proceedings of higher educational institutions and energy associations of the CIS, 64(3): 239.
11. Gracheva E.I., Gorlov A.N., Shakurova Z.M. (2020) Analysis and assessment of energy savings in in-plant power supply systems. News of higher educational institutions. Energy problems, 22(2):65.
12. Semenova N.G., Chernova A.D. (2020) The choice of capacitors and devices for compensation of inactive power with voltage up to 1000 V. Bulletin of IzhSTU named after M. T. Kalashnikov, T. 23, 3:84.
13. Gubin P.Yu., Malakhov A.A., Ryndina K.V. (2021) Optimal placement of reactive power compensation means using the differential evolution method. Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy, T. 21, 2:62.
14. Soma G.G. (2021) Optimal Sizing and Placement of Capacitor Banks in Distribution Networks Using a Genetic Algorithm. Electricity. T. 2, 2:187.
15. Vlatskaya L.A., Semenova N.G. (2019) Application of genetic algorithms in optimization problems of placement of compensating devices. Electrotechnical systems and complexes, 4(45):21.
16. Abass A.Z., Pavlyuchenko D.A., Hussain Z.S. (2020) Methods comparison for optimal capacitor placement in distribution system. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), P. 1-6.
17. Swarnkar A., Gupta N., Niazi K.R. (2010) Optimal placement of fixed and switched shunt capacitors for large-scale distribution systems using genetic algorithms. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe. P. 621-631.

18. Semenov A.S. (2022) Application of methods for substantiating energy saving measures in power supply systems of mining enterprises / A.S. Semenov, Yu.V. Bebikhov, A.N. Egorov, etc. Bulletin of SUSU. The series "Energetics", T. 22, 2:5.

19. Manin A.V., Weiner D.B. (2022) A system for monitoring the parameters of a distribution network

with corrective control based on a neural network. Bulletin of the Ivanovo State Energy University, 4: 35.

20. Serebryakov A.S., Osokin V.L., Kapustkin S.A. (2020) Energy saving at different voltage levels with reactive power compensation in distribution networks. Bulletin of the Altai State Agrarian University, 2 (184): 148.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Yuliya Yu. Leonova, Assistant, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya str., 28), LeonovaYuYu@kuzstu.ru .

Vladislav A. Negadaev, . Sc. (Engineering), Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya str., 28), Candidate of Technical Sciences.

Contribution of the authors:

Leonova Yulia Yurievna – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

Negadaev Vladislav Alexandrovich – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

The claimed contribution of the authors:

Authors have read and approved the final manuscript.

