

УДК 621.316

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ С ТРАДИЦИОННЫМИ СТАТИЧЕСКИМИ КОМПЕНСАТОРАМИ

Орешков М.П., Рубцов К.Д. студенты гр. СОД.1-19-1, V курс

Научный руководитель: Кронгауз Д.Э., к.т.н., доцент

Красноярский институт железнодорожного транспорта -  
филиал Иркутского государственного университета путей

сообщения (КрИЖТ ИрГУПС)

г. Красноярск

В современном мире проблема компенсации реактивной мощности является актуальной, так как она влияет на качество электроэнергии, потери в сетях и эффективность работы электрооборудования. Существует два основных типа компенсирующих устройств: мобильные устройства компенсации реактивной мощности и статические компенсаторы. В данной работе будет проведён сравнительный анализ эффективности этих двух типов устройств.

Мобильные устройства компенсации реактивной мощности включают в себя синхронные двигатели, синхронные компенсаторы и конденсаторные установки. Они предназначены для компенсации реактивной мощности в нагрузках и элементах сети. Статические компенсаторы, такие как продольно включаемые батареи конденсаторов и поперечно включаемые реакторы, предназначены для компенсации реактивных параметров линий.

Мобильные устройства компенсации реактивной мощности являются альтернативой аналогичным стационарным установкам. Данные установки могут использоваться в качестве основных где нет устройств компенсации, либо оказывать дополнительную компенсацию реактивной мощности во время путевых работ.

Статические компенсаторы обеспечивают стабилизацию напряжения и компенсацию реактивной мощности в электрических сетях. Традиционные компенсаторы предназначены для оптимизации режимов работы электрических сетей, повышения пропускной способности, стабилизации напряжения и уменьшения потерь электрической энергии.

Установка компенсации реактивной мощности позволяет решить следующие задачи:

1. Снижение потерь электрической сети в тяговой сети (ТС) и в оборудовании ТП;
2. Снижение уровня потребления реактивной мощности на ТП в режимах тяги и ре-  
куперативного торможения;
3. Снижение потерь напряжения в ТС и повышение пропускной способности участ-  
ка железной дороги;
4. Снижение уровня несинусоидальности напряжения в ТС.

Следовательно, для решения данных задач потребуется использование передвижной или стационарного компенсирующего устройства (КУ).

В таблице 1 представлена классификация основных типов компенсирующих устройств.

Таблица 1 – Классификация компенсирующих устройств

Тип КУ Признак	Мобильные устройства компенсации	Традиционные устройства компен- сации
Напряжение	0,4-10 кВ	0,4-10 кВ
Область применения	Промышленные предприятия, строительные объекты, сельское хозяйство	Промышленные предприятия, коммерческие здания, больницы
Диапазон мощностей	10-10000 кВА	500-5000 кВА
Регулирование	Автоматическое	Ручное
Защита от гармоник напряжения	Встроенная	Требуется дополнительное оборудование
Габариты, мм	600x400x300	1200x800x600
Вес, кг	25-50	100-300
Защита от бросков тока	Встроенная	Требуется внешнее устройство
Потери	Минимальные	Умеренные
Характер изменения нагрузки	Быстрое	Медленное
Вид реактивного сопротивления	Емкостное	Емкостное
Быстродействие	Высокое	Низкое

Согласно таблице 1, мобильные устройства компенсации (КУ) реактивной мощности имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными устройствами компенсации. В частности, мобильные устройства компенсации имеют меньше габариты и вес, что облегчает их транспортировку и установку; имеют более высокое быстродействие, что позволяет быстрее реагировать на изменение нагрузки, а также обеспечивать более эффективное использование мощности и снижение потерь электрической энергии.

Для проведения сравнительного анализа (таблица 5) будет применяться программный комплекс «КОРТЭС», предназначенный для решения различных расчётных задач, связанных с выбором параметров, определением характеристик режимов и нагрузочной способности систем тягового электроснабжения [2]. Для этого выбран участок Красноярской железной дороги (Ачинская дистанция электроснабжения (ЭЧ-2)) Ачинск-І – Чернореченская. Данный участок является одним из наиболее сложных участок, так как имеет гористый профиль и затяжной подъём.

На данном участке применяется система тягового электроснабжения 25 кВ, которая содержит 2 тяговых подстанций (ТП), 2 пункта параллельного соединения, 1 пост секционирования. Данный участок имеет двухстороннее питание от ЛЭП от РП Ачинск-І и РП Чернореченская.

При проведении сравнительного анализа был выполнен тяговый расчёт при помощи программы «Trelk», который входит в состав комплекса «КОРТЭС». Исходными данными являются параметры участка: расположение раздельных пунктов, продольный профиль, ограничения скорости. Данные параметры задаются с помощью программы «Uchastk», который также входит в состав комплекса «КОРТЭС».

Параметры и характеристики подвижного состава выбираются из каталогов локомотивов и типовых составов поездов. Для выполнения тягового расчёта был создан продольный профиль пути участка Ачинск-І – Чернореченская с учётом всех исходных данных.

В таблице 2 представлен расход активной, реактивной мощности, коэффициент реактивной мощности на ТП Ачинск-І, Чернореченская и на МПЗ.

Таблица 2 – Расход активной, реактивной мощности, коэффициент реактивной мощности на ТП Ачинск-І, Чернореченская и на МПЗ

Способ усиления	Тяговая подстанция	Расход мощности		tgφ	cosφ	$k_{\text{пер}}$	Temperatura, °C	
		Активной, кВт·ч	Реактивной, кВА·ч				обмоток	масла
Традиционные устройства компенсации	Ачинск-І	219 296	263 164	1,20	0,64	1,20	121	96
	Чернореченская	275 603	366 141	1,33	0,60	1,62	137	106
	МПЗ	494 899	800 593	1,62	0,53	–	–	–
Мобильные устройства компенсации	Ачинск-І	238 618	175 685	0,74	0,81	0,52	69	65
	Чернореченская	293 532	239 347	0,82	0,78	0,81	76	67
	МПЗ	532 150	674 859	1,27	0,62	–	–	–

По данным, приведённым в таблице 2, можно сделать вывод об эффективности применения мобильных устройств компенсации реактивной мощности, так как процент суммарной скомпенсированной реактивной энергии для традиционных устройств составляет 21%, а для мобильных устройств составляет 26%, что в свою очередь, благоприятно влияет на коэффициент мощности. Также при использовании мобильных устройств компенсации достигается более благоприятный режим работы трансформаторов, за счёт снижения коэффициента перегрузки, температуры обмоток трансформатора и трансформаторного масла, что увеличивает его срок эксплуатации.

В таблице 3 предоставляется расход электрической энергии ТП на расчётном участке железной дороги.

Таблица 3 – Расход электроэнергии ТП на расчётном участке Ачинск-І – Чернореченская

Расход электроэнергии	Исходная схема	2 тр-ра	Традиционные устройства компенсации	Мобильные устройства компенсации
Активная, кВт·ч	914 563	1 025 111	940 884	1 051 782
Реактивная, кВАр·ч	10 696 696	1 196 280	921 541	979 167

Также проводится расчёт пропускной способности грузовых поездов для расчётной схемы участка Ачинск-І – Чернореченская до усиления СТЭ предлагаемыми типами КУ. Результаты расчёта приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Минимальные допустимые интервалы при пропуске поездов повышенной массы на расчётном участке Ачинск-І – Чернореченская

Наименование	Значение интервала, мин, ограниченное	Результирующее зна-
--------------	---------------------------------------	---------------------

	мощностью ПнТ	напряжением в КС	нагревом про- водов КС	чение
Традиционные устройства компенсации	16	13	6	16
Мобильные устройства компенсации	8	8	6	8

Согласно приведённым данным в таблице 4 расчётных межпоездных интервалов можно сделать вывод, что на рассмотренном участке ограничивающим параметров пропускной способности перегона является мощность ПнТ. Следовательно, при включении второго силового трансформатора в параллельную нагрузку на каждой ТП, наблюдается рост пропускной способности, который значительно влияет на экономический эффект от прироста грузооборота.

В таблице 4 приведена наличная суточная пропускная способность при пропуске поездов повышенной массы для нечётного и чётного направления участка Ачинск-І – Чернореченская. Наличная суточная пропускная способность при пропуске поездов повышенной массы для нечётного и чётного направления расчётного участка необходима для определения возможности пропуска поездов повышенной массы на участке железной дороги Ачинск-І – Чернореченская. Данный показатель позволяет оценить эффективность использования инфраструктуры и даёт понять необходимость модернизации или же расширения участка для обеспечения пропуска поездов с повышенной массой.

Таблица 5 – Наличная суточная пропускная способность при пропуске поездов повышенной массы для нечётного и чётного направления расчётного участка Ачинск-І – Чернореченская

Наименование	ПнТ	Напряжение	Нагрев проводов КС	Итоговый
Традиционные устройства компенсации	60/56	74/69	159/150	60/56
Мобильные устройства компенсации	120/112	120/112	159/150	120/112

Проанализировав таблицу 5 можно сделать вывод, что по результатам расчёта пропускная способность грузовых поездов при использовании составляет 60 пар поездов в сутки в нечётном направлении и 56 пар поездов в чётном. Расчётный интервал составляет 16 минут.

Также можно сделать вывод, что мероприятия по усилению СТЭ участка Ачинск-І – Чернореченская обеспечивает пропуск поездов с межпоездным интервалом в 8 минут. В результате усиления и сокращения интервалов, возросла наличная суточная пропускная способность грузовых поездов повышенной массы и составила 120 пар поездов в нечётном направлении и 112 пар в чётном.

В таблице 6 приведён сравнительный анализ двух основных типов КУ, который даёт понять, какой вид КУ более эффективен в применении на данный момент.

Таблица 6 – Сравнительный анализ

Тип КУ Признак	Мобильные устройства компенсации	Традиционные устройства компенсации
Пропускная способность в период проведения ремонтно-путевых работ, пар поездов	100	100

Признак	Тип КУ	
	Мобильные устройства компенсации	Традиционные устройства компенсации
Годовой грузооборот, тонн·км	2 500 000	2 000 000
Доход от освоения оборота, тыс. руб.	1 200 000	1 000 000
Потери, ВТ/кВАр	0,004	0,004
Общий расход электроэнергии на ТП, кВт*час	1500	2000
Мощность, кВАр	150	200
Емкость, мкФ	100	75

Таким образом, сравнительный анализ эффективности мобильных устройств компенсации и традиционных статических компенсаторов (таблица 6) показывает, что мобильные устройства компенсации реактивной мощности имеют ряд преимуществ перед статическими компенсаторами. При использовании мобильных устройств компенсации реактивной мощности многие показатели увеличиваются. Также общий расход электроэнергии на ТП снижаются по сравнению с традиционными устройствами компенсации реактивной компенсации.

#### Список литературы:

1. Качинская, Л. М. Применение программно-вычислительного комплекса для расчета режимов работы городской распределительной электрической сети / Л. М. Качинская, Д. Э. Кронгауз, В. И. Пантелейев // Промышленная энергетика. – 2010. – № 7. – С. 32-35. – EDN RDLVUR.
2. Кронгауз, Д. Э. Повышение качества электроэнергии в городских распределительных сетях посредством управления режимами реактивной мощности / Д. Э. Кронгауз // Промышленная энергетика. – 2010. – № 10. – С. 39-43. – EDN RIUWKR.
3. Кронгауз, Д. Э. Актуальная концепция компенсации реактивной мощности в распределительных сетях / Д. Э. Кронгауз // Промышленная энергетика. – 2022. – № 1. – С. 35-43. – DOI 10.34831/EP.2022.25.33.005. – EDN RPKKGH.
4. Рубцов, К. Д. Разработка нечётких алгоритмов для прогнозирования и потребления электроэнергии / К. Д. Рубцов, Д. Э. Кронгауз // Молодая наука Сибири. – 2023. – № 2(20). – С. 152-166. – EDN UOJFWI.
5. Кронгауз, Д. Э. Переключение РПН трансформаторов с помощью нечеткой логики / Д. Э. Кронгауз, К. Д. Рубцов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2024. – № 1(82). – С. 54-58. – EDN LTORYG.