

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.81>**ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЗАМКНУТЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 КВ**

Научная статья

Платонова Е.В.^{1,*}, Коловский А.В.², Глушкин Е.Я.³^{1, 2, 3} Сибирский федеральный университет, Абакан, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (eplatonova[at]yandex.ru)

Аннотация

Работа направлена на решение актуальной задачи обеспечения качества напряжения потребителей замкнутого участка сети напряжением 35 кВ. В послеаварийных и ремонтных режимах (при отключении одного из источников питания сети) происходит изменение перетоков мощности в линиях, в результате чего отклонение напряжения у потребителей может достигать 30-50% от номинального значения.

Объектом исследования является замкнутый участок сети напряжением 35 кВ филиала ПАО «Россети Сибирь» - «Хакасэнерго». Разработана модель участка сети с использованием программного комплекса RastrWin, выполнен анализ характерных ремонтных и послеаварийных режимов.

По результатам моделирования предложены мероприятия по повышению пропускной способности линий электропередачи и проведен анализ эффективности этих мероприятий.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, отклонение напряжения, оптимизация режима, районные сети, градиентный метод.

INCREASING THE CAPACITIES OF 35 KV CLOSED LOOP POWER GRIDS

Research article

Platonova Y.V.^{1,*}, Kolovskii A.V.², Glushkin Y.Y.³^{1, 2, 3} Siberian Federal University, Abakan, Russian Federation

* Corresponding author (eplatonova[at]yandex.ru)

Abstract

The work is aimed at solving the relevant problem of ensuring the voltage quality of consumers of the closed section of the 35 kV network. In post-emergency and repair modes (when one of the network power sources is switched off) there are changes in power flows in the lines, as a result of which the voltage deviation of consumers can reach 30-50% of the nominal value.

The object of the study is a closed section of the 35 kV grid of Khakasenergo, a branch of Rosseti Sibir PJSC. A simulation of the grid section was developed with RastrWin software package, and analysis of typical repair and post-emergency modes was made.

Based on the results of the simulation, measures are proposed to improve the capacity of power lines and an analysis of the effectiveness of these measures is carried out.

Keywords: reactive power compensation, voltage deviation, mode optimization, district networks, gradient method.

Введение

Для районных электрических сетей напряжением 35 кВ является актуальной задача обеспечения допустимых отклонений напряжения и повышения пропускной способности ЛЭП в «ремонтных режимах».

Районные сети напряжением 35 кВ по типу исполнения чаще всего являются кольцевыми или представляют магистраль с несколькими источниками питания и с ответвлениями в узлах. Недостатком данного типа исполнения сети является тот факт, что при развитии сети и подключении новых потребителей может возникнуть ситуация, когда пропускной способности ЛЭП становится недостаточно для обеспечения необходимого уровня напряжения у потребителей при отключении одного из головных участков сети в результате аварии или его ремонта. Данное ограничение в развитии сети негативно влияет на социально-экономическое развитие района. Таким образом, для районных сетей задача повышения пропускной способности кольцевых участков в ремонтных и послеаварийных режимах является одной из наиболее важных для обеспечения качества электроэнергии у потребителей. В данном случае под ремонтным режимом понимается режим, в котором в силу некоторых причин отключен один из головных участков, а питание всего участка обеспечивается только от одного источника.

Методы и принципы исследования

В работе выполнено исследование параметры послеаварийных и ремонтных режимов работы участка сети 35 кВ филиала ПАО «Россети Сибирь» - «Хакасэнерго» (рисунок 1). Замкнутый участок сети питается с одной стороны от шин 35 кВ тяговой подстанции 220/35/27 «Югачи» (1ПС), с другой стороны - от шин 35 кВ тяговой подстанции 220/35/27 «Аскиз» (2ПС).

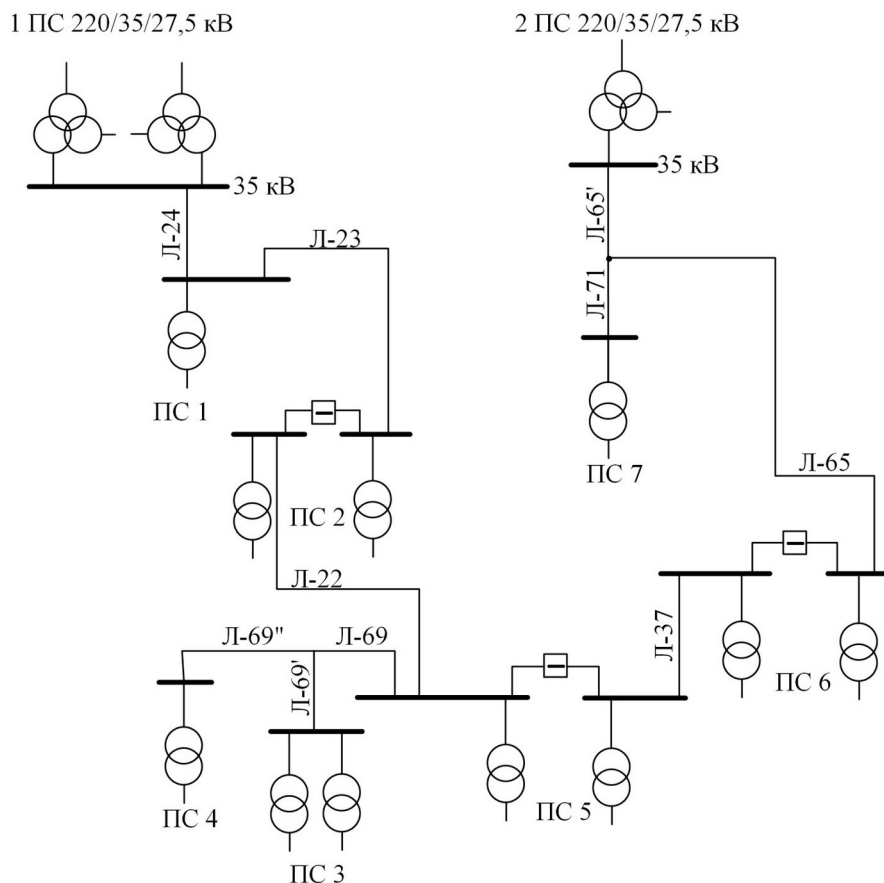


Рисунок 1 - Структурная схема участка сети
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.81.1>

Для проведения исследований параметров режимов и оценки эффективности предложенных мероприятий была разработана модель рассматриваемого участка сети в программном комплексе RastWin [1]. Оценка достоверности работы модели была проведена путем сравнения результатов моделирования нормальных режимов с данными контрольных инструментальных замеров, выполненных на подстанциях, входящих в состав структурной схемы участка сети. Сравнение показало высокую достоверность разработанной модели.

В качестве одного из характерных ремонтных режимов было рассмотрено отключение линии Л-65'.

По результатам анализа были предложены меры, позволяющие обеспечить отклонение напряжения на шинах подключения потребителей (шины 10 кВ подстанций) В соответствии с требованиями ГОСТ на качество электроэнергии [2].

Основные результаты

Моделирование ремонтного режима с отключением линии Л-65' показало, что снижения напряжения на шинах 10 кВ подстанций могут доходить до 50%. В этом случае диапазона регулирования РПН и ПБВ для обеспечения требуемого уровня напряжения становится недостаточно. Отключение части потребителей электроэнергии с целью повышения напряжения недопустимо.

Одним из очевидных решений задачи повышения пропускной способности ЛЭП является замена проводов линий на провода большего сечения, что снижает сопротивление ЛЭП, а, следовательно, и потери мощности и напряжения сети. В таблице 1 представлены результаты отклонения напряжений на шинах 10 кВ подстанций при отключении Л-65'. Сравнивались потери напряжения в линиях с существующим сечением проводов и при увеличении сечения на одну ступень. Моделирование показало, что увеличение сечения не позволит добиться требуемого уровня напряжения при отключении линии.

Таблица 1 - Отклонения напряжения при отключении Л-65' по результатам моделирования

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.81.2>

Вариант модели	ПС1		ПС2		ПС3		ПС4		ПС5		ПС6		ПС7
	T1	T1	T2	T1	T2	T1	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1
Исходная	10,4	8,95	8,92	7,98	7,74	0,28	8	7,85	6,77	6,75	5		

схема											
Увеличение сечения	10,15	9,42	9,36	9,14	8,96	0,32	9,13	9,05	7,96	7,94	7

Более актуальным решением задачи может являться установка на шинах 10 кВ подстанций компенсирующих устройств (КУ), что позволит разгрузить линии от передачи реактивной мощности и тем самым повысить пропускную способность для передачи активной мощности [3], [4], [5], [6].

Для учета квадратичной зависимости между мощностью компенсирующей установки и напряжением на ее шинах в программном комплексе RastrWin, КУ смоделированы в виде шунтирующих проводимостей.

При рассмотрении возможности компенсации реактивной мощности встает задача оптимального расположения компенсирующих устройств [7], [8], [9]. Одним из наиболее простых и эффективных методов решения подобной оптимизационной задачи является градиентный метод.

Для минимизации могут быть использованы следующие целевые функции.

Минимум суммарных потерь напряжения

$$F_1(Q) = \Delta U_{\Sigma} = \sum \Delta U_{Li} + \Delta U_{T7} \quad (1)$$

Минимум отклонения напряжений

$$F_2(Q) = \max(|V_i|) \quad (2)$$

Минимум капитальных вложений

$$F_3(Q) = Z = c_k \sum Q_{ki} + c_{доп} n \quad (3)$$

где c_k – удельная стоимость компенсирующих установок, (руб./кВАр);

Q_{ki} – мощность устанавливаемого компенсирующего устройства;

$c_{доп}$ – стоимость одного выключателя, строительно-монтажных работ и дополнительного оборудования, (руб.);

n – количество компенсирующих установок.

Функция (2) стремится к минимуму при отсутствии КУ, а, следовательно, задача по повышению пропускной способности и получению необходимых уровней напряжения не будет выполнена. Для рационального решения задачи, необходимо вести следующие ограничения.

- Отклонение напряжения от номинального на шинах 10 кВ подстанций должно быть менее 10%.

- Мощность компенсирующих устройств должна быть больше или равна нулю. Данное ограничение необходимо в первую очередь для критериев минимума отклонений напряжения и минимума суммарных потерь напряжения. При использовании данных критериев в некоторых точках энергосистемы могут получиться напряжения выше номинальных. Без учета данного ограничения в результате могут быть получены КУ, потребляющие реактивную мощность, что не целесообразно с экономической точки зрения.

- Ток в линиях должен быть меньше или равен длительно допустимому току по условиям нагрева.

Нами были использованы полученные в работе [10] зависимости величины приведенных затрат на применение КУ от их мощности.

В качестве начальных условий мощности компенсирующих устройств заданы равными нулю. Методом градиентного спуска с учетом приведенных выше ограничений получены мощности и места установки компенсирующих устройств. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Расчетные мощности компенсирующих устройств

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.81.3>

Критерий	$Q_{ку1}$, кВАр	$Q_{ку2}$, кВАр	$Q_{ку3}$, кВАр	$Q_{ку4}$, кВАр	$Q_{ку5}$, кВАр	$Q_{ку6}$, кВАр
Минимум суммарных потерь напряжения	512	1089	1941	2536	3101	4595
Минимум отклонений напряжения	403	971	1513	2754	2045	3579
Минимум капиталовложений	0	0	0	1892	3147	5610

Наиболее оптимальные значения мощностей КУ и места их установки получены по критерию минимума капитальных вложений. Получены необходимые уровни напряжений на всех подстанциях.

По результатам моделирования были построены диаграммы отклонений напряжений для случая отключения линии Л-65' после установки компенсирующих устройств необходимой мощности (рисунок 2).

Как видно из рисунка 2, напряжения на шинах 10 кВ всех подстанций находятся в допустимых пределах. Но такой эффект был достигнут только при использовании КУ в совокупности с регулировкой РПН.

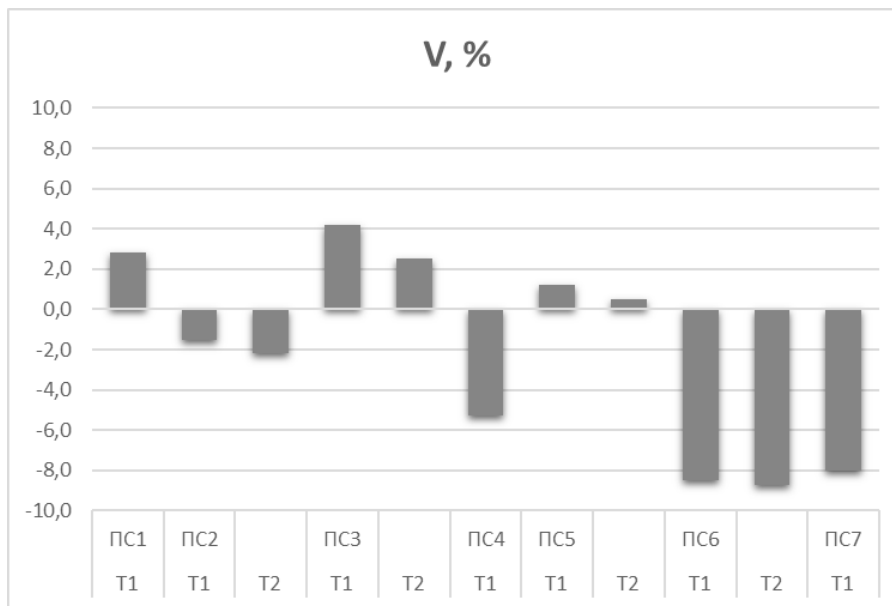


Рисунок 2 - Отклонения напряжений на шинах НН при совместном использовании КУ и РПН
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.81.4>

Заключение

В программном комплексе RastrWin разработана модель участка замкнутой сети напряжением 35 кВ. Представлены результаты моделирования одного из ремонтных режимов данного участка сети.

Проведена оценка ремонтного режима в действующей сети в сравнении с вариантом увеличения сечения проводов и вариантом установки КУ.

Сравнение результатов моделирования показало, что увеличение сечения проводов не позволит обеспечить требуемое качество напряжения.

Оптимизация мощностей и мест установки КУ, была выполнена градиентным методом. Установка КУ позволит обеспечить отклонение напряжения на шинах 10 кВ подстанций в диапазоне 10%.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Программный комплекс RastrWin. – URL: <http://www.rastrwin.ru/> (дата обращения: 06.07.2022)
2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 25.03.2013. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 20 с.
3. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю.С. Железко. – М. : Энергоатомиздат. – 1985. – 224 с.
4. Василенко Н.Е. Оптимизация электрической сети по реактивной мощности / Н.Е. Василенко, В.В. Плотников // Потенциал современной науки. – 2016. - №4. - С. 23-31.
5. Тарабин И.В. Компенсация реактивной мощности как метод повышения качества электрической энергии и сокращения потерь на примере данных «МРСК СИБИРИ» / И.В. Тарабин, Р.Б. Скоков, И.А. Терехин // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 2-22. - С. 4876-4879.
6. Беляевский Р.В. Вопросы компенсации реактивной мощности / Р.В. Беляевский. – Кемерово : КузГТУ. – 2011 – 132 с.
7. Готман В.И. Критерии оценки экономической эффективности компенсации реактивной мощности в электроснабжении / В.И. Готман // Электричество. – 2009. – № 12. – С. 13-18.

8. Карагодин В.В. Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях / В.В. Карагодин, Д.В. Рыбаков // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2015. – №17. – С. 43-50.
9. Костин В.Н. Оптимизационные задачи электроэнергетики / В. Н. Костин. – СПб. : Северо-Западный заочный технический университет, 2003. – 121 с.
10. Ефременко В.М. Стоимостные показатели комплектных конденсаторных установок / В.М. Ефременко, Р.В. Беляевский // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – №1. – С. 104-107.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Programmnyj kompleks RastrWin [Software complex RastrWin]. – URL: <http://www.rastrwin.ru/> (accessed: 06.07.2022) [in Russian]
2. GOST 32144-2013. Normy kachestva jelektricheskoy jenerгии v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija [Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems]. – Introduction. 25.03.2013. – Moscow : Standartinform, 2013. – 20 p. [in Russian]
3. Zhelezko Ju.S. Kompensacija reaktivnoj moshhnosti i povыshenie kachestva jelektrojenerгии [Reactive power compensation and improving the quality of electricity] / Ju.S. Zhelezko. – M. : Jenergoatomizdat. – 1985. – 224 p. [in Russian]
4. Vasilenko N.E. Optimizacija jelektricheskoy seti po reaktivnoj moshhnosti [Optimization of the electrical network by reactive power] / N.E. Vasilenko, V.V. Plotnikov // Potencial sovremennoj nauki [Potential of modern science]. – 2016. - №4. - P. 23-31. [in Russian]
5. Tarabin I.V. Kompensacija reaktivnoj moshhnosti kak metod povыshenija kachestva jelektricheskoy jenerгии i sokrashhenija poter' na primere dannyh "MRSK SIBIRI" [Reactive power compensation as a method of improving the quality of electrical energy and reducing losses on the example of IDGC of SIBERIA data] / I.V. Tarabin, R.B. Skokov, I.A. Terehin // Fundamental'nye issledovanija [Fundamental research]. - 2015. - № 2-22. - P. 4876-4879. [in Russian]
6. Beljaevskij R.V. Voprosy kompensacii reaktivnoj moshhnosti [Issues of reactive power compensation] / R.V. Beljaevskij. – Kemerovo : KuzSTU. – 2011 – 132 p. [in Russian]
7. Gotman V.I. Kriterii ocenki jekonomicheskoy jeffektivnosti kompensacii reaktivnoj moshhnosti v jelektrosnabzhenii [Criteria for evaluating the economic efficiency of reactive power compensation in power supply] / V.I. Gotman // Jelektrichestvo [Electricity]. – 2009. – № 12. – P. 13-18. [in Russian]
8. Karagodin V.V. Optimizacija razmeshhenija ustrojstv kompensacii reaktivnoj moshhnosti v raspredelitel'nyh jelektricheskikh setjah [Optimization of placement of reactive power compensation devices in distribution electrical networks] / V.V. Karagodin, D.V. Rybakov // Voprosy jelektromehaniki. Trudy VNIIEМ [Problems of Electromechanics. Proceedings of VNIIEМ]. – 2015. – №17. – P. 43-50. [in Russian]
9. Kostin V.N. Optimizacionnye zadachi jelektrojenergetiki [Optimization problems of the electric power industry] / V. N. Kostin. – SPb. : Northwestern Correspondence Technical University, 2003. – 121 p. [in Russian]
10. Efremenko V.M. Stoimostnye pokazateli komplektnyh kondensatornyh ustanovok [Cost indicators of complete capacitor units] / V.M. Efremenko, R.V. Beljaevskij // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. – 2010. – №1. – P. 104-107. [in Russian]