

УДК 620.9

**Казакул Алексей Александрович**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

*E-mail:* [0311343@mail.ru](mailto:0311343@mail.ru)**Стрельцов Роман Игоревич**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

*E-mail:* [romstreltsov@yandex.ru](mailto:romstreltsov@yandex.ru)**Kazakul Alexey Alexandrovich**

Amur State University

Blagoveshensk, Russia

*E-mail:* [0311343@mail.ru](mailto:0311343@mail.ru)**Streltsov Roman Igorevich**

Amur State University

Blagoveshensk, Russia

*E-mail:* [romstreltsov@yandex.ru](mailto:romstreltsov@yandex.ru)**ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ  
АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 КВ****ESTIMATION OF THE SENSITIVITY OF THE ACTIVE POWER  
LOSS FUNCTION IN NETWORKS WITH A VOLTAGE OF 35 KV**

*Аннотация. В статье рассмотрено влияние изменения напряжения в центрах питания на изменение потерь мощности в сетях напряжением 35 кВ Приморской и Амурской энергосистем.*

*Abstract. The article considers the effect of voltage changes in power centers on the change in power losses in 35 kV networks of the Primorsky and Amur power systems.*

*Ключевые слова: потери мощности, подстанция, линия, нагрузка.*

*Key words: power losses, substation, line, load.*

**DOI: 10.22250/20730268\_2023\_101\_105**

Потери электрической энергии в энергосистеме – один из основных показателей оценки ее эффективности. Для снижения потерь электрической энергии существуют различные затратные и незатратные методы. На основании Постановления Правительства РФ от 13 августа 2018 г. N 937 [3] сетевые организации должны формировать у себя контрольные пункты по напряжению, поэтому влияние напряжения на потери активной мощности и энергии, как самый незатратный способ, является весьма актуальным.

В данной статье рассматривается влияние изменения напряжения в центрах питания на потери активной мощности в сетях напряжением 35 кВ, принадлежащих АО «ДРСК».

Цель статьи – оценка чувствительности функции потерь активной мощности на разных участках напряжением 35 кВ к напряжениям в центрах питания.

Для реализации поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) выбор участков сети 35 кВ в энергосистемах Дальнего Востока для проведения анализа.
- 2) моделирование участков сети для расчетов установившихся режимов в программе RastrWin;
- 3) расчет серий установившихся режимов;
- 4) анализ влияния напряжений центров питания на потери активной мощности на различных участках.

На основании подхода по оценке чувствительности системы, предложенного в [1, 2] и заключающегося в определении отношения приращения целевой функции к приращению параметра, предлагается использовать для сравнительной оценки чувствительности потерь активной мощности отношение разности потерь мощности к приращению напряжения в узле, являющимся центром питания участка сети:

$$K_{\Delta P} = \left| \frac{\Delta P_i^{исх} - \Delta P_i^{\Phi}}{U^{исх} - U^{\Phi}} \right|, \quad (1)$$

где  $\Delta P_i^{исх}$  – потери мощности в исходном режиме на  $i$ -м участке (при исходном напряжении);  $\Delta P_i^{\Phi}$  – потери мощности после изменения напряжения в регулирующем узле (в центре питания);  $U_{Ген}^{исх}$  – напряжение в исходном режиме в регулирующем узле;  $U_{Ген}^{\Phi}$  – фактическое напряжение после регулирования в регулирующем узле.

Для оценки чувствительности рассмотрены 12 участков напряжением 35 кВ: пять из энергосистемы Приморского края и 7 – из Амурской энергосистемы. Для анализа данные участки смоделированы в программе RasrtWin. Регулирование напряжения выполнялось путем изменения коэффициентов трансформации на питающих ПС за счет переключения отпаек устройств регулирования напряжения (РПН трансформаторов).

Выбор выполнялся случайным образом. Основным условием выбора участка сети было наличие центра питания 110 кВ или 220 кВ с устройством регулирования напряжения под нагрузкой – РПН.

Характеристика выбранных участков следующая.

1. Участок от ПС 110 кВ А до ПС 35 кВ «Соллерс» (энергосистема Приморского края). Источник питания ПС 110/35/6 «А». Количество отходящих линий 35 кВ – 2. Число питающихся ПС 35 кВ – 4. Длина участка – 8,56 км. Нагрузка – 18,3 МВт.

2. Участок от ПС 110 кВ Западная до ПС 35кВ «Соловей-ключ» (энергосистема Приморского края). Источник питания ПС 110/35/6 «Западная». Количество отходящих линий – 4. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 2. Длина участка – 18,05 км. Нагрузка – 11,3 МВт.

3. Участок от ПС 110 кВ «Западная» до ПС 35 кВ «Угловая» (энергосистема Приморского края). Источник питания ПС 110/35/6 «Западная». Количество отходящих линий – 4. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 2. Длина участка – 6,54 км. Нагрузка – 21,8 МВт.

4. Участок от ПС 110 кВ «Давыдовка» до ПС 35 кВ «Надеждинская» (Т – 2) (энергосистема Приморского края). Источник питания ПС 110/35/6 «Давыдовка». Количество отходящих линий – 3. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 2. Длина участка – 30,4 км. Нагрузка – 14,8 МВт.

5. Участок от ПС 110 кВ «Тайфун» до ПС 35 кВ «Милоградово» (энергосистема Приморского края). Источник питания ПС 110/35/6 «Тайфун». Количество отходящих линий – 2. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 5. Длина участка – 129,014 км. Нагрузка – 4,4 МВт.

6. Участок от ПС 220 кВ «Сковородино» до ПС 35 кВ «Игнали» (энергосистема Амурской области). Источник питания ПС 220/110/35/10 «Сковородино». Количество отходящих линий 35 кВ – 4. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 6. Длина участка – 62,53. Нагрузка – 13,7 МВт

7. Участок от ПС 110 кВ «Узловая» до ПС 35 кВ «Верхняя Полтавка» (энергосистема Амурской области). Источник питания ПС 110/35/10 «Узловая». Количество отходящих линий 35 кВ – 4. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 4. Длина участка – 51,3 км. Нагрузка – 2,5 МВт.

8. Участок от ПС 110 кВ «Узловая» до ПС 35 кВ «Луговая» (энергосистема Амурской области). Источник питания ПС 110/35/10 «Узловая». Количество отходящих линий – 4. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 3. Длина участка – 47,51 км. Нагрузка – 3,6 МВт.

В качестве примера на рис. 1 представлена однолинейная схема участка Узловая – Луговая.

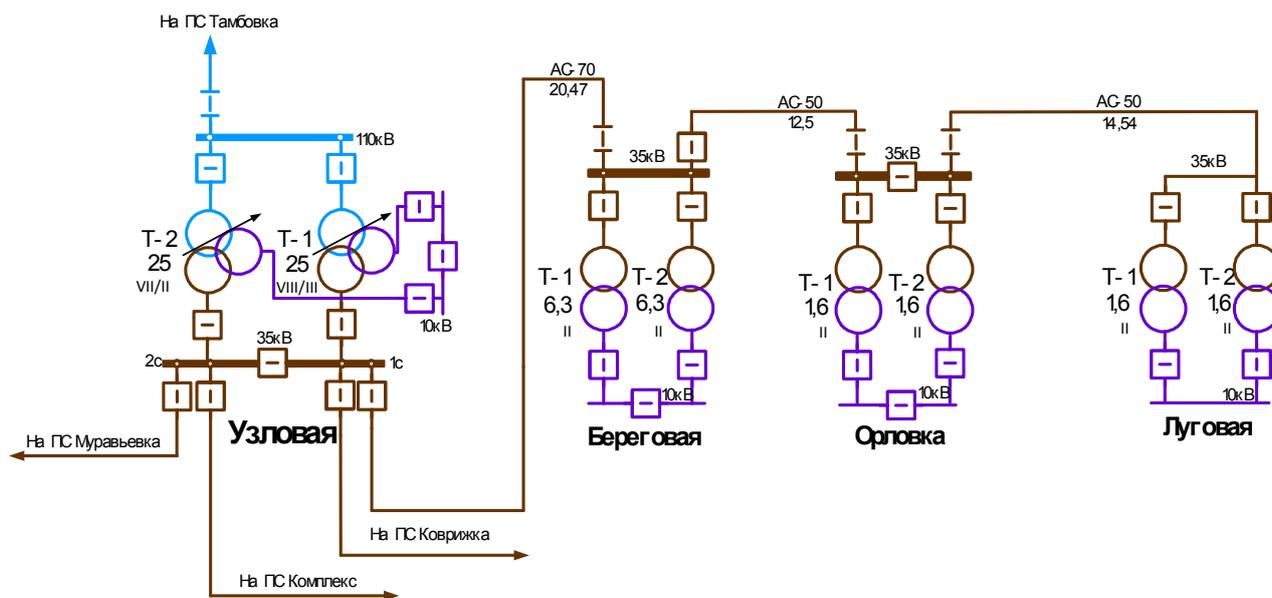


Рис. 1. Однолинейная схема участка Узловая – Луговая.

9. Участок от ПС 110 кВ «Западная» до ПС 35 кВ «Амур» (Т – 1) (энергосистема Амурской области). Источник питания ПС 110/35/10 «Западная». Количество отходящих линий – 2. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 2. Длина участка – 6,28 км. Нагрузка – 11 МВт.

10. Участок от ПС 110 кВ «Среднебелая» до ПС 35 кВ «Князевка» (энергосистема Амурской области). Источник питания ПС 110/35/10 «Западная». Количество отходящих линий – 4. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 4. Длина участка – 85,9 км. Нагрузка – 4,2 МВт.

11. Участок от ПС 220 кВ «Белогорск» до ПС 35 кВ «Киселеозерка» (энергосистема Амурской области). Источник питания ПС 220/110/35/10 «Белогорск». Количество отходящих линий 35 кВ – 10. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 4. Длина участка – 48,1 км. Нагрузка – 15,3 МВт.

12. Участок от ПС 220 кВ «Белогорск» до ПС 35 кВ «Коммунальная» (энергосистема Амурской области). Источник питания ПС 220/110/35/10 «Белогорск». Количество отходящих линий 35 кВ – 10. Число питающихся ПС 35 кВ на данном участке – 2. Длина участка – 11,03 км. Нагрузка – 21,9 МВт.

Для определения искомого усредненного коэффициента выполнено 224 расчета режимов, по результатам которых определены коэффициенты чувствительности потерь мощности от изменения напряжений по формуле (1). Далее для каждого из участков сети определен средний коэффициент чувствительности. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Как показало исследование, самыми чувствительными участками в части изменения потерь активной мощности при регулировании напряжения в центрах питания оказались Давыдовка – Надеждинская из Приморской энергосистемы и Сковородино – Игнали из Амурской энергосистемы. То есть регулирование напряжения на этих участках оказывает наиболее эффективное воздействие на потери активной мощности в сети.

#### Результаты расчета коэффициента чувствительности к потерям

Участок сети	Количество ПС 35 кВ, шт	Нагрузка, МВт	Длина, км	Средний коэффициент чувствительности
А – Соллерс	5	18,3	8,56	0,005
Западная – Соловей-ключ	3	11,3	18,05	0,0124
Западная – Угловая	3	21,8	6,54	0,0182
Давыдовка – Надеждинская	3	14,8	30,4	0,346
Тайфун – Милоградово	6	4,4	129,014	0,052
Сковородино – Игнали	7	13,7	62,53	0,111
Узловая – Верхняя Полтавка	5	2,5	51,3	0,005
Узловая – Луговая	4	3,6	47,51	0,059
Западная – Амур	3	11	6,28	0,023
Среднебелая – Князевка	5	4,2	85,9	0,013
Белогорск – Киселеозерка	5	15,3	48,1	0,034
Белогорск – Коммунальная	3	21,9	11,03	0,0431

1. Дончев, А. Системы оптимального управления: возмущения, приближения и анализ чувствительности / пер с англ. – М.: Мир, 1987 – 156 с.

2. Савина, Н.В. Методика кластерного зонирования электроэнергетических систем по коэффициенту чувствительности напряжений в узлах / Н.В. Савина, А.А. Казакул, С.В. Тагиров – С. 10.

3. Постановление Правительства РФ от 13 августа 2018 г. N 937 «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями).