

УДК 621.311

**КООРДИНАЦИЯ УРОВНЕЙ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КЫРГЫЗСТАНА**

Гусев Юрий Павлович – к.т.н., проф., заведующий каф. «Электрические станции», НИУ «МЭИ», Россия, г. Москва, тел: +74953627872, e-mail: GusevYP@mpei.ru.

Насыр уулу Канат – асп. каф. «Электрические станции», НИУ «МЭИ», Россия, г. Москва, тел: +79258707741, e-mail: 8707741@mail.ru.

Рахимов Джамшед Бобомуродович – асп. каф. «Электрические станции», НИУ «МЭИ», Россия, г. Москва, тел: +79295857684, e-mail: jam-rahimov@mail.ru.

Алиев Калыбек Бейшенбекович – Начальник отдела капитального строительства ТЭЦ г. Бишкек, ОАО «Электрические станции», тел: 0553147404, e-mail: kalybek.aliev@mail.ru.

Аннотация: В данной работе приведен анализ последствий изменения мощности электрических станций и структуры сетей Энергосистемы Кыргызстана. Оценены уровни существующих и перспективных токов коротких замыканий на программном комплексе NEPLAN. Оценена эффективность применения стационарного деления электрических сетей.

Ключевые слова: уровень токов короткого замыкания, расчетная математическая модель, статическое деление сети, отключающая способность выключателя.

**LEVELS COORDINATION OF SHORT CIRCUIT CURRENTS IN ELECTRIC-
POWER SYSTEM OF KYRGYZSTAN**

Gusev Yury Pavlovich - Ph.D in Engineering science, professor, head the subdepartment of «Electrical Power Stations», National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (NRU «MPEI»), Moscow, Russia.

Nasyr uulu Kanat - graduate student of «Electric Power Stations» subdepartment, NRU «MPEI», Moscow, Russia.

Rahimov Jamshed Bobomurodovich - graduate student of «Electric Power Stations» subdepartment, NRU «MPEI», Moscow, Russia.

Aliev Kalybek Beishenbekovich - Unit manager of department capital building in Thermal power plant of Bishkek s., «Electric Power Stations» company of Kyrgyzstan.

Abstract: The effects of changes in the capacity of electric power stations and structure of lines in electric power system of Kyrgyzstan have analyzed in this paper. Evaluating the levels of existing and prospective short-circuit current in the software NEPLAN complex. Rating the efficiency of the use of stationary power grid division.

Keywords: levels of short circuit currents, simulation model, stationary network separation, breaking capacity of a breaker.

В электрических сетях, развивающихся электроэнергетических систем (ЭЭС) уровень токов короткого замыкания (КЗ) $I_{к, max}$ непрерывно растет, что обуславливает необходимость предъявления более жестких требований к параметрам электрооборудования. Возникает проблема согласования или координации параметров электрических аппаратов, проводников, силовых трансформаторов (автотрансформаторов) с существующими и перспективными уровнями токов КЗ.

Уровень токов КЗ – одна из важных технико-экономических характеристик ЭЭС, определяет требования к коммутационному оборудованию. Уровень токов КЗ в сложносвязанной сети зависит от параметров элементов этой сети, мощности генераторов P_G , МВт и трансформаторов (автотрансформаторов) S_T , МВА, плотности электрической сети σ_c , км/км²:

$$I_{к.макс} = f(P_G, S_T, \sigma_c) \quad (1),$$

Изменение этих параметров влияет на значения токов КЗ.

В ЭЭС Кыргызстана (КР) энергопотребление в зимний период достигло своего максимума и наблюдается острый дефицит мощности. Особенностью ЭЭС КР является обособленность генерирующих источников и потребителей электроэнергии. Электрические сети исчерпали свою пропускную способность. Для увеличения потенциала вырабатываемых и передающих мощностей, повышения надежности электроснабжения и развития экономики реализуются следующие национальные проекты согласно «Среднесрочной стратегии развития ЭЭС КР на 2012-2017 годы»:

- Модернизация существующих и строительство новых подстанций (ПС) и воздушных линий (ВЛ) 110-500 кВ: ПС-110кВ «Ак-Ордо», ПС-500 кВ «Датка», «Кемин»; ВЛ-500 кВ «Датка-Кемин», «Кемин-Алматы», «CASA-1000»; ВЛ-220 кВ «Датка-Узловая», «Узловая-Алай», «Датка-Кристалл», «Датка-Курпсайская ГЭС», «Кемин-Быстровка», «Кемин-Чуйская» и др.;

- Ввод в эксплуатацию новых источников генерации: второго гидроагрегата Камбаратинской ГЭС-2 (120 МВт), Верхне-Нарынского каскада ГЭС (240 МВт), Кара-Кечинской ТЭС (600 МВт) и др.;

- Реконструкция существующих источников генерации: ТЭЦ г. Бишкек (ввод двух генераторов по 150 МВт) [2].



Рис. 1. Перспективная схема развития ЭЭС КР на 2012-2020 годы.

Реализация перечисленных проектов приведет к изменению мощности электрических станций (ЭС) и структуры сетей, к росту токов КЗ. Параметры установленного на ЭС и ПС электрооборудования могут не соответствовать возрастающим токам КЗ. Номинальные токи отключения установленных выключателей могут оказаться ниже расчетных токов КЗ, т.е. выключатели окажутся с недостаточной отключающей способностью. Это приведет к снижению аппаратной надежности, внеплановым ремонтам и аварийным отказам (разрушениям) аппаратов.

В связи с вышеизложенным, возникает необходимость в исследовании данной проблемы, связанной с ростом уровней токов КЗ в ЭЭС КР, и решении следующих задач:

- Оценка уровней токов КЗ в ЭЭС КР в настоящее время и на перспективу;
- Исследование последствий изменения мощности электрических станций и структуры сетей ЭЭС КР;
- Оценка эффективности применения статического деления электрических сетей для ограничения уровней токов КЗ.

В качестве инструмента для решения вышеперечисленных задач создана расчетная модель электрических сетей на основе программного комплекса (ПК) NEPLAN (BCP, Швейцария). Это один из современных расчетных инструментов сетевого планирования, моделирования и анализа. ПК NEPLAN используют более чем в 600 электросетевых компаниях в 110 странах мира. ПК NEPLAN около 10 лет активно используется на кафедре «Электрические станции» НИУ «МЭИ» в учебном процессе и при выполнении научно-исследовательских работ.

В ПК NEPLAN есть возможность варьирования методов расчета потокораспределений в электрических сетях: расширенный метод Ньютона-Рафсона, итерации по току, падение напряжения и установившийся режим по постоянному току. Возможность сопоставления результатов расчетов токов КЗ, выполненных разными методами, рекомендуемыми стандартами IEC 60909 [4], ANSI 37.10/37.13 [5] и методом наложения.

Расчетная модель ЭЭС КР разработана для сетей 110-500 кВ и состоит из 452 узлов 110 кВ, 54 узлов 220 кВ, 13 узлов 500 кВ. Количество узлов в модели превышает количество распределительных устройств (РУ) рассматриваемых классов напряжения. Это связано с тем, что ввод узлов в модели фиксируется для каждой секции (системы) шин отдельно, например, для схем: с двумя системами шин с обходной или без, с одной секционированной системой шин с обходной или без (рис.2).

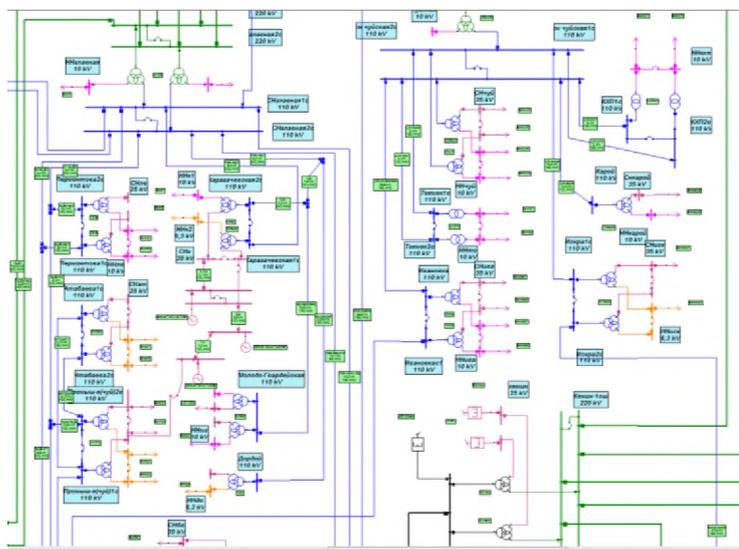


Рис. 2. Фрагмент расчетной модели ЭЭС КР в ПК NEPLAN.

Эксплуатирующей организацией ОАО «НЭСК» и ОАО «Электрические Станции» были предоставлены данные параметров электрооборудования существующей и перспективной схемы ЭЭС от 17.09.2015 года; действующие уровни токов трехфазных и однофазных КЗ; реальные нагрузки потребителей от 25.01.2013 года.

При анализе исходных данных от ОАО «НЭСК» выявлены ПС, где в качестве способа ограничения токов КЗ применяется стационарное деление сети с разукрупнением коммутационных узлов на электрически несвязанные части. В связи с чем появляется необходимость в оценке эффективности применения деления сети в перспективной схеме ЭЭС КР.

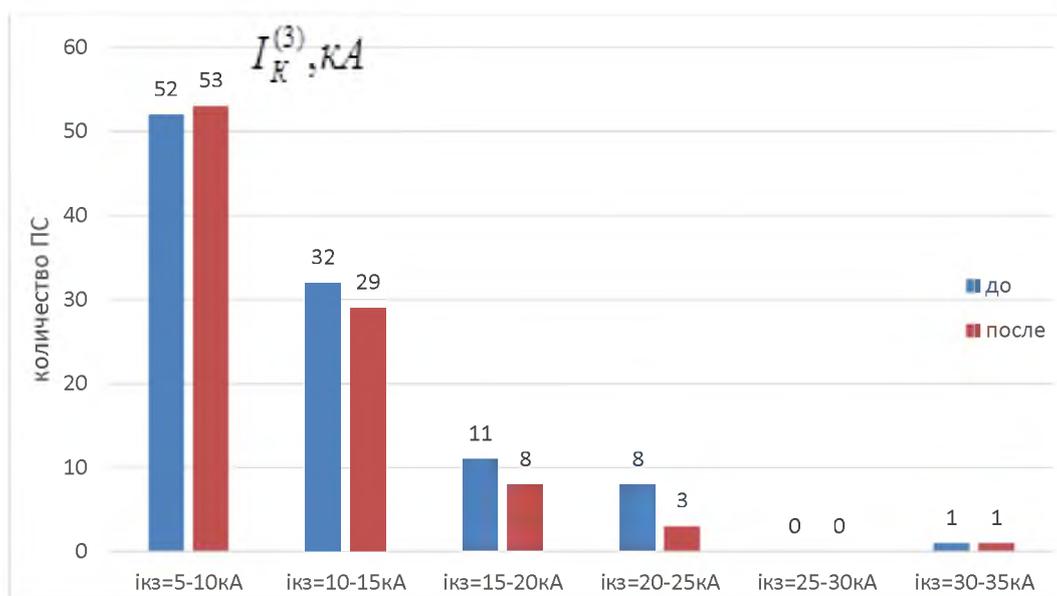
Расчет токов трехфазных $I_K^{(3)}$ и однофазных $I_K^{(1)}$ КЗ математической модели на ПК NEPLAN выполнен для режимов сети со стационарным делением сети и без деления. В табл. 1 приведены максимальные значения токов для сетей различного напряжения. Значения токов КЗ, полученные в результате расчета на математической модели сопоставлены с данными от ОАО «НЭСК». Расчетные токи КЗ по ЭЭС КР отличаются от данных сетевой компании не более чем на 10%.

Таблица 1. Максимальные действующие значения токов КЗ на шинах ПС и ЭС ЭЭС КР.

Напряжение сети, кВ	Расчетные токи КЗ (без/с учетом деления сети)		Токи КЗ от ОАО «НЭСК» (с учетом деления сети)	
	$I_K^{(3)}$, кА	$I_K^{(1)}$, кА	$I_K^{(3)}$, кА	$I_K^{(1)}$, кА
110	33,5/31,1	32,7/30,7	30,4	29,1
220	25,419/25,4	27,2/27,2	23,7	28,5
500	13,86/13,86	11,93/11,92	14,01	12,50

Максимальное значение тока КЗ по ЭЭС КР составляет 33,5 кА на РУ-110 кВ ТЭЦ г. Бишкек, а при стационарном делении сети снижается до 31,1 кА. Существующие на ТЭЦ г. Бишкек масляные выключатели, установленные в 70-х годах прошлого века, на 17-и присоединениях с номинальным током отключения 20 кА будут работать за пределами отключающей способности по паспортным данным.

На восьми ПС 110 кВ действующие значения токов КЗ превышают 20 кА, а при применении стационарного деления – на трех ПС 110 кВ (рис. 3). После изучения данных ОАО «НЭСК» на двух из восьми ПС 110 кВ выявлены масляные выключатели, имеющие недостаточную отключающую способность 20 кА при максимальном токе трехфазного КЗ 21,2 кА и 20,6 кА.



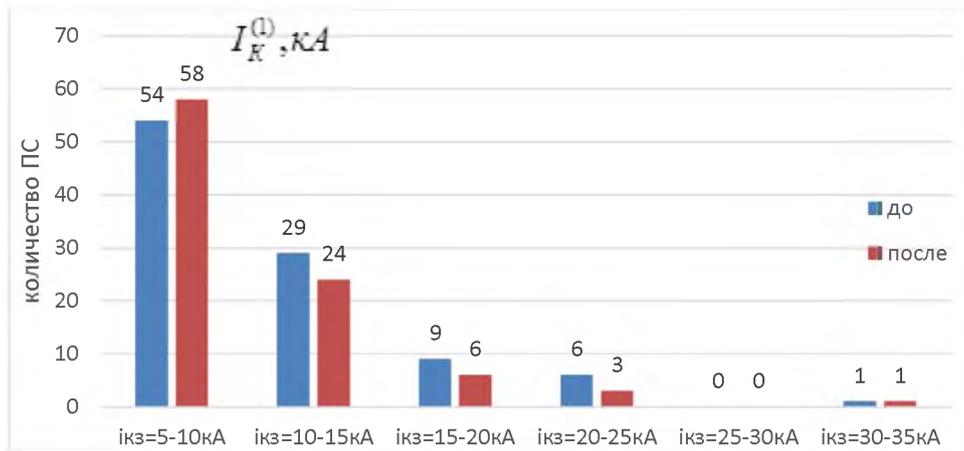


Рис. 3. Распределение токов КЗ на ПС 110 кВ при одно и трехфазных КЗ до статического деления и после статического деления сети.

Стационарное деление сети – наиболее подходящий метод ограничения токов КЗ вследствие его дешевизны и простоты реализации. Стационарное деление сети осуществляется в нормальном режиме с помощью секционных, шинсоединительных или линейных выключателей. Однако деление сети существенно влияет на режимные параметры сети, устойчивость и надежность работы ЭЭС, ведет к нарушению естественного потокораспределения активной мощности и росту потерь в сетях. На рис. 4 приведены интегральные кривые распределения токов КЗ по узлам до и после применения стационарного деления сети 110 кВ перспективной схемы ЭЭС КР.

Как видно из рис. 3 и 4, применение стационарного деления сети 110 кВ в 20% коммутационных узлов снижает токи КЗ на уровни ниже номинальных токов отключения существующих выключателей. Потери активной мощности в сети 110 кВ с осуществлением стационарного деления составили 186,92 МВт, без деления сети – 179,87 МВт. Увеличение потерь активной мощности составило менее 5%. Это свидетельствует о том, что ущерб от потерь активной мощности при делении сети минимален сравнительно мероприятий по обновлению выключателей с требуемой отключающей способностью. Следовательно, статическое деление сети объективно оказывается эффективным и малозатратным методом ограничения токов КЗ в ЭЭС КР.

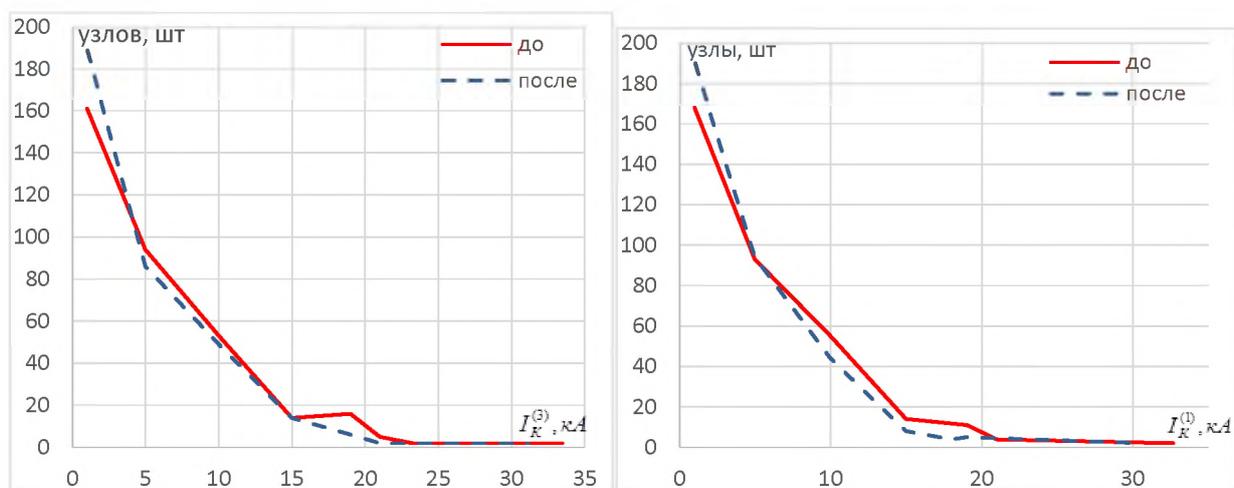


Рис. 4. Интегральные кривые распределения токов трехфазного $I_K^{(3)}$, кА и однофазного $I_K^{(1)}$, кА КЗ с учетом развития ЭЭС: до и после деления сети 110 кВ.

Максимальное отклонение напряжения от номинального значения, рассчитанное с помощью математической модели ПК NEPLAN, после осуществления стационарного деления сети, составило $\pm 7\%$, т. е. находится в допустимых пределах. Выполнены расчеты токов трех- и однофазных КЗ в модели ПК NEPLAN и оценены уровни токов КЗ действующей и перспективных схем ЭЭС Кыргызстана.

Выводы:

1. Координация уровней токов КЗ в ЭЭС является одним из важных способов повышения надежности работы ЭЭС и должна учитываться при планировании развития электрических сетей.
2. Проблема токов КЗ в сети 110 кВ ЭЭС КР является актуальной. Большой вклад в рост токов КЗ вносит увеличение установленной мощности генераторов ТЭЦ г. Бишкек.
3. Выявлены ПС 110 кВ с недостаточной отключающей способностью установленных там выключателей. Эксплуатирующей организации рекомендуется предпринять мероприятия по устранению этой проблемы: заменить устаревшие масляные выключатели РУ 110кВ.

Список литературы

1. Координация и оптимизация уровней токов к.з. в электрических системах. Неклепаев Б.Н., М., Энергия, 1978.
2. Постановление №330 Правительства КР о «Среднесрочной стратегии развития электроэнергетики Кыргызской Республики на 2012-2017 годы». 28.05.2012.
3. Опыт использования расчетных моделей в распределительных сетях. Гусев О.Ю., Гусев Ю.П., Трофимов В.А., журнал «Энергетик», 2015, №1.
4. IEC 60909-0. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Calculation of currents. 2001. – 148 p.
5. IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis. ANSI/IEEE C37.010-1999. – 81 p.
6. Антонов А.А., Гусев Ю.П., Трофимов В.А. НИУ «МЭИ», Современные технологии расчета коротких замыканий и планирования развития распределительных электрических сетей
7. Рахимов Дж.Б., Гусев Ю.П. Рост уровней токов короткого замыкания - сдерживающий фактор развития экономики // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы IV – й российской молодежной научной школы – конференции. В.2 т. Т.2/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд – во ООО «ЦРУ», 2016. Стр. 80 – 84.