



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ОЦЕНКА НА НЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ТЭС «ПРЕГОЛЬСКАЯ»

А.С. Рыбкина, магистрантка,
nastya-rybkina@yandex.ru

В.Ф. Белей, д-р техн. наук, профессор,
vbeley@klgtu.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Впервые разработана в программном комплексе NEPLAN математическая модель энергосистемы Калининградской области в автономном режиме работы. Дан анализ технико-экономических показателей двух вариантов главных схем ТЭС «Прегольская». Разработана схема подключения ТЭС «Прегольская» к энергосистеме Калининградской области. Произведен расчет короткого замыкания на математической модели. Выбрано и проверено оборудование на термическую и электродинамическую стойкость.

тепловая станция, энергосистема, мощность, напряжение, математическая модель, короткое замыкание, технико-экономическое сравнение

В настоящий момент в Европе функционируют шесть синхронных энергообъединений (ЭО). Особый интерес для энергосистемы Калининградской области (КО) представляет IPS/UPS, NORDEL, UCTE (рис. 1). В настоящее время энергосистема КО работает совместно с энергосистемами стран Балтии (Литвы, Латвии, Эстонии) в составе ЭО IPS/UPS. Энергосистема стран Балтии в ближайшие годы отключится от ЭО IPS/UPS и перейдет на работу с ЭО UCTE и NORDEL, при этом энергосистема КО будет работать в автономном режиме (рис. 1) [1, 2].

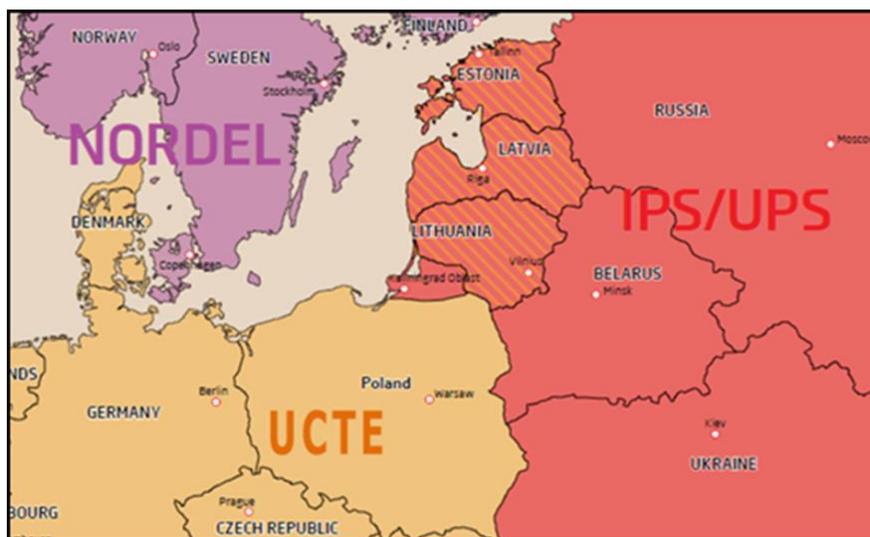


Рисунок 1 – Карта энергообъединений Европы

Для обеспечения функционирования энергосистемы Калининградской области в изолированном (автономном) режиме утвержден план мероприятий. Одним из них, со сроком реализации до 2018 г., является возведение четырех тепловых электростанций (ТЭС) (табл. 1) и перевода КТЭЦ-2 в режим работы полублоков [2, 3].

Таблица 1 – Новые электростанции в энергосистеме Калининградской области

Название, место	Мощность, МВт	Топливо	Тип электростанции	КПД, %
Приморская ТЭС, Светловский округ	160–190	Уголь	ПСУ	35,6
Прегольская ТЭС, Калининград	440	Газ	Четырехблочная с ПГУ	51,2
Талаховская ТЭС, Гусев	160	Газ	Двухблочная с ГТУ	35,5
Маяковская ТЭС, Советск	160	Газ	Двухблочная с ГТУ	35,5

Месторасположения площадок новых ТЭС приведены на рис. 2.

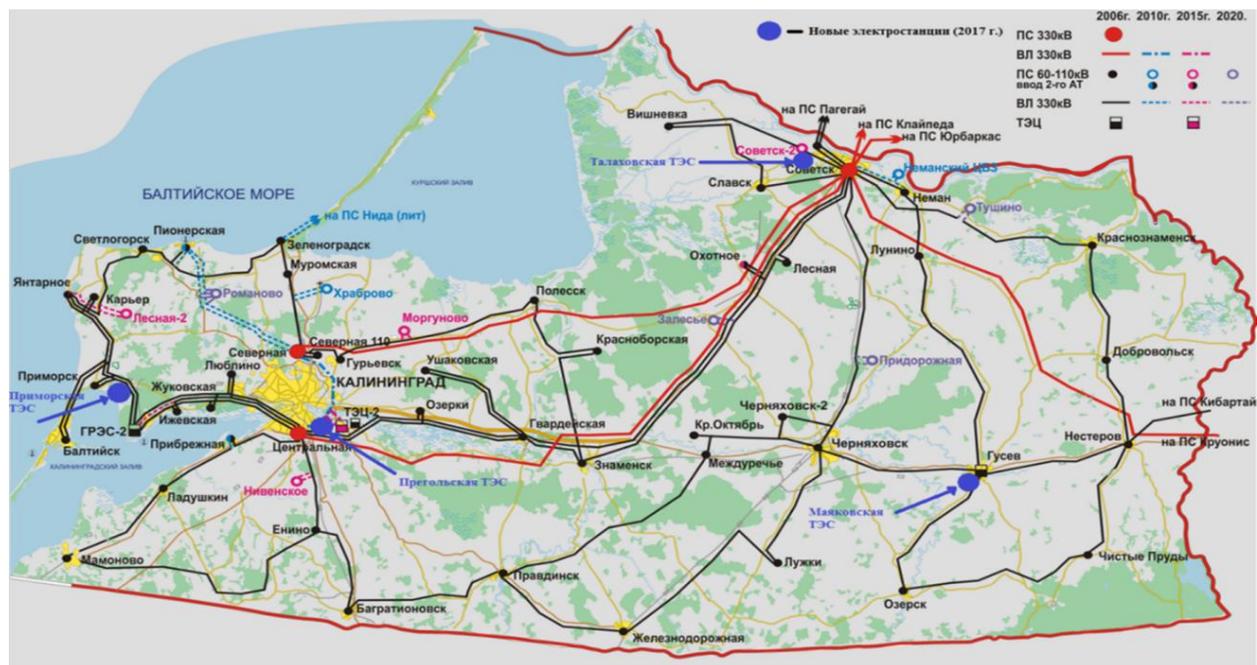


Рисунок 2 – Электроэнергетическая карта Калининградской области с месторасположением ТЭС

В настоящей работе рассмотрены вопросы, связанные с проектированием и выдачей мощности ТЭС «Прегольская» в энергосистему КО при заложенных проектными организациями исходными данными по энергоустановкам для этой ТЭС.

Исходные данные:

Энергоблок ПГУ (рис. 3), представляющий собой силовую двухвальную установку, в состав которой входит:

– газотурбинная установка ГТУ 6F.03, работающая в блоке с турбогенератором ТФ-90Г-2УЗ;

– двухконтурный котел-утилизатор;

– паровая турбина типа К-38-8,0, работающая в блоке с генератором ТФП-40-2МУЗ.

Один генератор типа ТФ-90Г-2УЗ мощностью 90 МВт работает от газовой турбины, второй генератор типа ТФП-40-2МУЗ мощностью 40 МВт – от паровой турбины.

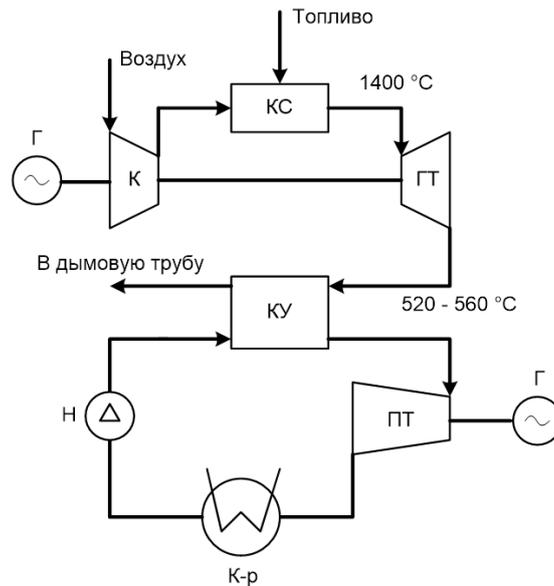


Рисунок 3 – Парогазовая установка ТЭС «Прегольская»
 Г – синхронный генератор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина;
 КУ – котел утилизатор, ПТ – паровая турбина

С учетом опыта проектирования таких ТЭС [4] были выбраны и проанализированы два варианта схемы выдачи мощности ТЭС «Прегольская»: три вторых и двойная с обходной (рис. 4а, 4б). Техничко-экономическое сравнение этих вариантов показало, что по критериям надежности первый вариант главной схемы лучше второго. Данное сравнение было проведено с использованием формул (1) – (4).

Капитальные затраты

$$K_3 = C_{\text{яч.выкл}} \cdot n, \quad (1)$$

где $C_{\text{яч.выкл}}$ – стоимость одной ячейки выключателя, тыс. руб.;
 n – количество ячеек выключателей.

Приведенные к году расчетные затраты

$$З = E_n \cdot K_3 + И, \quad (2)$$

где E_n – эффективность капитальных вложений за год,
 $И$ – годовые эксплуатационные издержки, тыс. руб.

Годовые эксплуатационные издержки:

$$И = И_a + И_э, \quad (3)$$

где $И_a$ – амортизационные отчисления;
 $И_э$ – затраты на возмещение потерь электроэнергии, тыс. руб.
 Ущерб системе

$$У = U_{o.e} \cdot \Delta W_r, \quad (4)$$

где $U_{o.e}$ – удельный ущерб, руб./кВт·ч;
 ΔW_r – среднегодовой недоотпуск энергии, кВт·ч/год.

В табл. 2 приведены результаты технико-экономического сравнения данных схем.
 Таблица 2 – Результаты технико-экономического сравнения главных схем ТЭС «Прегольская»

Показатели	Варианты схем	
	Первый вариант	Второй вариант
Капитальные затраты, тыс. руб.	206800	169200
Годовые эксплуатационные издержки, тыс. руб.	28940,435	25556,435
Привиденные к году расчетные затраты, тыс. руб.	54790,435	46706,435
Ущерб от недоотпуска электроэнергии, тыс. руб./год	71,271	295,456

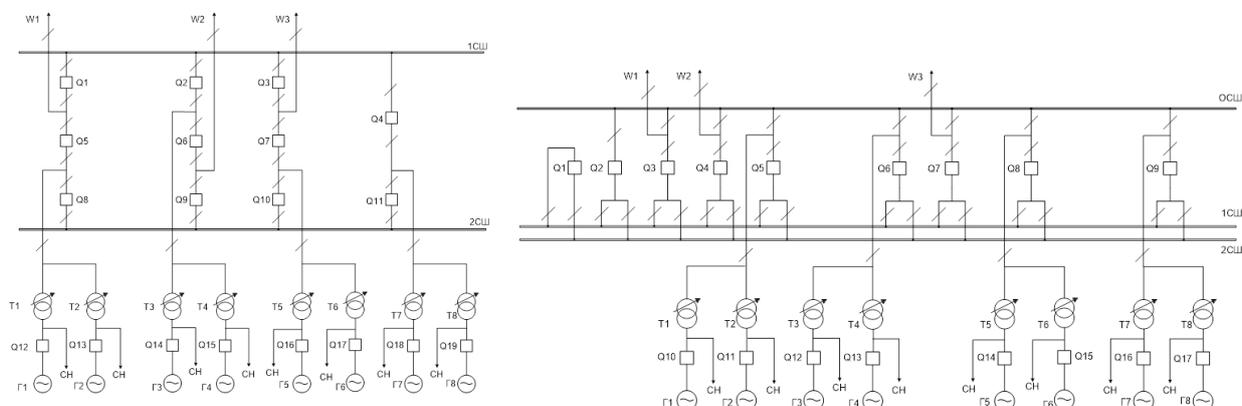


Рисунок 4. а) первый вариант главной схемы ТЭС «Прегольская»;
б) второй вариант главной схемы ТЭС Прегольская

С учетом критерия (n-2) ТЭС «Прегольская» будет осуществлять выдачу мощности в сеть 330 кВ по линиям электропередачи [4]:

- ВЛ 330 кВ ТЭС «Прегольская» – «ПС Северная 330»;
- ВЛ 330 кВ ТЭС «Прегольская» – «ПС Центральная (О-1)»;
- ВЛ 330 кВ ТЭС «Прегольская» – «ПС Советск-330».

Две ВЛ от ТЭС «Прегольской» будут подсоединены к ПС «О-1 Центральная», «Советск-330» путем расщепки данной линии и образования двух линий длиной по 5 км. Третья линия длиной 68 км будет проведена к ПС «Северная-330» (рис. 5).

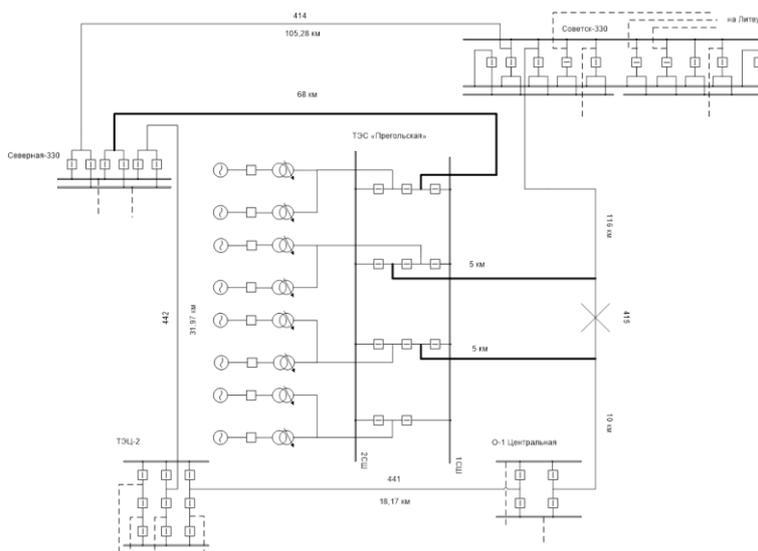


Рисунок 5 – Схема присоединения ТЭС «Прегольская» к энергосистеме Калининградской области

По максимально продолжительному току было выбрано основное оборудование российского производства: шины, выключатели, разъединители, трансформаторы тока [5]. Для его проверки на термическую и динамическую стойкость необходимо было рассчитать токи короткого замыкания, протекающие через выбранное электрооборудование.

Для расчета токов короткого замыкания была разработана математическая модель энергосистемы Калининградской области, которая будет работать в изолированном режиме (рис. 6). Для построения математической модели необходимо сократить количество узлов в исходной схеме (рис. 2). Данное преобразование схемы было произведено по принципу эквивалентирования линий и нагрузок [6]. При этом токи и напряжения в исходной и преобразованной сетях должны совпадать при решении линейных уравнений установившегося режима.

Математическая модель была выполнена в программном комплексе NEPLAN. Она позволяет рассчитывать токи однофазного и трехфазного короткого замыкания, а также напряжения, падения напряжения и потери мощности в любой точке энергосистемы. Токи короткого замыкания для ТЭС «Прегольская» были рассчитаны на шинах с напряжением 330 кВ и 10,5 кВ (рис. 7).

Результаты расчета токов короткого замыкания представлены в табл. 3, 4, что позволило проверить оборудование на термическую и динамическую стойкость.

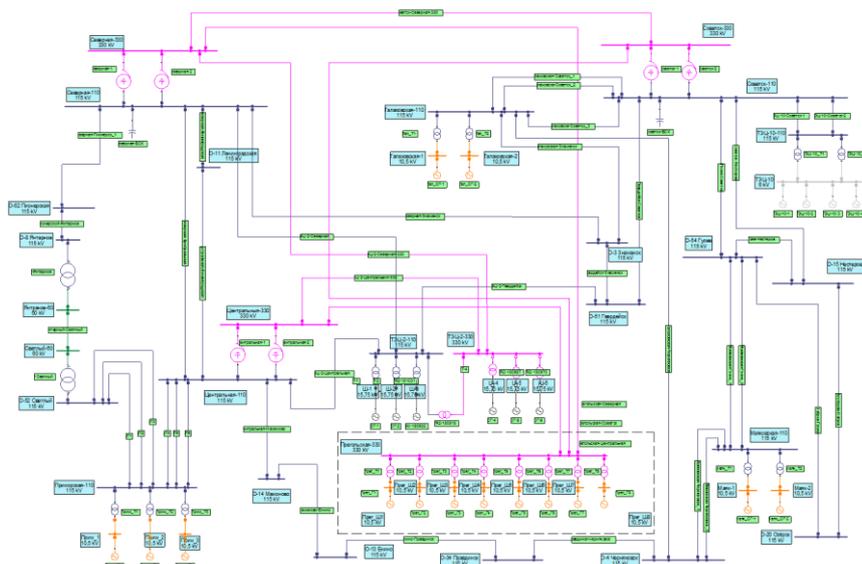


Рисунок 6 – Математическая модель энергосистемы Калининградской области

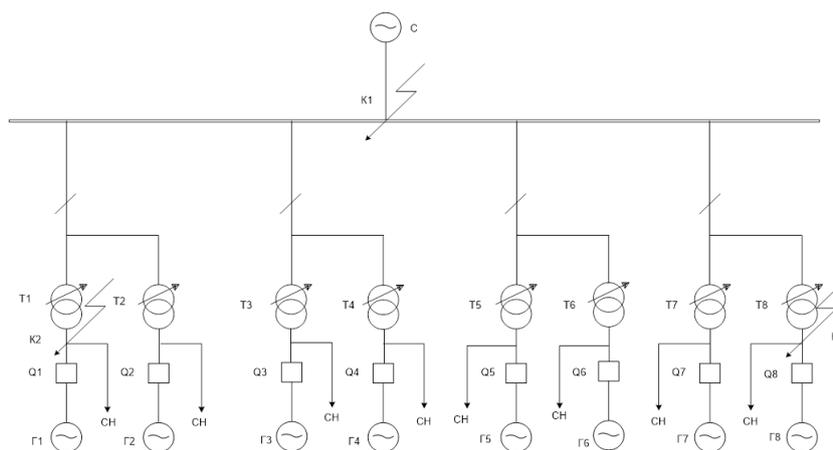


Рисунок 7 – Расчетная схема ТЭС «Прегольская»

Таблица 3 – Результаты расчета токов короткого замыкания в точке К1

К1	$I_{п0}$, кА	$I_{п0Г}$, кА	$I_{п0С}$, кА	$i_{уд}$, кА
		9,805	4,912	4,895

Таблица 4 – Результаты расчета токов короткого замыкания в точке К2, К3

Точки КЗ	Расчетные данные	
	$I_{пог}$, кА	$i_{уд}$, кА
К2	46,023	117,270
К3	22,742	57,142

Проверка разъединителей и выключателей осуществлялась по условиям (5) – (8) [4]:
– на электродинамическую стойкость

$$I_{пр.сквоз} \geq I_{по}, \quad (5)$$

$$i_{пр.сквоз} \geq i_{уд.мах}, \quad (6)$$

где

$I_{пр.сквоз}$ – предельный сквозной ток, используется его начальное действующее значение периодической составляющей, кА;

$i_{пр.сквоз}$ – максимальное мгновенное значение предельного сквозного тока, кА;
– на термическую стойкость

$$I_{терм}^2 \cdot t_{откл} \geq B_k, \quad (7)$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} \geq B_k, \quad (8)$$

где $I_{терм}$ – номинальный ток термической стойкости по каталогу, кА;

B_k – интеграл Джоуля, $кА^2 \cdot с$.

Проверка измерительных трансформаторов тока выполнялась по условиям (9), (10) [4]:

– на электродинамическую стойкость

$$i_{дин} \geq i_{уд}, \quad (9)$$

где $i_{дин}$ – максимальное мгновенное значение тока электродинамической стойкости, кА;
– на термическую стойкость

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = k_{терм} \cdot I_{ном1} \geq B_k, \quad (10)$$

$k_{терм}$ – кратность тока термической стойкости.

где

Проверка комплектного токопровода производилась по условиям (6), (7) [4].

Выполненные расчеты показали, что основное оборудование прошло проверку на термическую и электродинамическую стойкость и может быть использовано в эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. На основе технико-экономического сравнения двух вариантов главных схем обоснован выбор схемы выдачи мощности в энергосистему Калининградской области.

2. Впервые разработана математическая модель Калининградской энергосистемы с четырьмя новыми электростациями при ее работе в автономном режиме.

3. Практическая значимость математической модели состоит в том, что с ее помощью можно рассчитывать токи однофазного, трехфазного короткого замыкания, а также напряжения, падения напряжения и перетоки мощности в любой точке энергосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соглашение между концерном «Белэнерго», ГАО «Latvenergo», РАО «ЕЭС России», АО «Eesti Energia» и АО «Lietuvos Energija» о параллельной работе энергосистем. Вильнюс (7 февраля 2001 г.).
2. Белей, В.Ф. Анализ вариантов развития электроэнергетики стран Балтии и Калининградской области / IV Международный балтийский морской форум [Электронный ресурс]: материалы. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2016. – С. 896–909.
3. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2016–2020 годы/<http://infrastruktura39.ru/upload/25.05.2015%D1%84.pdf>
4. Балаков, Ю.Н. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов. – 2-е изд. / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2006 – 288 с. ил.
5. Гайсаров, Р.В. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: учеб. пособие к курсовому и дипломному проектированию / Р.В. Гайсаров, И.Т. Лисовская. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 59 с.
6. Идельчик, В.И. Электрические сети и системы. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.

MATHEMATICAL MODEL OF ENERGY SYSTEM OF KALININGRAD REGION AND EVALUATION OF THE ELEMENTS OF THE MAIN SCHEME OF TPP “PREGOLSKAYA” PRAGOLSKAYA

A.S. Rybkina, master student,
nastya-rybkina@yandex.ru

V.F. Beley, Dr. of Techn. Sciences, Professor,
vbeley@klgtu.ru

FGBOU VO “Kaliningrad State Technical University”

The article the analysis of technical and economic parameters of two variants of the main schemes of TPP “Pregolskaya” is given. A scheme for connecting the Pregolskaya TPP to the power system of the Kaliningrad Region has been developed. A short circuit was calculated on the mathematical model developed in the NEPLAN software package. The equipment has been selected and tested for thermal and electrodynamic stability.

thermal station, power system, power, voltage, mathematical model, short-circuit, technical and economic comparison