



ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ ПО НАПРЯЖЕНИЮ НА РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ ЕЕ РАБОТЫ

Н.И. Вытнова, магистрантка,
nadezhda-vytnova@yandex.ru

А.Ю. Никишин, канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

На основе разработанной в программном комплексе «RastrWin» модели энергосистемы Калининградской области приведены результаты исследования степени влияния статических характеристик нагрузки по напряжению на расчетные параметры установившихся режимов энергосистемы в автономном режиме ее работы.

математическая модель, энергосистема, статические характеристики нагрузки, активная мощность, напряжение

Целью работы является исследование степени влияния статических характеристик нагрузки по напряжению на расчетные параметры установившегося режима энергосистемы. Это позволит в первую очередь оценить существующие неточности в оценке максимально допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях при заданиях нагрузок традиционным методом.

Подобного рода исследования возможны лишь при помощи соответствующей математической модели энергосистемы.

Анализ существующих источников показал, что в настоящее время тема актуализации статических характеристик нагрузки (СХН) стоит на повестке дня [1-8].

Согласно [1] статические характеристики наиболее полно отражают свойства нагрузки. В практике расчетов установившихся режимов электрических сетей используются обобщенные статические характеристики комплексной нагрузки по напряжению, приведенные в относительных единицах на рис. 1 [2].

В соответствии с [3] данные по СХН для расчетных моделей должны приниматься на основании информации, полученной от соответствующих потребителей или по результатам выполненных научно-исследовательских работ.

Однако на практике в подавляющем большинстве случаев продолжают использовать представление нагрузки постоянной по величине мощностью. Это вызвано в первую очередь тем, что большинство сведений о статических характеристиках нагрузки были получены при экспериментальных исследованиях, проводившихся три и более десятилетия назад [4]. За это время состав потребителей электрической энергии существенно изменился как количественно, так и качественно, а данные о статических характеристиках устарели.

В [1], [5] и [6] авторы анализируют существующие и предлагают авторские методики для определения СХН. Так, в статье [5] были рассмотрены два способа обработки экспериментальных данных для определения статических характеристик нагрузки по напряжению для узла сети, включающего в себя как промышленную нагрузку, так и коммунально-бытовую. В связи с тем, что в основном статические характеристики нагрузки по напряжению представляются в виде полиномов второй степени, исследованы два метода получения коэффициентов СХН. В первом случае коэффициенты были определены с помощью MS Excel по методу наименьших квадратов, во втором – на основании расчетных выборок производных активной и реактивной мощности по напряжению. В статье [7] исследуется влияние

учета СХН в расчетах режимов работы энергосистем на примере Чувашской энергосистемы. Для анализа авторы использовали ПК «RASTRWIN», в котором были созданы несколько моделей энергосистемы, отличающихся способом задания нагрузки (в виде постоянной по величине мощности, с учетом стандартных СХН ПК «RASTRWIN» по напряжению, в виде постоянных «задающих токов», в виде «шунтов»). Отличия результатов в зависимости от модели нагрузки достигают 20 % и более для расчетных уровней напряжения и более 30 % для расчетных значений токов. Таким образом, выбор способа представления нагрузки может значительно повлиять на результаты расчетов установившихся режимов и статической устойчивости.

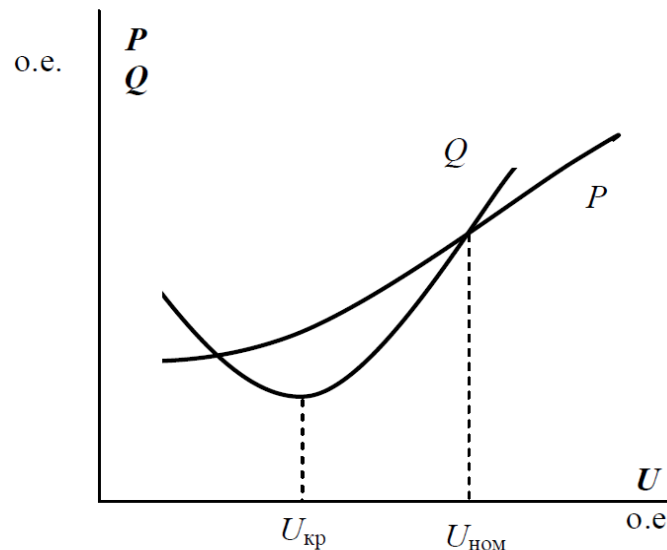


Рисунок 1 – Статические характеристики нагрузки по напряжению [2]

В [8] рассмотрены методы расчета установившихся режимов с учетом изменения частоты. Предлагается метод и алгоритм расчета режимов с изменением частоты, разработанный М.С. Лисеевым. Для реализации метода задаются мощности всех генераторов и нагрузок, а также их статические характеристики по частоте и напряжению. Разработанная на основе метода программа позволяет исследовать электроэнергетические системы, в которых частота изменяется в результате увеличения нагрузки и при других возмущениях.

Таким образом, анализ показывает, что способ задания нагрузки существенно влияет на результаты расчета режимов энергосистемы. Поэтому проведение учета дополнительных параметров для установившихся режимов необходимо.

С целью проверки необходимости учета СХН в расчетах установившихся режимов была разработана модель электроэнергетической системы Калининградской области в условиях автономной работы энергосистемы. Для этого был выбран программный комплекс «RastrWin». В разработанной модели [9] учтены изменения, характерные для работы энергосистемы в изолированном режиме согласно [10] (рис. 2).

Возможности ПК «RastrWin» позволяют учитывать в модели статические характеристики нагрузки по напряжению и частоте [11].

Статические характеристики нагрузки по напряжению можно представить в виде полиномов второй степени [2]:

$$P(V) = P_{\text{ном}} \left[a_0 + a_1 \left(\frac{V}{V_{\text{ном}}} \right) + a_2 \left(\frac{V}{V_{\text{ном}}} \right)^2 \right], \quad (1)$$

$$Q(V) = Q_{\text{ном}} \left[b_0 + b_1 \left(\frac{V}{V_{\text{ном}}} \right) + b_2 \left(\frac{V}{V_{\text{ном}}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ - коэффициенты полинома СХН по активной и реактивной мощности.

В нормальном режиме $U=U_{ном}$, $P=P_{н.0}$, $Q=Q_{н.0}$. В связи с этим должны выполняться следующие условия:

$$a_0 + a_1 + a_2 = 1, \quad (3)$$

$$b_0 + b_1 + b_2 = 1 \quad (4)$$

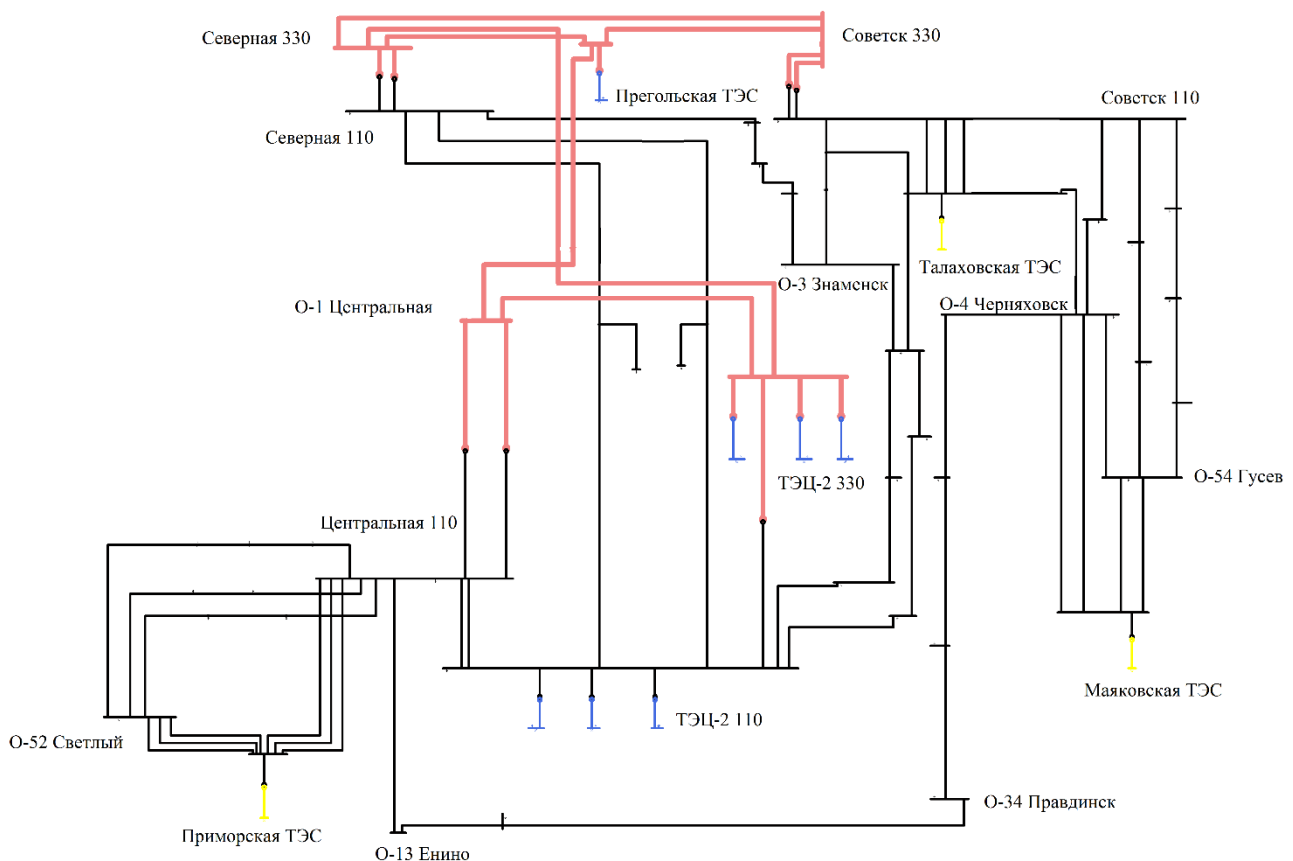


Рисунок 2 – Схема модели энергосистемы Калининградской области в изолированном режиме работы

Таким образом, задание СХН по напряжению в ПК «RastrWin» сводится к указанию значений коэффициентов $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ для определенной СХН и присвоению ее номера соответствующим узлам модели.

Помимо возможности задания произвольных коэффициентов, в программе имеются два стандартных типа СХН, использующихся для задания обобщенной типовой нагрузки, приведенной к напряжению 110 кВ (СХН1) и 35 кВ (СХН2), и имеющих следующий вид:

1) СХН1

$$P(V) = P_{ном} 0,83 - 0,3 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right) + 0,47 \left(\frac{V}{V_{ном}} \right)^2, \quad (5)$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[3,7 - 7 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + 4,3 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right], & \text{если } 0,815 \leq \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \leq 1,2 \\ \left[0,721 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0,815 \\ 1,49, & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (6)$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[0,721 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0,815 \\ 1,49, & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (7)$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[0,721 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0,815 \\ 1,49, & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (8)$$

2) СХН2

$$P(V) = P_{\text{НОМ}} \left[0,83 - 0,3 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + 0,47 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right], \quad (9)$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[4,9 - 10,1 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) + 6,2 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right], & \text{если } 0,815 \leq \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \leq 1,2 \\ \left[0,657 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0,815 \\ 1,708, & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (10)$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[0,657 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0,815 \\ 1,708, & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (11)$$

$$Q(V) = Q_{\text{НОМ}} \begin{cases} \left[0,657 + 0,158 \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) \right], & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) < 0,815 \\ 1,708, & \text{если } \left(\frac{V}{V_{\text{НОМ}}} \right) > 1,2 \end{cases} \quad (12)$$

В разработанной модели были заданы стандартные СХН по напряжению и, используя расчетные модули программного комплекса «RastrWin», был осуществлен расчет зимнего режима максимального потребления с учетом СХН.

Анализ результатов расчетов установившихся режимов двух моделей – с учетом СХН и без учета – показал, что способ задания нагрузки (постоянной по величине мощностью или с помощью СХН) оказывает существенное влияние на расчетные значения параметров режима.

На рис. 3 показано отклонение значений активной мощности в узлах от исходных заданных значений, максимальное отклонение активной мощности достигает 6 %.

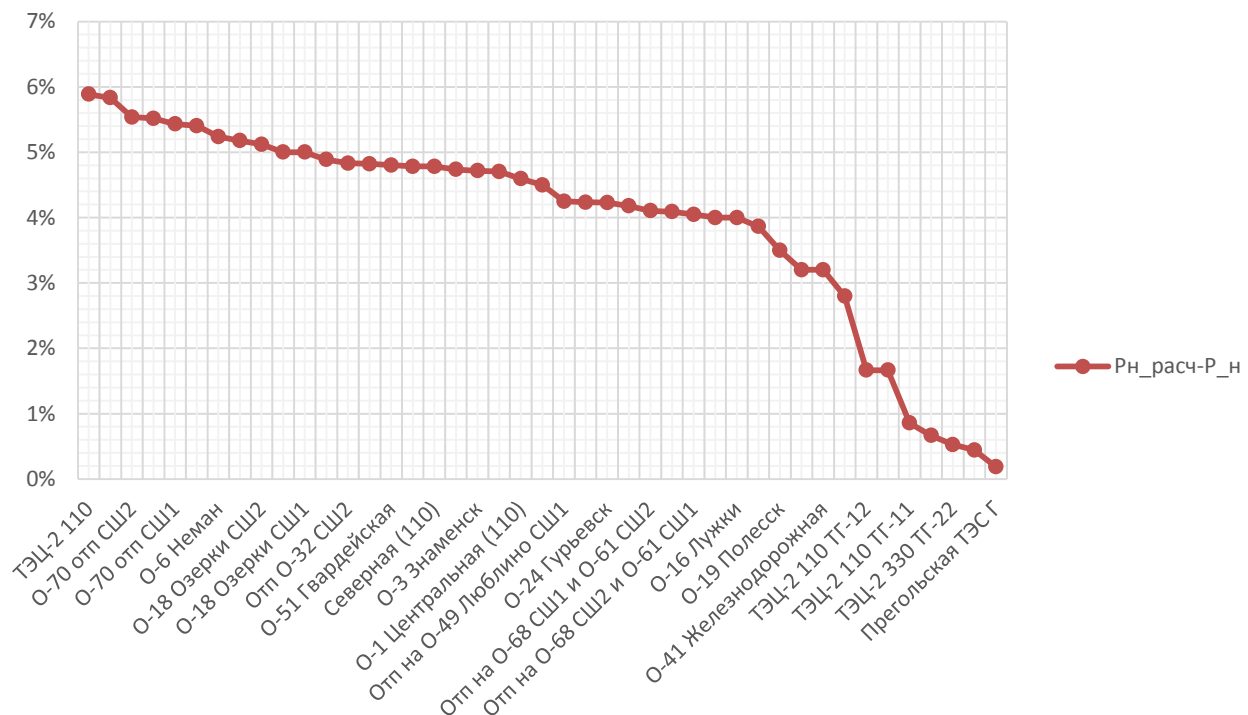


Рисунок 3 – Отклонение значений активной мощности от заданных значений в узлах модели

На рис. 4 представлены значения отклонения напряжения ΔU от номинального в узлах модели для двух способов задания загрузки – в виде постоянных мощностей и с помощью стандартных СХН; максимальное отклонение напряжения с учетом СХН достигает 9 %.

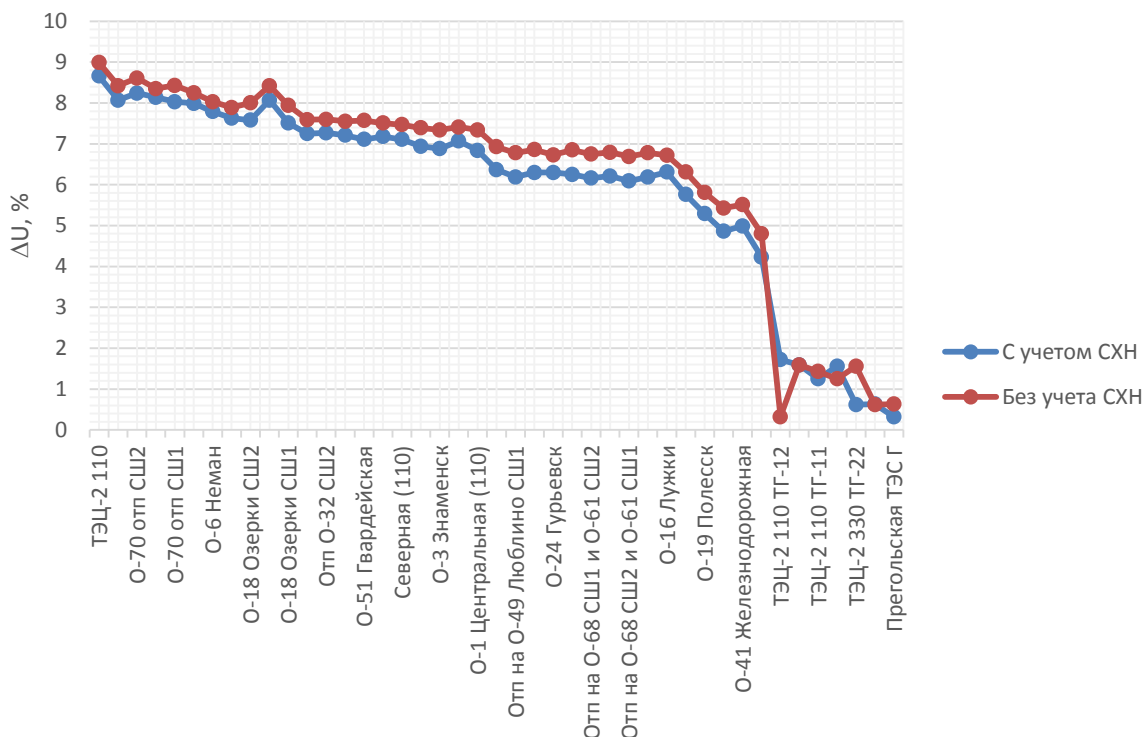


Рисунок 4 – Отклонение напряжения ΔU от номинального значения

Как видно из рис. 3 и 4, в установившемся режиме расчетные значения параметров моделей (с учетом и без учета СХН) значительно отличаются друг от друга. Кроме того, учет дополнительных параметров оказывает наибольшее влияние на следующие узлы модели: «ТЭЦ-2 110» и «ТЭЦ-2 ТГ-12».

Таким образом, анализ расчетных значений напряжений в заданных узлах двух моделей показал существенную разницу, доказывающую необходимость учета СХН.

Выявлено, что наибольшие отклонения в расчетах параметров установившихся режимов соответствуют балансирующему узлу энергосистемы (ТЭЦ-2 ТГ-12). То есть в результате неучета дополнительных параметров возможно неверное планирование режимов работы балансирующей электростанции.

В дальнейшем для получения более конкретных результатов необходимо произвести расчет большего количества режимов работы энергосистемы при различном уровне электропотребления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальное определение статических характеристик нагрузки электроэнергетических систем / А.В. Панкратов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». - 2015. - Т. 15, № 1. - С. 11–20.
2. Костин, В.Н. Передача и распределение электроэнергии: учеб. пособие / В.Н. Костин, Е.В. Распопов, Е.А. Родченко. – Санкт-Петербург: СЗТУ, 2003. – 147 с.
3. Требования к созданию и актуализации расчетных моделей для расчетов установившихся режимов и статической устойчивости в филиалах ОАО «СО ЕЭС» РДУ.
4. Горбунова, Л.М. Экспериментальные исследования режимов энергосистем / Л.М. Горбунова, М.Г. Портной, Р.С. Рабинович. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 448 с.

5. Способы обработки данных активного эксперимента при определении статических характеристик мощности нагрузок узлов сети по напряжению / В.И. Нагай [и др.] // Известия высших учебных заведений. – Электромеханика. 2014. – 67-71 с..

6. Прогнозирование реакции нагрузки для решения задачи идентификации статических характеристик по напряжению / С.И. Перминов [и др.] // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды всероссийской научно-технической конференции: сборник статей: в 2 т. - Екатеринбург: УрФУ, 2015. Т. 1. – С. 259-264.

7. Модели нагрузки и их влияние при расчетах установившихся режимов энергосистем / Д.Н. Дадонов, // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды всероссийской научно-технической конференции: сборник статей: в 2 т. - Екатеринбург: УрФУ, 2010. Т. 1. - 433 с.

8. Рагимов, Э.В. Учет изменений частоты в программах расчета установившихся режимов электроэнергетической системы / Э.В. Рагимов // Вестник МЭИ. - №1, 2013.

9. Вытнова Н.И. Исследование влияния ПС 110/10 кВ «Береговая» (для электроснабжения стадиона ФИФА) на режимы работы центрального энергорайона Калининградской энергосистемы / Н.И. Вытнова, А.Ю. Никишин // Вестник молодежной науки КГТУ. Сер. «Судостроение, транспорт и энергетика». - 2017. - № 1.

10. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2018-2022 годы. – Калининград. 2017.

11. Программный комплекс «RastrWin3». Руководство пользователя.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE DEGREE OF THE LOAD STATIC CHARACTERISTICS BY VOLTAGE ON THE ESTIMATED PARAMETERS THE STEADY-STATE MODES OF THE KALININGRAD ENERGY SYSTEM IN THE ISOLATED MODE OF OPERATION

N.I. Vytnova, Master Student,
nadezhda-vytnova@yandex.ru

A.Yu. Nikishin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Kaliningrad State Technical University

In the article, based on the model of the Kaliningrad region energy system (developed in RastrWin software) the degree of influence of load static characteristics on the calculated parameters of the steady-state measures of the power system in the isolated mode of its operation is constructed.

mathematical model, power system, load static characteristics, active power, voltage