

Оценка риска снижения энергетической безопасности региона

В.А. Савельев, В.В. Батаева
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: bataewa.v@yandex.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В России активно разрабатывается и реализуется региональная энергетическая политика, цель которой обеспечение энергетической безопасности как отдельных регионов, так и страны в целом. Известно три метода оценки энергетической безопасности на региональном уровне, однако они не нашли широкого практического приложения, так как имеют ряд недостатков. Очевидна необходимость нахождения метода для поддержки и обоснования принятия решений по обеспечению состояния энергетической безопасности регионов.

Материалы и методы: Методика оценки риска снижения энергетической безопасности региона разработана на основе концепции приемлемого риска, теории анализа и управления риском, теории надежности.

Результаты: Разработана методика для поддержки и обоснования принятия решений обеспечения состояния энергетической безопасности региона.

Выводы: Использование методики может быть направлено на обеспечение и управление энергетической безопасностью регионов России, определение пути рационального развития региональных топливно-энергетических комплексов.

Ключевые слова: региональная энергетическая безопасность, теория риска, региональный топливно-энергетический комплекс, поддержка и обоснование принятия решений.

Assessment of regional energy safety reduction risk

V.A. Savelyev, V.V. Bataewa
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: bataewa.v@yandex.ru

Abstract

Background: The Russian Federation is actively developing and implementing its regional energy policy aiming to ensure the energy security of both individual regions and the country as a whole. There are three methods of assessing energy security at the regional level; however, they are not used extensively as they have a number of drawbacks. Therefore, it is necessary to find a method that would be the basis of making decisions on ensuring the energy security of regions.

Materials and methods: The methods of assessing regional energy security reduction risk have been developed on the basis of acceptable risk concept, risk analysis and management theory, reliability theory.

Results: A method was developed to support and justify decision-making in the sphere of regional energy security provision.

Conclusions: The method can be used to provide and manage the energy security of regions of Russia, to determine the ways of rational development of the regional fuel and energy complexes.

Key words: regional energy security, risk theory, regional fuel-and-energy complex, support and justification of decision-making.

Государственная политика сегодня такова, что центр тяжести в реализации социально-экономической политики сместился в регионы. На федеральном уровне заявлен курс на проведение энергетической политики, целью которой является обеспечение энергетической безопасности (ЭБ). Передача значительной части прав и соответствующей им доли ответственности на региональный уровень идет по пути развития самоуправления. Это накладывает новые обязательства на региональную политику, особенно в части обеспечения региональной энергетической безопасности. Поэтому для России с ее природно-климатическими и территориально-

географическими особенностями большое значение имеют выработка и реализация именно региональной энергетической политики. При этом государство должно выступать в качестве гаранта ЭБ каждого региона.

Рыночные преобразования в мировой и отечественной электроэнергетике меняют географию деятельности энергетических компаний, их организационную структуру, методы и механизмы управления деловой активности. Формирование оптового и розничного рынков электроэнергии и мощности, наличие конкуренции изменили условия хозяйствования, благодаря которым появились возможности повышения эффективности, однако и новые

угрозы, а также ряд неопределенностей функционирования предприятий ТЭК.

На текущий момент разработано три подхода к оценке ЭБ на региональном уровне: метод индикативного анализа (самый распространенный из-за своей доступности) [1], метод анализа иерархий для перспективной оценки ЭБ [2] и оценка ЭБ территорий и принятие решений по развитию электроэнергетических систем с применением теории нечетких множеств [3]. Однако преобразование исходных данных к виду, приемлемому для практической оценки в этих методах, влечет за собой потерю части информации о свойствах и закономерностях поведения ТЭК. Проведение вариантов расчетов фактически ведет к непомерному возрастанию объема решаемой задачи и соответственно размерности модели и, как следствие, к еще большей утрате способности отвечать на поставленные вопросы [4]. Следует учитывать, что в современных условиях неопределенность присутствует не только при описании целей и условий функционирования ТЭК, параметры самих моделей часто становятся также неопределенными (например, тарифы на различные виды энергии). В таких условиях для многих задач учет неопределенностей приводит к значительному повышению размерности задачи даже при описании не сложных энергосистем.

Из сказанного выше очевидно необходимость создания более совершенной методики для обоснования и поддержки принятия решений в сфере обеспечения энергетической безопасности как отдельных регионов, так страны в целом.

Не так давно в отечественной науке стала рассматриваться возможность применения процедуры анализа риска для оценки уязвимости сложных технических систем [5]. Существующий опыт приложения теории риска для объектов энергетической сферы ограничен управлением финансовыми ресурсами электроэнергетических компаний [6].

Предлагаемый подход направлен на оценку уязвимости топливно-энергетического комплекса (ТЭК) региона в отношении угроз энергетической безопасности. Для этого определяется общий риск снижения энергетической безопасности региона, а также уязвимость регионального ТЭК в отношении локальных рисков, отражающих характер и остроту воздействия угроз ЭБ. Подход основан на теории анализа и управления риском и реализуется в рамках концепции приемлемого риска [7]. Основные теоретические положения относительно поставленной задачи можно сформулировать следующим образом:

– риск – это мера опасности получения ущерба при реализации угрозы ЭБ;

– любому уровню воздействия угрозы соответствует некоторый уровень риска – уязвимость системы в отношении угроз ЭБ;

– допускается сочетание нескольких источников воздействия;

– риски реализации угроз ЭБ формируют общий риск ослабления ЭБ региона;

– существует некоторый предельно допустимый уровень риска ЭБ;

– уровень приемлемого риска можно установить с учетом экономических, социальных и других условий;

– уровень приемлемого риска случайно формируется в обществе и проявляется в масштабах риска;

– уровнем риска можно управлять, воздействуя на условия его формирования;

– при превышении допустимого уровня риска возникает существенный ущерб.

Для проведения анализа ТЭК региона представляется как техническая система, состоящая из взаимосвязанных подсистем электро-, тепло- и топливоснабжения, в свою очередь состоящих из совокупности предприятий, объектов и установок получения, переработки, преобразования, транспорта, хранения и распределения энергетических ресурсов всех видов [8]. Считается, что система выполняет свои функции в полном объеме при условии обеспечения состояния защищенности граждан, общества и экономики региона от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения [1]. При этом под состоянием защищенности понимается: в нормальных условиях – обеспечение в полном объеме обоснованных потребностей в энергии, а в экстремальных ситуациях – гарантированное обеспечение минимально необходимого объема потребностей [8]. Процесс функционирования ТЭК региона представляется как переход в пространстве состояний системы G_m от начального состояния системы G_n в ее конечное состояние $G_{к0}$, определяемое набором значений x_0^1, x_0^2, \dots

x_0^m , которые принимают переменные состояния системы. Если система соответствует предъявляемым к ней требованиям обеспечения энергетической безопасности, то можно говорить о реализации положительного сценария S_0 . Переменные состояния системы, определяющие размерность и конфигурацию пространства состояний системы, представляющие собой набор параметров, позволяющих качественно описать модель ТЭК региона, определены экспертным путем.

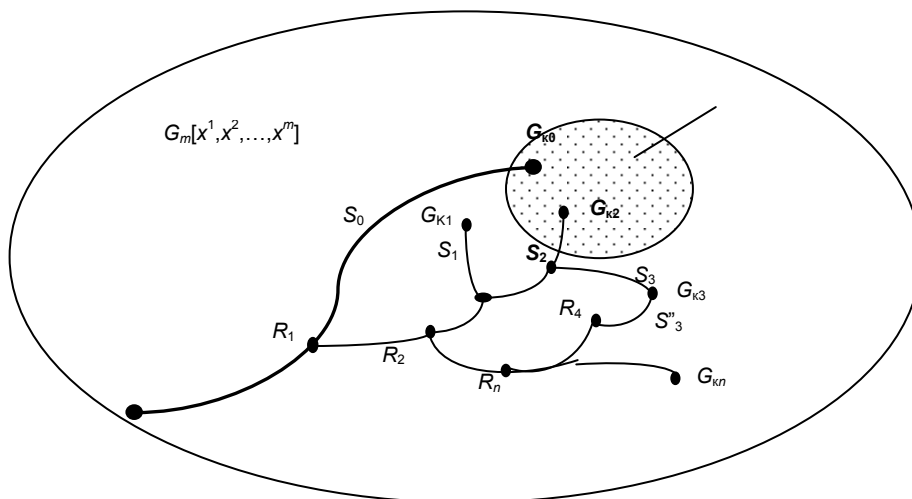


Рис. 1. Реализация рисков ЭБ с различной степенью воздействия

На процесс функционирования ТЭК влияют угрозы ЭБ, степень этого влияния отражают локальные риски ЭБ региона. Если в системе происходит возмущение, т.е. реализуется риск ЭБ R_m , она может отклониться от сценария S_0 и перейти к реализации некоторого нового сценария S_1 , который приведет ее в конечное состояние G_{k1} , отличное от заданного конечного состояния G_{k0} (рис. 1):

$$G_{k1}(x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^m) \neq G_{k0}(x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^m).$$

На практике невозможно обеспечить абсолютно точное достижение системой заданного конечного состояния G_{k0} , потому что в реальных системах всегда будут реализовываться риски, иногда в незначительной степени, но тем не менее, которые будут отклонять траекторию системы от заданного сценария успеха S_0 . Кроме того, величина отклонения от заданного сценария S_0 будет также изменяться за счет естественной вариативности параметров системы. Поэтому при оценке уязвимости системы речь должна идти о вероятности выхода конечного состояния системы из заданной области ε_0 пространства состояний G_m . Таким образом, в данной модели энергетическая безопасность региона обеспечивается, когда конечное состояние системы не выходит за пределы заданной окрестности ε_0 .

В связи с тем, что свойства, характеризующие уязвимость системы к реализации риска, проявляются только после того, как система была подвергнута некоторому нештатному воздействию, мера уязвимости определяется вероятностью отказа системы при условии, что в системе реализуется риск ЭБ. При этом риски в системе могут быть незначительными, реализация которых хотя и отклоняет траекторию от идеальной, однако не приводит к выходу конечного состояния системы из заданной области. В этом случае можно считать, что система не является уязвимой к реализации риска R_m . Если же ко-

нечное состояние системы выходит из заданной области ε_0 пространства состояний системы G_m , система перестает выполнять заданные функции, т.е. возникают дефицит в обеспечении потребностей потребителей региона в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества и нарушения бесперебойности энергоснабжения, как частично, так и в полном объеме.

Таким образом, под уязвимостью системы к реализации риска энергетической безопасности понимается условная вероятность выхода конечного состояния системы G_k за границы заданной области ε_0 пространства состояний системы G_m в случае, если реализуется риск ЭБ:

$$V = P[\|G_{k^*} - G_{k0}\| > \varepsilon_0 | R_m].$$

В пространстве состояний системы могут быть реализованы различные сценарии отказов, развивающиеся после действия как отдельных рисков, так и их сочетаний, и приводящие к разнообразным конечным состояниям. В этом случае уязвимость системы не сводится к отдельным характеристикам открытости системы к экстремальным воздействиям, а характеризуется совокупностью сценариев событий и причинно-следственных связей между этими событиями [5]. Она определяется вероятностями реализации конечных состояний системы, возникающих в случае отказов, развивающихся в системе после реализации нескольких рисков с различной интенсивностью.

Перечень рассматриваемых локальных рисков может варьироваться в зависимости от анализируемого региона и состава угроз ЭБ. Примеры возможных локальных рисков для региона приведены в табл. 1.

Таблица 1. Локальные риски ЭБ региона

№	Название
R1	Риск недопоставок электрической энергии в результате утраты доминирующего топливного ресурса при ее производстве
R2	Риск недопоставок тепловой энергии в результате утраты доминирующего топливного ресурса при ее производстве
R3	Риск дефицита тепловой энергии в результате резкого похолодания (10 % наброс нагрузки)
R4	Риск неудовлетворения собственных электрических нагрузок вследствие потери межсистемных электрических связей
R5	Риск неудовлетворения в котельно-печном топливе
R6	Риск значительных потерь вследствие неэффективного производства электроэнергии
R7	Риск значительных потерь электроэнергии вследствие ее неэффективной передачи
R8	Риск неэффективной работы ТЭК в целом

Вследствие неопределенности, касающейся типа и интенсивности реализации рисков, а также способности системы «сопротивляться» воздействиям, мера уязвимости должна быть вероятностной, то есть определяться вероятностью отказа системы. Поэтому в данной методике предлагается произвести категоризацию глубины ущербов ЭБ региона от реализации рисков для приведения их к качественному виду. При этом введем пять уровней ущерба: от первого, самого тяжелого, до пятого, самого малозначительного с позиции обеспечения ЭБ (табл. 2). При этом учтена категоричность потребителей. Каждой категории ущерба для качественного восприятия соответствует балльная оценка серьезности последствий.

Таблица 2. Последствия реализации рисков ЭБ региона

Категория	Название	Баллы
I	Катастрофические	5
II	Значительные	4
III	Серьезные	3
IV	Существенные	2
V	Незначительные	1

Вероятность реализации каждого риска также приведем в качественный вид, присвоив балльную оценку вероятности его реализации. Вероятностные категории реализации риска представлены в табл. 3.

Таблица 3. Вероятностные категории реализации риска

Категория	Описание	Баллы
A	Скорее всего	5
B	Возможно	4
C	Маловероятно	3
D	Сомнительно	2
E	Чрезвычайно маловероятно	1

В экономическом смысле эффективность мероприятий по обеспечению ЭБ связана с возможностями систем по снижению

масштабов негативных последствий при возмущениях в их работе вследствие возможной реализации угроз ЭБ.

В качестве примера практического приложения рассмотрим один из регионов России, ТЭК которого можно охарактеризовать следующим образом. Добыча ТЭР на территории региона не ведется, однако имеется свое нефтеперерабатывающее производство, перерабатывающее порядка 14 млн тонн нефти в год (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут и прочие нефтепродукты). Собственные генерирующие мощности, покрывающие порядка половины электрической нагрузки потребителей региона, представлены ТЭС и ГЭС. Благодаря возобновляемым, а также второстепенным энергетическим ресурсам и ГЭС покрывается около 37 % электрической нагрузки и 7 % тепловой. Сальдо-перетоки по операционной зоне региона составляют 70 % от общей нагрузки потребителей. Доминирующим топливным ресурсом является газ, благодаря которому производится 97 % электрической энергии и 87 % тепловой. Доля наиболее крупной электростанции региона составляет 30 % от общей установленной мощности.

Для рассматриваемого примера составим матрицу уязвимости ТЭК региона к воздействию описанных в табл.1 рисков. В первую строку матрицы вносим вероятности получения ущерба определенной категории, от меньшего к большему слева направо. В нашем конкретном примере оценивается, какой будет ущерб в производстве электроэнергии при прекращении поставок газа в регион. Так как 97 % энергии в регионе производится благодаря газу (резервным топливом на станциях региона является мазут, который производится в самом регионе), то в результате реализации риска теряется порядка 11% всей производимой электроэнергии. Учитывая, что сальдо-перетоки по операционной зоне составляют 70 % от общей нагрузки потребителей, вполне вероятно недостающую энергию можно «добрать» из этих резервов. Таким образом, при прекращении поставок газа в регион и условии, что станции региона перейдут на резервное топливо, реализация риска R1 не вызовет катастрофических последствий, а, скорее всего, приведет к временному нарушению энергоснабжения на непродолжительный период либо ограничению поставок электрической энергии. Поэтому вероятностям получения катастрофического и значительного ущерба присваиваем самую малую категорию (E – 1 балл), серьезному – категорию «маловероятно» (C – 3 балла), а существенному и незначительному – категорию «скорее всего» (A – 5 баллов). Аналогично рассматриваются все локальные риски ЭБ региона. Для учета влия-

ния экономических угроз ЭБ строится диаграмма потоков топливно-энергетических ресурсов в ТЭК региона. Она включает в себя выделенные циклы производства, обработки, распределения энергетических ресурсов всех видов в ТЭК региона, их импорт и экспорт, а также наглядно демонстрирует потери в каждом из них, позволяя таким образом оценить эффективность как отдельных отраслей комплекса, так и всего ТЭК в целом.

На выходе произведенного анализа составляется матрица уязвимости региона к локальным рискам энергетической безопасности:

$$V = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 4 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 5 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 5 & 5 \\ 1 & 2 & 5 & 3 & 2 \\ 5 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Далее зададим вектор угроз, компонентами которого являются вероятности реализации рисков:

$$\bar{H} = \{1 \ 4 \ 1 \ 5 \ 4 \ 2 \ 1 \ 1\},$$

где первый компонент – это вероятность реализации риска недопоставок электроэнергии R1 при условии «потери» доминирующего ресурса при ее производстве – газа. Как уже рассматривалось выше, она мала, поэтому ей присвоена низшая балльная оценка; второй – вероятность реализации риска R2 и т.д. Умножив соответствующую вероятность реализации риска на строку вероятности получения категорий ущерба от его реализации, получим карту локальных рисков ЭБ в виде таблицы (табл. 4).

Таблица 4. Карта локальных рисков ЭБ региона

	V	IV	III	II	I
1	5	5	4	1	1
4	4	8	20	12	8
1	1	1	1	1	1
5	5	5	3	25	25
4	4	8	20	12	8
2	10	6	2	2	2
1	5	1	1	1	1
1	5	1	1	1	1

При помощи данной карты можно выделять наиболее проблемные места в энергетике региона. Ячейки, коэффициент риска в которых 20–25, указывают, где именно в ТЭК региона угрозы ЭБ реализуются с наиболее тяжелыми последствиями. А именно, при прекращении поставок газа в регион вероятны существенные недопоставки тепловой энергии. Утрата межсистемных связей приведет к критическому ущербу, так как собст-

венные генерирующие мощности покрывают лишь половину электрической нагрузки потребителей, и т.д.

Благодаря проведенному анализу легче определить, какие именно мероприятия необходимо проводить для повышения энергетической безопасности региона и формирования рационального топливно-энергетического баланса, на что они должны быть направлены. Также возможно планировать и моделировать воздействия от них.

Для того чтобы определить общий интегральный риск снижения энергетической безопасности региона, необходимо вычислить индекс риска системы, зависящий от совокупного влияния угроз:

$$R = \bar{H} [V] \bar{U},$$

где $\bar{H} = \{P[R_1]; P[R_2]; \dots; P[R_m]\}$ – вектор угроз, компонентами которого являются относительные вероятности реализации рисков R_1, R_2, \dots, R_m , т.е. вероятности того, что угрозы реализуются с определенной степенью тяжести, в баллах;

$\bar{U} = \{U[G_1]; U[G_2]; \dots; U[G_m]\}$ – вектор ущербов, компонентами которого являются величины ущербов, соответствующих конечным состояниям в баллах.

Для рассматриваемого региона индекс риска равен 756, что позволяет говорить о несущественном общем риске потери ЭБ региона. Однако проведенный анализ выявил наиболее уязвимые места. Это серьезная зависимость производства тепловой энергии от поставок газа извне, критическая зависимость от надежности межсистемных связей с другими регионами для удовлетворения собственных электрических нагрузок.

Таким образом, предлагаемая методика является более гибким инструментом анализа и управления энергетической безопасностью региона. Она позволяет оценивать влияние как локальных рисков ЭБ, отражающих суть отдельно взятых угроз, так и общий уровень энергетической безопасности региона, учитывая сочетание условий, в которых функционирует ТЭК. При планировании мероприятий можно качественно оценивать эффекты от них и решать, какие из них целесообразнее проводить из соотношения «затраты-выгода» для поддержания состояния ЭБ.

Список литературы

1. Савельев В.А., Сендеров С.М., Батаева В.В. Анализ состояния топливно-энергетического комплекса и расчет показателей энергетической безопасности регионов: учеб. пособие для студентов. – Иваново, 2010. – 76 с.
2. Гасникова А.А. Перспективная оценка энергетической безопасности социально-экономической системы северного региона (на материалах Мурманской обл.): дис. ... канд. экон. наук. – Апатиты, 2008. – 181 с.
3. Мезенцев П.Е. Оценка энергетической безопасности территорий и принятие решений по развитию

электроэнергетических систем с применением теории нечетких множеств: дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2004. – 191 с.

4. **Конева О.В., Мокрый И.М.** Моделирование экономических процессов дифференциальными уравнениями (проблемы, методология, инструментарий). – Иркутск: СЭИ СО РАН, 1997. – 121 с.

5. **Махутов Н.А., Резников Д.О.** Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска // Проблемы анализа риска. – 2008. – Т. 5. – № 3.

6. **Клочкова Н.В.** Теория и методология управления финансовыми ресурсами электроэнергетических компаний: автореф. дис. ... д-ра экон. наук. – Иваново, 2008. – 32 с.

7. **Ковалев Е.Е.** Концепция приемлемого риска как основа нормализации медико-экологической ситуации в Алтайском крае // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993. – Вып. 6. – С. 3–20.

8. **Энергетическая** безопасность. Термины и определения / отв. ред. чл.-корр. РАН Н.И. Воропай. – М.: ИАЦ Энергия, 2005. – 60 с.

References

1. Savel'ev, V.A., Senderov, S.M., Bataeva, V.V. *Analiz sostoyaniya toplivno-energeticheskogo kompleksa i raschet pokazateley energeticheskoy bezopasnosti regionov* [Analysis of fuel and energy complex and calculation of regional energy security parameters]. Ivanovo, 2010. 76 p.

2. Gasnikova, A.A. *Perspektivnaya otsenka energeticheskoy bezopasnosti sotsial'no-ekonomicheskoy sistemy severnogo regiona (na materialakh Murmanskoy oblasti)*. Diss. kand. ekon. nauk [Projection of the northern

region's socio-economic system energy security (as exemplified by Murmansk region). Cand. econ. sci. diss.]. Apatity, 2008. 181 p.

3. Mezentsev, P.E. *Otsenka energeticheskoy bezopasnosti territoriy i prinyatie resheniy po razvitiyu elektroenergeticheskikh sistem s primeneniem teorii nechetkikh mnozhestv*. Diss. kand. tekhn. nauk [Assessing area energy security and making decisions on developing electric power systems by applying the fuzzy-set theory. Cand. tech. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2004. 191 p.

4. Koneva, O.V., Mokryy, I.M. *Modelirovanie ekonomicheskikh protsessov differentsial'nymi uravneniyami (problemy, metodologiya, instrumentariy)* [Modelling of economic processes by differential equations (problems, methods, tools)]. Irkutsk: SEI SO RAN, 1997. 121 p.

5. Makhutov, N.A., Reznikov, D.O. Otsenka uyazvivosti tekhnicheskikh sistem i ee mesto v protsedure analiza riska [Assessment of controllability of technical systems and its place among risk analysis procedures]. *Problemy analiza riska*, 2008, vol. 5, no. 3.

6. Klochkova, N.V. *Teoriya i metodologiya upravleniya finansovymi resursami elektroenergeticheskikh kompaniy*. Avtoref. diss. d-ra ekon. nauk [Theory and methods of managing financial resources of electric power companies. Dr. econ. sci. diss.]. Ivanovo, 2008. 32 p.

7. Kovalev, E.E. Kontseptsiya priemlegomogo riska kak osnova normalizatsii medikoekologicheskoy situatsii v Altayskom krae [Acceptable risk concept as the basis of improving medical-ecological conditions of the Altai territory]. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh*, 1993, issue 6, pp. 3–20.

8. *Energeticheskaya bezopasnost'. Terminy i opredeleniya* [Energy security. Terms and definitions]. Moscow, IATs Energiya, 2005. 60 p.

Савельев Виталий Андреевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», профессор, доцент кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрического оборудования, телефон (4932) 26-99-24, e-mail: savelev-iv@yandex.ru

Батаева Вера Владимировна,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», ассистент кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрического оборудования, телефон (4932) 26-99-24, e-mail: bataeva.v@yandex.ru