

УДК: 621.316.3

Системы организации отношений субъектов электроэнергетики по обеспечению надежности электроснабжения потребителей

Б.В. Папков, М.В. Шарыгин
ФГБОУВПО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева»,
г. Нижний Новгород, Российская Федерация
E-mail: sharygin.m.v@gmail.com

Авторское резюме

Состояние вопроса: Существующая система организации отношений субъектов электроэнергетики России, сложившаяся в результате реформирования как единая нормативно-административная система, не позволяет в современных условиях обеспечивать требуемую надежность электроснабжения в силу невозможности определения необходимого уровня и границ ответственности субъектов рынка при возможных нарушениях электроснабжения. В целях решения проблемы обеспечения надежности электроснабжения потребителей необходимо выработать новый подход к организации отношений субъектов электроэнергетического рынка.

Материалы и методы: Альтернативный подход к организации отношений субъектов электроэнергетики по обеспечению надежности электроснабжения потребителей разработан на основе системного анализа производственных систем потребителей с использованием методов моделирования, декомпозиции и агрегирования узлов нагрузки.

Результаты: Дан анализ существующих систем взаимоотношений субъектов электроэнергетики по обеспечению надежности. Разработана альтернативная система, основанная на учете экономических интересов субъектов, баланс которых обеспечивается дополнительным, добровольно заключаемым взаимовыгодным договором. Рассмотрены особенности реализации предложенной альтернативной системы отношений субъектов в условиях реформированной электроэнергетики. Показано, что эта система обладает существенными преимуществами перед существующей нормативно-административной системой и потенциально может решить проблему надежности в электроэнергетике за счет экономического стимулирования субъектов электроэнергетического рынка, справедливого и взаимовыгодного распределения прав и ответственности между всеми субъектами.

Выводы: Предварительные результаты исследования предложенного альтернативного подхода свидетельствуют о его высокой эффективности и потенциальной применимости в организации саморегулируемых взаимоотношений между субъектами электроэнергетического рынка по обеспечению надежности.

Ключевые слова: электроэнергетика, электроснабжение, надежность, субъекты рынка.

Systems of organization of relations between electric power companies for ensuring power supply reliability

B.V. Papkov, M.V. Sharygin
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev (NSTU),
Nizhny Novgorod, Russian Federation
E-mail: sharygin.m.v@gmail.com

Abstract

Background: The existing system of organizing the relations between electric power companies in Russia transformed into a unified regulatory administrative system cannot provide power supply reliability required by consumers as it is unable to set up the necessary level and limits of market entities' responsibility in case of blackouts.

Materials and methods: The paper suggests an alternative approach to the organization of relations between power companies based on the system analysis of consumers' production systems applying the methods of modeling, decomposition and aggregation of load nodes.

Results: The authors analyze the existing systems of relations between electric power companies including the alternative approach, taking into account consumers' economic interests, in terms of their ability to ensure power supply reliability. The balance of interests is maintained by an additional voluntary mutually advantageous agreement. The paper considers implementation specifics of the suggested alternative relations system in the reformed electrical power industry. It is shown that the proposed approach has significant advantages over the existing regulatory administrative system and can potentially resolve the reliability problem in electric power industry through economic stimulation of electric power entities and fair, mutually advantageous distribution of rights and responsibilities between all the companies involved.

Conclusions: The preliminary results of studying the suggested approach prove its high efficiency and potential applicability to the process of organization of self-regulating relations between electric power market entities in security provision.

Key words: electric power industry, power supply, reliability, market entities.

Введение. Проблема обеспечения надежности электроснабжения потребителей

представляется в современных условиях в виде нескольких задач-вопросов:

1) какой уровень надежности конкретному потребителю необходим;

2) за счет каких технических и организационных мероприятий можно обеспечить требуемый потребителю уровень надежности;

3) кто оплачивает мероприятия по обеспечению надежности;

4) кто несет материальную ответственность за нарушения электроснабжения.

На сегодняшний день разработано большое количество предложений по решению второй задачи, но не существует универсальных и оптимальных решений остальных. Хорошая проработка второй задачи создает иллюзию простоты решения проблемы. Для получения требуемого или заданного уровня надежности R недостаточно реализовать несколько мероприятий. Без должного комплексного организационного и экономического решения остальных задач невозможны ни регулярная реализация мероприятий, ни поддержание достигнутого уровня надежности электроснабжения.

Известно, что проблема надежности электроснабжения экономическая [1]: затраты на надежность (усиление и модернизация сети, строительство и ввод новых мощностей) несут энергокомпании, а эффект возникает у конечных потребителей. Интересы энергокомпаний и потребителей не сбалансированы, вследствие чего и возникает проблема надежности энергоснабжения. Отношения между потребителем и энергокомпанией таковы, что у последней полностью отсутствует мотивация к увеличению затрат на надежность, а потребитель практически не может влиять на энергокомпанию.

Рассмотрим существующие системы организации отношений субъектов электроэнергетики по обеспечению надежности электроснабжения потребителей (рис. 1).

Нормативно-административная система отношений субъектов. Одним из основных подходов к решению проблемы надежности электроснабжения считается нормативно-административный [2].

Подход основан на аксиоматическом предположении, что потребителям необходим

определенный уровень надежности, который должна обеспечить энергосистема, состоящая из множества субъектов. Для этого вводится контроль уровня надежности, и в случае его снижения с энергокомпаний взимаются штрафы, а потребители обязаны оплатить надежность по соответствующей тарифной системе.

Несмотря на простоту идеи, внедрение нормативно-административного подхода затрудняется рядом принципиально нерешенных проблем:

1. Не определены границы ответственности за надежность электроснабжения: а) зоны ответственности энергокомпаний; б) объемы ответственности – значения параметров надежности, в пределах которых энергокомпания не несет ответственности даже в случае факта отказа.

2. Не определены требуемый уровень надежности и обоснованная цена для предъявления ее потребителям, а также справедливое распределение средств, полученных от потребителей, по субъектам электроэнергетического рынка в соответствии с их реальным вкладом в обеспечение уровня надежности.

Наиболее остро эти вопросы встали в период разделения отрасли. При этом занижение цен на услуги энергокомпаний может привести к их банкротству (в пределе), а завышение – к банкротству потребителей.

Неотъемлемыми признаками нормативно-административного подхода являются: государственный контроль за отраслью; расчет усредненных тарифов; использование удельных показателей ущербов, различных корректирующих коэффициентов. Это лишь замедляет снижение надежности и рост цен, но не может решить проблему в целом в силу ряда недостатков этого подхода:

– отсутствие мотивации энергокомпаний к увеличению надежности;

– отсутствие гибкости системы, невозможность удовлетворить множество различных индивидуальных запросов субъектов рынка по надежности их электроснабжения, в том числе, учесть динамику таких запросов;

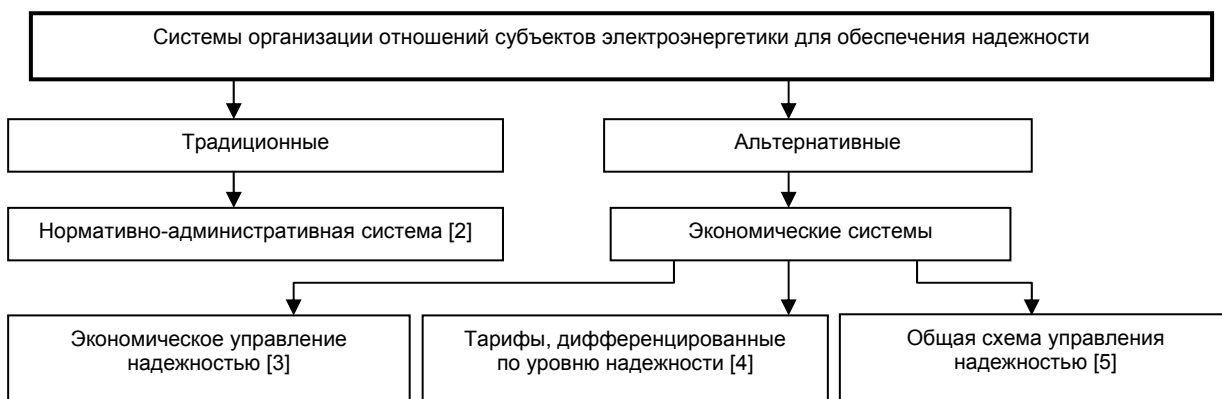


Рис. 1. Классификация систем организации отношений субъектов электроэнергетики для обеспечения надежности

– неоптимальное распределение ресурсов внутри отрасли из-за усреднения требований, следствием чего является нарушение принципа взаимовыгодности функционирования субъектов рынка электроэнергии.

В силу очевидности недостатков такого подхода, всегда признавалась необходимость создания более эффективных систем взаимоотношений для управления уровнем надежности (рис. 1). Это было заявлено во многих научных работах и выражено законодательно¹. Однако пока нормативно-административный подход является единственной основой, на которой возможно объединение усилий субъектов рынка по обеспечению надежности электроснабжения, что в целом гарантирует ее минимальный уровень, несмотря на различие интересов субъектов.

Альтернативные системы отношений субъектов. В качестве альтернативной основы системы взаимоотношений субъектов по обеспечению надежности энергоснабжения во всех известных работах выбираются экономические принципы [3–8], что соответствует природе проблемы. Идеи различных предложений практически одинаковы, однако в их реализации имеются значительные расхождения. Рассмотрим основные принципы предлагаемой альтернативной системы [5].

Если потребитель чувствителен к нарушениям электроснабжения, он отчисляет денежные средства T энергокомпании, которая определяет уровень надежности. Получив эти средства, энергокомпания обязуется выплачивать данному потребителю компенсации в размере B при нарушениях электроснабжения. Причем величина T пропорциональна B . Размер средств T потребитель определяет самостоятельно, зная, что чем больше он заплатит энергокомпании, тем большую компенсацию сможет получить при внезапном нарушении электроснабжения. При этом энергокомпания становится выгодно повышать надежность энергоснабжения такого потребителя, поскольку только в этом случае она получит прибыль ($Pr = T - B$).

Рассмотрим последовательность реализации универсальной альтернативной системы отношений субъектов энергетики [5].

Отношения по обеспечению надежности энергоснабжения между каждым конечным потребителем и энергокомпанией, с которой потребитель имеет технологическую связь (с сетевой организацией), предлагается рассматривать как дополнительный независимый «слой» к существующим отношениям, выражаемый в виде дополнительного добровольно заключаемого (для потребителя) двустороннего договора на периоде времени Δt – «договор по обеспечению надежности». Конечные потреби-

тели при этом будут выступать как потребители надежности, а энергокомпании – как ее поставщики.

1. Перед заключением договора потребитель самостоятельно определяет желаемые размеры денежной компенсации B при единичных прогнозных случаях отказа электроснабжения в зависимости от ряда существенных для него параметров отказа Π : $B = F_B(\Pi)$. В течение периода действия договора Δt функционал F_B остается неизменным.

С помощью F_B потребитель заявляет свои индивидуальные требования к энергокомпаниям в явном виде. Зная F_B , энергокомпании могут планировать уровни надежности в точках питания потребителей и вырабатывать мероприятия по управлению надежностью.

В качестве параметров отказа электроснабжения Π , имеющих значение для потребителя, могут быть приняты: время начала отказа точки питания (год, месяц, день, час); длительность отказа $\Delta t_{\text{отказ}}$ (мин); заблаговременность предупреждения об отключении или ограничении; состояние других возможных точек питания потребителя, а также состояние производственного процесса в течение нарушения электроснабжения. В данном случае под точками питания потребителя понимаются границы балансовой принадлежности между энергокомпанией и потребителем.

В общем случае функционал F_B является многомерным, причем число его измерений равно количеству параметров отказа точки питания, существенных для данного потребителя, а наличие n -точек питания дополнительно увеличивает количество измерений в n раз. Кроме того, функционал F_B имеет вероятностный характер, поскольку компенсация B является прогнозной величиной. При этом каждому сочетанию параметров отказа соответствует свой закон распределения B .

Для определения функционала F_B могут быть использованы известные агрегативные микромоделли производственных систем, позволяющие определить объем разрушения производственного процесса при отказах [1]. С помощью метода статистических испытаний на этих моделях можно определить законы распределения B с требуемой погрешностью либо оценить ее детерминированные значения. Для перехода к детерминированной оценке B используется математическое ожидание, или мода. В простейшем случае функционал F_B может быть организован приближенными методами, например сеточной функцией. Для этого рассчитываются конкретные значения B в узлах сеточной функции – заданных параметрах отказа. Промежуточные значения B находятся с помощью аппроксимации.

2. Потребитель производит расчет выплаты T энергокомпании, необходимой для обеспечения безубыточности ее деятельности.

¹ Федеральный закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».

Выплата T определяется исходя из условия баланса прогнозных величин T и суммы компенсаций B_{Σ} в паре «потребитель–поставщик» в течение будущего расчетного периода Δt при уровне надежности R , равном базовому R_B :

$$T = B_{\Sigma},$$

где $B_{\Sigma} = F_{B_{\Sigma}}(B, R_B)$.

Базовый уровень R_B – минимально гарантированный уровень надежности, исходя из факта подключения потребителя, его платы за электроэнергию по существующей тарифной системе, сложившейся практики эксплуатации и норм проектирования энергообъектов. Он задается и в детерминированных, и в вероятностных параметрах отказа.

Число используемых параметров R_B определяется количеством параметров отказа, к которым «чувствительно» производство данного потребителя (ненулевой функционал F_B). Определение $F_{B_{\Sigma}}$ в общем случае может быть получено методом статистических испытаний на модели точек питания потребителя при известных зависимостях B .

3. Если величина выплаты T удовлетворяет потребителя, то заключается договор между ним и поставщиком на будущий расчетный период Δt . Поставщик не может отказаться от заключения договора, поскольку он будет для него, как минимум, безубыточным при условии выполнения им своих функций, а с увеличением уровня надежности энергоснабжения потребителя – прибыльным [5].

Далее энергокомпания–поставщик надежности производит оценку планов внедрения мероприятий по управлению надежностью энергоснабжения конкретного потребителя. Для этого определяются варианты сочетаний мероприятий M и повариантно рассчитываются: затраты на их внедрение Z_M , прогнозные значения фактического уровня надежности R_M , прогнозные значения фактических компенсаций $B_{\Sigma, M}$. По результатам этих оценок поставщик принимает следующие решения: если управление экономически не эффективно ($\forall M Z_M > T$), то нет смысла менять имеющийся уровень надежности, и выплаты T тратятся только на компенсации B при нарушениях электроснабжения в течение Δt ; если управление экономически эффективно, то планируются мероприятия $M_{\text{опт}}$, оптимальные для этого потребителя.

После заключения договора поставщик, получив денежные выплаты от потребителя T на период Δt , внедряет мероприятия $M_{\text{опт}}$. В случае факта отказа системы электроснабжения потребителя поставщик выплачивает ему компенсацию B , размер которой находится по заданному в договоре функционалу F_B в зависимости от параметров отказа.

Реализация альтернативного подхода в условиях реформированной электроэнергетики. В современных условиях надежность электроснабжения конечных потребителей обеспечивается не одной энергокомпанией, как раньше (АО-энерго), а множеством разнопрофильных энергокомпаний. Возникает вопрос, как в рамках альтернативного подхода организовать распределение выплат за надежность T по отдельным энергокомпаниям и компенсаций B от энергокомпаний отдельным потребителям. Справедливое и взаимовыгодное распределение B и T выполняется на основе рассмотренной системы отношений пары «потребитель надежности – поставщик»: все многообразие отношений субъектов электроэнергетики сводится к таким парам, и каждая пара может заключить договор обеспечения надежности (рис. 2).

Территориальная сетевая организация (ТСО), установив свою ответственность перед потребителями (по зависимостям B) и определив параметры надежности своей сети и внутренние резервы, может заключить договора с сетевыми организациями, по отношению к которым сама является потребителем надежности (рис. 2). Этими договорами ТСО транслируют заявку на надежность от конечных потребителей в МРСК и МЭС с учетом собственного влияния на надежность. Аналогично договора заключаются между связанными сетевыми организациями вплоть до генерирующей компании. Так в масштабе всей электроэнергетики возникнет система взаимосвязанных договоров, стимулирующая энергокомпаний к обеспечению надежности конечных потребителей, оплативших такое управление.

Некоторые особенности альтернативного подхода. Достоинствами предлагаемого подхода являются:

– создание рычагов управления надежностью энергоснабжения с учетом индивидуальных условий потребителя. Управление надежностью энергоснабжения конкретного потребителя выполняется в «заказанном» им объеме с учетом реальных затрат и возможностей системы энергокомпаний;

– естественность распределения ответственности за обеспечение надежности энергоснабжения и платы за нее. Средства T , полученные от потребителей, направляются только тем энергокомпаниям, которые действительно влияют на надежность электроснабжения. Все выплаты T распределяются сетевыми компаниями самого низкого уровня (ТСО), поскольку их влияние на надежность потребителей максимально. Эти же энергокомпании несут полную ответственность за отказы электроснабжения;

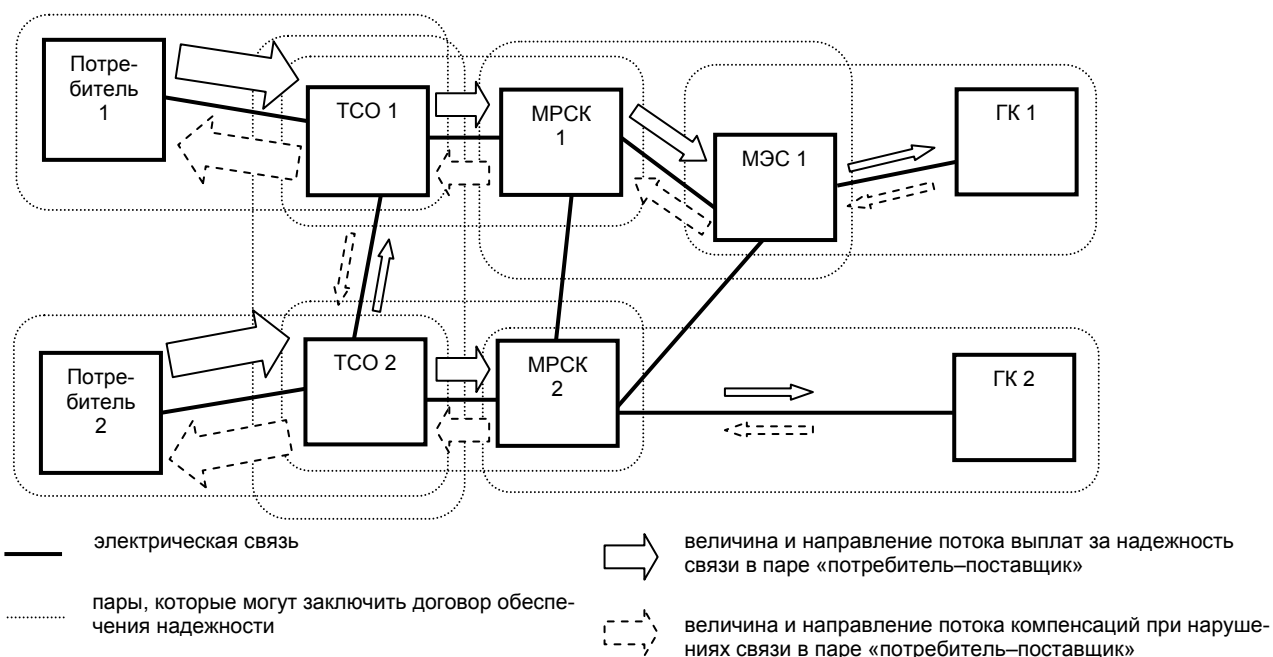


Рис. 2. Схема взаимодействия субъектов электроэнергетики в виде пар «потребитель-поставщик» при произвольных технологических связях: ТСО – территориальная сетевая организация; МРСК – межрегиональная распределительная сетевая компания; МЭС – магистральные электрические сети; ГК – генерирующая компания

– экономическое поощрение за эффективное расходование средств T , полученных от потребителей на управление надежностью. Размер прибыли каждой энергокомпании находится в прямой зависимости от фактического уровня надежности энергоснабжения ее потребителей, что стимулирует принятие эффективных решений по распределению выплат от потребителей самостоятельно, без участия контрольных и регулирующих органов;

– экономическое поощрение за справедливое распределение выплат и компенсаций. Энергокомпания не может оставить себе все выплаты T , если является потребителем надежности другой энергокомпании, что стимулирует справедливое распределение средств – пропорционально реальному вкладу в обеспечение надежности конечного потребителя;

– саморегулируемость отношений энергокомпаний. Предложенный подход стимулирует все энергокомпании к принятию решений, обеспечивающих «заказанную» их потребителями надежность. В результате деятельность энергокомпаний становится взаимовыгодной, солидарной;

– децентрализованность – отсутствие единого органа, ответственного за надежность. Внутри каждой пары «потребитель – поставщик» требования к компенсации определяются на условиях потребителя. Решение по распределению выплат T каждая энергокомпания принимает самостоятельно, поскольку только она определяет свои резервы и наилучшим образом формирует требования к смежным субъектам.

Широкое внедрение альтернативного подхода может потребовать проведения дополнительных исследований возможностей реализации организационных и режимных мероприятий по оптимизации надежности электроснабжения потребителей.

Список литературы

1. Папков Б.В. Надежность и эффективность электроснабжения. – Н.Новгород: НГТУ, 1996. – 212 с.
2. Беляев Л.С., Большаков И.Э. Необходимость возобновления государственного регулирования в электроэнергетике России // Энергетик. – 2011. – № 7. – С. 2–7.
3. Китушин В.Г. Проблема надежности электроснабжения: анализ причин и подход к решению // Энерго Рынок. – 2005. – № 9. – С. 29–41.
4. Фраер И.В., Эдельман В.И. Формирование и пути внедрения дифференцированного по надежности тарифа на услуги по передаче электроэнергии в ЕНЭС // Энергетик. – 2009. – № 9. – С. 1–6.
5. Папков Б.В., Шарыгин М.В. Подход к построению взаимоотношений субъектов электроэнергетики для управления надежностью электроснабжения // Энергетик. – 2012. – № 4. – С. 12–14.
6. Кучеров Ю.Н., Китушин В.Г. Реформирование и надежность электроснабжения // Энерго Рынок. – 2005. – № 1.
7. Эдельман В.И., Фраер И.В. Экономические нормативно-правовые механизмы обеспечения надежности реформирования электроэнергетики // Энергетик. – 2011. – Вып. 3.
8. Воропай Н.И. Надежность систем электроснабжения. – Новосибирск: Наука, 2006. – 205 с.

References

1. Papkov, B.V. *Nadezhnost' i effektivnost' elektrosnabzheniya* [Reliability and efficiency of power supply]. Nizhniy Novgorod, NGTU, 1996. 212 p.
2. Belyaev, L.S., Bol'shakov, I.E. *Energetik*, 2011, no. 7, pp. 2–7.

3. Kitushin, V.G. *Energo Rynok*, 2005, no. 9, pp. 29–41.
4. Fraer, I.V., Edel'man, V.I. *Energetik*, 2009, no. 9, pp. 1–6.
5. Papkov, B.V., Sharygin, M.V. *Energetik*, 2012, no. 4, pp. 12–14.
6. Kucherov, Yu.N., Kitushin, V.G. *Energo Rynok*, 2005, no. 1, pp. 40–47.

7. Edel'man, V.I., Fraer, I.V. *Energetik*, 2011, issue 3, pp. 2–9.
8. Voropay, N.I. *Nadezhnost' sistem elektrosnabzheniya* [Reliability of power supply systems]. Novosibirsk, Nauka, 2006. 205 p.

Папков Борис Васильевич,

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева,
доктор технических наук, профессор,
телефон (831) 436-23-04.

Шарыгин Михаил Валерьевич,

Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева,
кандидат технических наук, доцент,
телефон (831) 436-23-04,
e-mail: sharygin.m.v@gmail.com