

УДК 621.316.3

Б.В. Папков, М.В. Шарыгин

**АНАЛИЗ СИСТЕМ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ СУБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
С ЦЕЛЮ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ НАДЕЖНОСТИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Наблюдающаяся тенденция снижения уровня надежности электроснабжения при одновременном увеличении ущербов потребителей и росте тарифов на электроэнергию приводит к необходимости изменения механизма управления надежностью. В работе анализируются различные системы взаимоотношений субъектов электроэнергетики с целью выработки рекомендаций по управлению уровнем надежности электроснабжения потребителей.

*Ключевые слова:* электроэнергетика, взаимоотношения субъектов рынка электроэнергии, надежность электроснабжения, анализ, управление.

**Введение**

Проблема организации управления уровнем надёжности электроснабжения возникает в основном по экономическим причинам: затраты на поддержание или увеличение надежности (усиление и модернизация электрической сети, строительство и ввод новых мощностей) несет энергокомпания, а ущерб от отказов элементов электроэнергетической системы (ЭЭС) главным образом возникает у конечного потребителя вследствие нарушения электроснабжения технологического процесса производства. При этом потребитель и энергокомпания жестко связаны электрической сетью, что на современной стадии развития ЭЭС практически не позволяет смену поставщика услуги. Ущерб от нарушения электроснабжения обратнозависим от затрат на надежность и в значительной степени ими определяется.

В настоящее время отношения между потребителем и энергокомпанией таковы, что у энергокомпании отсутствует мотивация к увеличению затрат на надежность, а потребитель практически не может на них влиять. В этой связи задачу оптимизации уровня надежности можно представить в виде нескольких подзадач:

- 1) какой уровень надежности необходимо обеспечить;
- 2) за счет каких мероприятий можно обеспечить требуемый потребителю уровень надежности;
- 3) кто оплачивает мероприятия по обеспечению надежности;
- 4) кто несет ответственность за нарушения электроснабжения вследствие несоблюдения договорных условий.

Сегодня существует острый дефицит решений первой, третьей, четвертой задач и, одновременно множество предложений по решению второй задачи. Её достаточно хорошая проработка создаёт иллюзию простоты решения проблемы надежности. Полагают, что достаточно реализовать несколько технических мероприятий и будет получен уровень надежности с заданным значением  $R$ . Однако любые мероприятия невозможно реализовать до тех пор, пока не будут определены четкие варианты решений трех других задач.

Указанным перекосом можно объяснить длительное существование самой проблемы надежности и ее существенное обострение при переходе к рыночной электроэнергетике. Мощный, хорошо развитый и известный математический аппарат теории направлен на техническое обеспечение структурной и элементной надежности ЭЭС и системы электроснабжения. По этой причине большинство предлагаемых решений нацелены на обеспечение существующего и (или) договорного уровня надежности в чисто техническом плане, без должной комплексной организационной и экономической проработки.

### 1. «Нормативные» (административные) системы взаимоотношений

В настоящее время одним из основных подходов к решению проблемы надежности считается «нормативный» [2] (рис. 1).

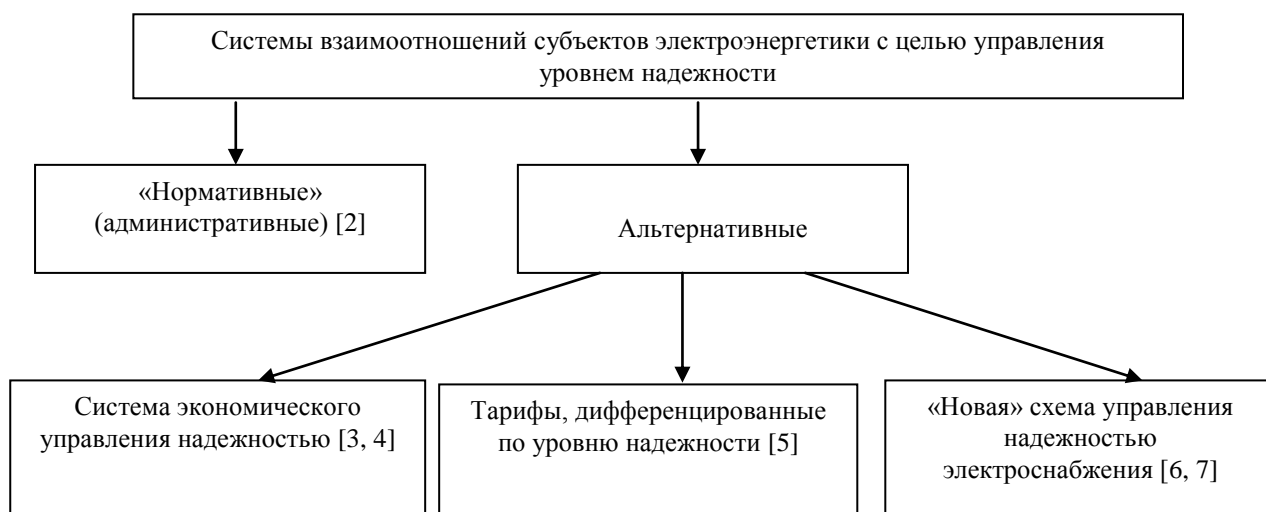


Рис. 1

Его основными признаками являются:

- признание необходимости внешних органов регулирования и надзора за отраслью (как правило, со стороны государства);
- строгая регламентация прав, обязанностей, нормативов, затрат, продолжительности и других параметров деятельности для всех субъектов электроэнергетики.

Считается [2], что потребителю «необходим» определенный уровень надежности, который должна обеспечить энергокомпания. Поэтому ведется контроль и оценка надежности для наложения штрафов в случае снижения надежности, а потребитель должен оплатить надежность по цене, которую ему предлагает энергокомпания. Фактически этот подход означает, что потребитель замещается определенными требованиями к уровню надежности, что не является эквивалентной заменой.

Внедрение такого подхода наталкивается на ряд взаимосвязанных и до сих пор нерешенных вопросов.

1) выявление и обоснование границы ответственности за надежность, которая определяется двумя показателями:

- значением параметров надежности, в пределах которых данная энергокомпания не несет ответственности (даже в случае факта аварии), поскольку надежность технических систем не может быть абсолютной по объективным причинам;
- зоной ответственности энергокомпаний за результирующую надежность, т.е. степенью «виновности» энергокомпаний в факте аварии или ее каскадного развития. Эта часть проблемы наиболее остро стала ощущаться в период разделения отрасли и тоже пока не решена;

2) определение истинной цены надежности и возможности ее справедливого распределения по субъектам электроэнергетического рынка. При этом занижение цены может привести к банкротству энергокомпаний, а завышение (в пределах) – к банкротству потребителей;

3) оценка объективной величины ущерба потребителей от нарушений электроснабжения. Занижение его может привести к банкротству потребителей, а завышение – к росту цены надежности.

Глобальность и размерность этих задач, сложность их решения приводит к необходимости государственного контроля за отраслью, «ручного управления» процессами, расчета

усредненных тарифов, использование удельных показателей ущербов, различных корректирующих коэффициентов и прочих временных решений. В таких условиях попытки управлять уровнем надежности не могут решить проблему в целом и лишь замедляют снижение уровня надёжности и рост цены на неё.

В целом, нормативный подход потенциально имеет следующие взаимосвязанные недостатки:

- отсутствие гибкости, невозможность удовлетворить множество различных индивидуальных запросов субъектов рынка по надежности их электроснабжения, в том числе и динамику таких запросов;
- неоптимальное перераспределение ресурсов внутри отрасли из-за усредненности требований, в существующих нормах и правилах, следствием чего является нарушение принципа взаимовыгодности функционирования субъектов рынка электроэнергетики;
- мотивация энергокомпаний к увеличению надежности может быть создана только под угрозой штрафов;
- отсутствие мер по созданию мотивации потребителей к вложению средств на надежность электроснабжения.

Поскольку недостатки нормативного подхода очевидны, всегда признавалась необходимость создания более эффективных альтернативных систем взаимоотношений для управления уровнем надежности (рис. 1). Это положение было заявлено во многих профильных научных работах, выражено законодательно [1] и отмечено в программном документе РАО «ЕЭС России» – Концепции обеспечения надежности в электроэнергетике. Следует отметить, что нормативный подход до сих пор является единственной основой, на которой возможно объединение усилий независимых хозяйствующих субъектов по обеспечению надежности технологического процесса производства и системы его электроснабжения, что в целом гарантирует надежность несмотря на различие экономических интересов субъектов рынка. Именно это свойство универсальности нормативного подхода является одним из его главных достоинств.

## **2. Альтернативные системы взаимоотношений**

В качестве основы системы взаимоотношений рядом документов предусматриваются экономические рыночные принципы: «использование рыночных отношений и конкуренции в качестве одного из основных инструментов формирования устойчивой системы удовлетворения спроса на электрическую энергию при условии обеспечения надлежащего качества и минимизации стоимости электрической энергии» [1]. Основными направлениями реализации экономического управления надежностью электроснабжения потребителей являются:

- разработка системы дифференцированных по уровню надежности тарифов (цен) на электроэнергию как долговременного фактора, обеспечивающего «мягкое» регулирование показателей надежности электроснабжения на основе сбалансированности интересов субъектов хозяйствования;
- экономическая поддержка оперативных мероприятий по регулированию режима ЭЭС и потребителей в интересах обеспечения надежности;
- разработка механизма взаимной экономической ответственности энергоснабжающих организаций и потребителей электрической энергии за соблюдение договорных (нормативных) требований по обеспечению надежного электроснабжения;
- разработка и внедрение системы страхования ущербов потребителей, вызванных нерасчетными условиями функционирования ЭЭС;
- исследование возможностей управления спросом при внезапных и плановых возникновениях дефицитов мощности в ЭЭС;
- стимулирование инвестиций на повышение надежности.

Однако к настоящему времени практически все перечисленные направления развиты недостаточно полно.

В последние годы рядом научных коллективов были даны предложения по измене-

нию системы взаимоотношений субъектов электроэнергетики для реализации экономических принципов [3–7]. Основная идея этих предложений практически одинакова, однако в деталях имеются значительные расхождения. Смысл этих предложений заключается в следующем.

Если потребитель чувствителен к нарушениям своего электроснабжения, то он выплачивает денежные средства  $A$  энергокомпании, которая определяет надежность его электроснабжения (рис. 2). Получив эти средства энергокомпания обязуется выплачивать данному потребителю компенсации в размере  $B$  в случае нарушения его электроснабжения. Причем величина  $A$  пропорциональна величине  $B$ . Размер средств  $A$  потребитель определяет самостоятельно, зная, что чем он больше заплатит энергокомпании, тем большую компенсацию он сможет получить в случае внезапного нарушения электроснабжения.

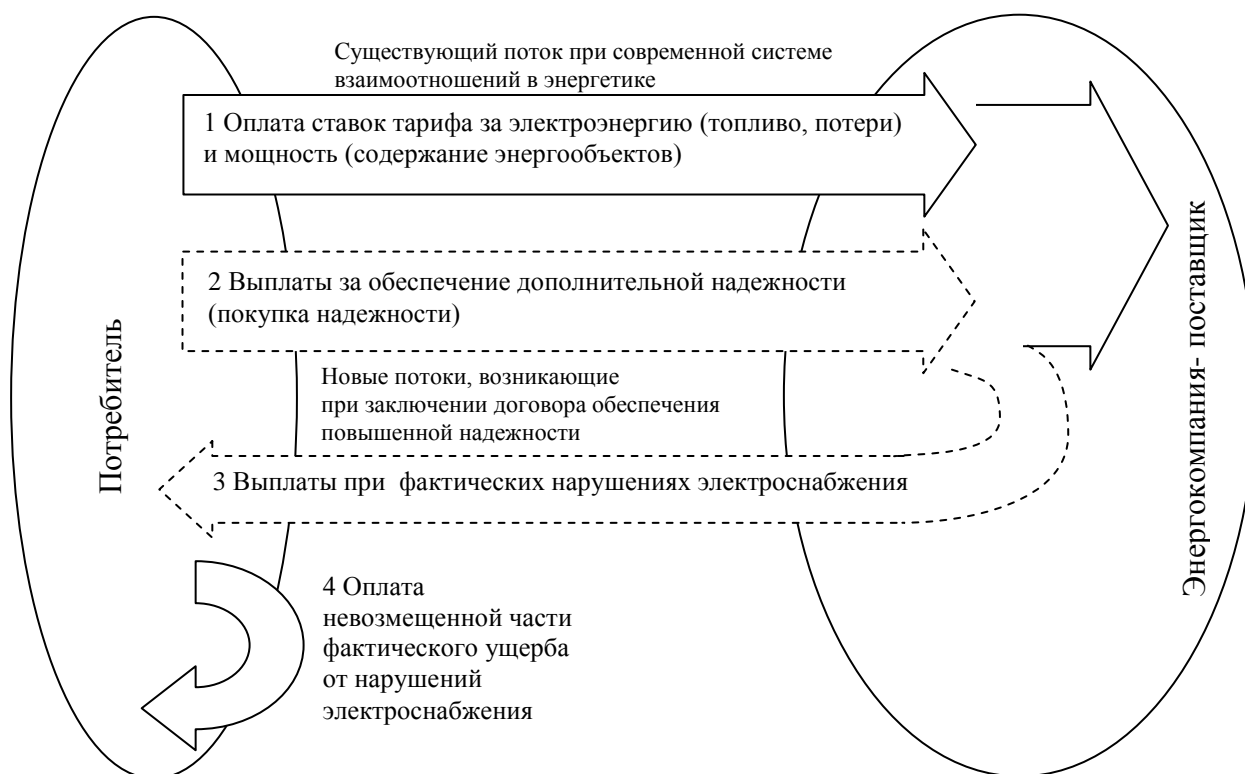


Рис. 2

Эта идея содержит в себе множество потенциальных достоинств.

Общие достоинства:

- стимулирование повышения надежности электроснабжения производится рыночным методом, что взаимовыгодно для всех участников рынка, а значит можно ожидать реального роста надежности;
- вносится ясность в управление надежностью и конкретизируются цели этого управления; справедливо и взаимовыгодно распределяются права и ответственность вовлеченных в управление субъектов электроэнергетического рынка;
- снимается множество методических и организационных вопросов управления надежностью: не требуется создания множества контрольных и надзорных органов, не требуется разработки методик расчета стоимости надежности и ущербов;
- ожидается высокий экономический эффект не только у отдельных потребителей и энергокомпаний, но и в целом по отрасли, поскольку стимулируется снижение рисков нарушения электроснабжения и, следовательно, снижение непроизводительных затрат материальных и трудовых ресурсов.

Достоинства с точки зрения потребителей:

- потребитель получает экономическую защиту от нарушения электроснабжения, как

минимум – по причине гарантированной оплаты заявленного им ущерба, как максимум – из-за реального увеличения надежности своего электроснабжения;

- достигается адресность повышения надежности, поскольку каждый потребитель сможет иметь ту надежность, которая ему выгодна, и на индивидуальных условиях, учитывающих особенности процесса производства;
- от потребителей не требуется единовременных крупных вложений на капитальное строительство объектов ЭЭС.

Достоинства с точки зрения энергокомпаний:

- энергокомпании получают дополнительные денежные средства от потребителей без повышения основных ставок тарифа за электроэнергию;
- четко видна ответственность энергокомпаний за нарушения электроснабжения потребителей, благодаря чему появляется основа для конкретного планирования и внедрения мероприятий по изменению надежности и оптимизации питающей сети;
- естественным образом произойдет самопроизвольное и практически беззатратное выделение ответственных потребителей: появляется возможность управления нагрузкой и увеличения надежности ответственных потребителей за счет неответственных на договорной основе с минимальными экономическими потерями.

Вместе с тем, реализация экономических принципов управления надёжностью имеет и недостатки, основными из которых являются:

- дополнительные организационные механизмы для реализации предлагаемой системы взаимоотношений в условиях разделенной рыночными преобразованиями последних лет электроэнергетики;
- дополнительные механизмы для выхода на оптимальные уровни выплат (равновесие Нэша), когда отклонение от этих уровней невыгодно ни потребителям, ни энергокомпаниям-поставщикам;
- неясно, что именно необходимо выбрать в качестве опорного (базового) уровня надежности, относительно которого рассчитывается баланс денежных средств, циркулирующих между потребителем и энергокомпанией-поставщиком;
- неясна конкретная форма реализации идеи – техническая, организационная, методическая и др. В том числе и взаимоувязка с уже существующими отношениями в электроэнергетике;
- при реализации идеи потенциально может быть и снижение уровня надежности, если потребители не выразят желания вступать в эти отношения.

Общая характеристика предложений по построению системы взаимоотношений субъектов электроэнергетики [3–7] приведена далее.

**1.1.** В [3, 4] впервые было отмечено, что все функции по координации надежности и распределению средств возлагаются на системного оператора, как субъекта, ответственного за надежность. Это означает, что системный оператор вступает в договорные отношения со всеми остальными субъектами рынка, аккумулирует средства на надежность от потребителей и использует эти ресурсы для оптимизации уровней надежности и оплаты ущерба потребителям в случае нарушений электроснабжения.

Основной проблемой реализации описанной системы является отсутствие механизма справедливого и взаимовыгодного распределения средств по сетевым и генерирующим компаниям. Представляется невозможным создание такого механизма ввиду того, что он принципиально не создает условий для выявления истинной цены надежности и ее справедливого распределения по субъектам рынка. Системный оператор является сторонним субъектом по отношению к сетевым и генерирующим компаниям, а им, в данном случае, выгодно завышать цену своей надежности.

**2.2.** В работе [5] предложены принципы разработки дифференцированного по надежности тарифа на услуги по передаче электроэнергии в единой национальной электрической сети (ЕНЭС), приведены численные примеры расчетов ставок тарифа, что говорит о достаточно высокой степени завершенности предлагаемых методов управления надёжностью.

Однако детальный анализ предложений [5] выявил некоторые недостатки, суть которых заключается в следующем:

- компенсация потребителям рассчитывается только по одному параметру – недоотпуску электроэнергии со стороны ЭЭС. Остальные параметры нарушения электроснабжения (частота, длительность, изменение показателей качества) не учитываются. Это существенно снижает эффективность предложенной системы тарифов, поскольку реальный ущерб потребителей зависит также от: факта внезапности отключения, заблаговременности предупреждения об отключении и длительности отключения, глубины отключения, порядка отключения / включения электроприёмников потребителей и множества других факторов;
- предполагается установление ограниченного числа дискретных ставок тарифного меню, что существенно ухудшает гибкость системы взаимоотношений потребителя и энергокомпании, затрудняя выбор тарифа;
- предусматривается деление всех потребителей по надежности на три категории. Выплаты и компенсации каждому потребителю балансируются относительно уровня, определяемого его категорией. Стимулирование увеличения надежности производится главным образом для низших по её уровню потребителей 2 и 3 категории, поскольку для них увеличение надежности можно осуществить гораздо проще и менее затратно. Следовательно, разница между выплатами и компенсациями будет максимальной;
- долговременность действия соглашения о выбранном потребителем тарифном плане предусматривается в течение трёх-пяти лет. Однако затягивание срока действия до нескольких лет нежелательно, поскольку это препятствует установлению взаимовыгодных отношений между субъектами рынка из-за «старения» параметров этих отношений;
- не ясно, как формировать тарифное меню для территориальных сетевых организаций (ТСО) со стороны ЕНЭС с целью взаимовыгодного распределения средств, полученных от потребителей, между ТСО и ЕНЭС. Отсутствие баланса интересов ТСО и ЕНЭС может привести к ситуации, когда возмещение ущерба будет переложено на ТСО. Это, естественно, может привести к банкротству ТСО, появлению бесхозных сетей и дальнейшему снижению уровня надежности конечных потребителей электроэнергии.

**2.3.** В работах [6, 7] приведено описание общей идеи системы взаимоотношений, перечислены ее достоинства и недостатки, приведены примеры реализации предлагаемой системы. Основными отличиями предложенной в этих работах системы взаимоотношений являются:

- выделение элементарных самодостаточных пар субъектов типа «потребитель – энергокомпания (поставщик)», связанных между собой технологической связью. Субъекты внутри пары устанавливают между собой отношения по управлению надежностью, например: конечный потребитель электроэнергии – (ТСО), ТСО – ТСО, ТСО – межрегиональная распределительная сетевая компания (МРСК), МРСК – магистральные электрические сети (МЭС), генерирующая компания – МЭС и так далее. Тем самым в процесс управления надежностью вовлекаются все заинтересованные субъекты электроэнергетики; взаимовыгодно распределяются средства, полученные от конечного потребителя электроэнергии по всем субъектам электроэнергетики, от которых зависит надежность этого потребителя: от местных ТСО до МЭС и генерирующих компаний;
- предполагается использование единого базового уровня надежности для всех конечных потребителей. Равные исходные условия по надежности позволят выделить потребителей, действительно нуждающихся в повышенном уровне надежности и готовых за него платить вне зависимости от их фактической категории надежности;
- в качестве контролируемых параметров надежности могут быть приняты любые параметры, которые важны для конкретного потребителя (а не только недоотпуск), причем в любом сочетании и для любого количества точек питания потребителя;
- обеспечивается взаимовыгодная технико-экономическая стабильность потребителей и энергокомпаний по связи электроснабжения, а не достижение некоторого уровня надежности электроснабжения. Под технико-экономической стабильностью предприятия здесь понимается способность предприятия сколь угодно продолжительно функционировать с нормаль-

ными плановыми технико-экономическими характеристиками даже при возникновении заданных возмущений параметров функционирования.

Вместе и эта система имеет ряд недостатков:

- отсутствует полноценный анализ и исследование эффективности предложенной системы взаимоотношений;
- отсутствуют принципы выбора опорного уровня надежности, относительно которого рассчитывается баланс денежных средств, циркулирующих между потребителем и энергокомпанией-поставщиком;
- требуются дополнительные механизмы для выхода на оптимальные уровни выплат (анализ равновесия Нэша);
- неясна конкретная форма увязки предлагаемых мероприятий с уже существующими отношениями в электроэнергетике.

### **3. Зарубежные исследования системы взаимоотношений субъектов электроэнергетики для управления надёжностью**

Отметим, что рыночные отношения в электроэнергетике ряда ведущих стран развивались на более длительном периоде и в условиях, существенно отличающихся от российских. Поэтому и подходы к решению поставленной проблемы далеко не всегда могут быть применимы к электроэнергетике России. Вместе с тем очевидно, что рынки электроэнергии Западной Европы и США также, как и в России, не вписываются в стандартную экономическую теорию по двум причинам: 1) сторона спроса (потребитель) не принимает активного участия в рынке и 2) некоторые особенности стоимостных характеристик производства электроэнергии не соответствуют допущениям, принимаемым в теории конкурентных рынков.

По мнению зарубежных экспертов, серия крупных системных аварий последнего времени произошла из-за несоответствия действующей системы обеспечения надёжности в крупных энергообъединениях новым рыночным условиям. В выводах и заключениях по системным авариям в США и Западной Европе отмечается, что энергообъединениям необходимо разработать эффективные регулирующие и законодательные механизмы для упорядочения рыночных операций по сделкам на поставки электроэнергии.

Ответственность поставщиков электроэнергии перед потребителями определяется в основном соблюдением нормативных показателей надёжности, условиями и размером компенсации недопоставок электроэнергии и мощности, гарантиями оперативного уведомления о плановых ограничениях электропотребления.

В ряде фундаментальных работ, цитируемых в [8], отмечается, что основой политики обеспечения надёжности электроснабжения является величина и продолжительность ценовых пиков, а также инвестиции – важнейшие индикаторы успешного функционирования рынка электроэнергии. Для надёжного функционирования ЭЭС рекомендуется регулировать спрос на некоторый пакет услуг, включающий выработку балансирующей электроэнергии в реальном времени, предоставление оперативных резервов генерации и транспорта, поддержание баланса генерации и спроса. Причём этот спрос должен быть подкреплён соответствующей политикой регулирования цен. Без разработки политики обеспечения надёжности, определяющей спрос на такие услуги, инвестиции в генерирующие мощности и связи будут ниже требуемой величины из-за органических недостатков рынка со стороны спроса.

В качестве рекомендаций по оптимизации взаимоотношений субъектов рынка предлагается проведение системным оператором специальной политики формирования цен, которая исключает недофинансирование строительства новых генерирующих мощностей и снижение надёжности электроснабжения потребителей. В ряде работ предлагаются различные системы управления нагрузкой потребителей при отказах элементов питающей сети и (или) возникновении дефицитов мощности. Однако механизмы подобных предложений не раскрываются, что приводит к необходимости проведения глубоких научных исследований поведения энергокомпаний и потребителей в условиях формирования и развития российского электроэнергетического рынка.

## Выводы

Проблема поддержания необходимого потребителям уровня надежности электроснабжения является одной из основных и с каждым годом становится все острее. Критический анализ системы взаимоотношений субъектов электроэнергетики, проведенный с целью поиска возможностей повышения эффективности управления надежностью при их эксплуатации показал, что имеются предложения по введению нормативной (административной) и альтернативных систем взаимоотношений, основанных на рыночных принципах. Анализ достоинств и недостатков рассмотренных систем позволяет более объективно подойти к принятию решений, обеспечивающих надёжное и эффективное электроснабжение потребителей. Предлагаемый подход, основой которого являются реализация требуемого потребителям уровня надежности электроснабжения на будущий период и обеспечение ответственности энергокомпаний в случае нарушения электроснабжения позволит решить указанные проблемы наиболее простыми и эффективными методами. Правильно спроектированный рынок электроэнергии позволяет учесть специфику электроэнергетической отрасли, не представляет угрозы для надёжности и управляемости энергосистем и создаёт правильные ценовые сигналы для оптимального резервирования агрегатов электростанций и сетевого оборудования, а также привлечения необходимых инвестиций.

## Библиографический список

1. Федеральный закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике»
2. **Беляев, Л.С.** Необходимость возобновления государственного регулирования в электроэнергетике России / Л.С. Беляев, И.Э. Большаков // Энергетик. 2011. №7
3. **Китушин, В.Г.** Проблема надежности электроснабжения: анализ причин и подход к решению // Энерго Рынок. №9. 2005.
4. **Кучеров, Ю.Н.** Реформирование и надежность электроснабжения / Ю.Н. Кучеров, В.Г. Китушин // Энерго Рынок. №1. 2005.
5. **Фраер, И.В.** Формирование и пути внедрения дифференцированного по надежности тарифа на услуги по передаче электроэнергии в ЕНЭС / И.В. Фраер, В.И. Эдельман // Энергетик. 2009. №9.
6. **Папков, Б.В.** Схема стимулирования повышения надежности электроснабжения потребителей / Б.В. Папков, М.В. Шарьгин // Электромеханика: Известия высших учебных заведений. ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск, 2009. Спец. выпуск. С. 56–58.
7. **Папков, Б.В.** Предложения по практической реализации схемы управления надежностью электроснабжения / Б.В. Папков, М.В. Шарьгин // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 61. Проблемы исследования и обеспечения надежности либерализованных систем энергетики. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011. С. 338–344.
8. **Стофт, С.** Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии / С. Стофт. – М.: Мир, 2006. – 623 с.

*Дата поступления  
в редакцию 25.10.2011*

**B.V. Papkov, M.V. Sharygin**

## REVIEW OF RELATIONS OF ELECTRICITY MARKET PARTICIPANTS FOR CONTROL OF RELIABILITY OF ENERGY SUPPLY

Degradation in the level of reliability of energy supply, increase in tariffs indicates the need for change of reliability control mechanism. In this paper makes review of different systems of relationship between electricity market participants for control of reliability of energy supply.

*Key words:* electric power system, relations of electricity market participants, reliability of energy supply, analysis, control.