

# ОТРАСЛЕВЫЕ И МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Для цитирования: Лесных В. В., Тимофеева Т. Б., Петров В. С. Проблемы оценки экономического ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении // Экономика региона. — 2017. — Т. 13, вып. 3. — С. 847-858  
doi 10.17059/2017-3-17  
УДК 338.2 (620.9)

**В. В. Лесных<sup>а, б)</sup>, Т. Б. Тимофеева<sup>в)</sup>, В. С. Петров<sup>а)</sup>**

<sup>а)</sup> ООО «НИИГазэкономика» (Москва, Российская Федерация; e-mail: vvlesnykh@gmail.com),  
ведущий научный сотрудник

<sup>б)</sup> Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики (Москва, Российская Федерация)

<sup>в)</sup> Государственный университет управления (Москва, Российская Федерация)

## ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА, ВЫЗВАННОГО ПЕРЕРЫВАМИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ<sup>1</sup>

*Статья посвящена развитию методов оценки ущерба, вызванного аварийными перерывами в электроснабжении промышленных потребителей. Целью работы являются обоснование структуры прямого и косвенного ущерба и разработка адекватной методики количественной оценки полного ущерба от перерывов в электроснабжении различных групп промышленных потребителей. Выполненный анализ отечественных и зарубежных методических подходов к оценке ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении потребителей, позволил обосновать структуру полного ущерба. Для реализации поставленной цели в статье предложены три методики. Первая основана на использовании нормативного подхода и применяется для подробного расчета составляющих ущерба (прямые потери, социально-экономические потери, экологический ущерб, косвенные потери) применительно к произошедшей аварии. Вторая методика основана на использовании трех групп типовых сценариев последствий аварийного перерыва в электроснабжении. Сценарии сформированы на основе анализа нормативной документации и статистических данных по основным группам промышленных потребителей (на примере газовой отрасли — объекты добычи, транспорта, хранения, переработки и вспомогательные объекты). Третья методика основана на использовании удельных показателей внеплановых затрат с учетом величины отключаемой мощности, длительности перерыва и длительности восстановления электроснабжения. Вторая и третья методики разработаны для прогнозирования ущерба и решения задач обоснования эффективности мероприятий по повышению надежности электроснабжения промышленных потребителей. В статье приведены результаты расчетов величины полного ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении, с использованием разработанных методик на примере объектов газовой отрасли. Сравнение полученных в результате расчета значений с реальными значениями ущербов от произошедших аварий позволяет говорить об адекватности разработанных методик. Адекватный расчет экономического ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении потребителей, позволит повысить обоснованность мероприятий по формированию безопасных и надежных поставок энергоресурсов, что представляет собой фундаментальный фактор для обеспечения экономической стабильности развития страны и ее регионов.*

**Ключевые слова:** перерывы в электроснабжении, экономический ущерб, оценка ущерба, сценарии аварий, удельные показатели ущерба, газовая отрасль, прогнозирование ущерба, прямой ущерб, косвенный ущерб, анализ статистических данных

<sup>1</sup> © Лесных В. В., Тимофеева Т. Б., Петров В. С. Текст. 2017.

### Введение

Формирование безопасных, надежных и реально осуществимых поставок энергоресурсов — это фундаментальный фактор для обеспечения экономической стабильности и развития страны и ее регионов. Последствия перерывов в топливо- и энергоснабжении потребителей в последние годы приобретают все более масштабный характер. Так, например, согласно данным Института электроэнергетических исследований (EPRI), около 2 млн компаний в США теряют 46 млрд долл. в год из-за потери продукции в связи с отключением электроэнергии и 6,7 млрд долл. в год — из-за снижения качества поставляемой электроэнергии (прямой ущерб) [1]. По оценкам экспертов прямой и косвенный ущерб от плановых и внеплановых перерывов в поставках электроэнергии в развитых странах в несколько раз превосходит ущерб от стихийных бедствий [2].

Анализ практики стран, перешедших к развитому рынку электроэнергии, показал, что обеспечение надежности электроснабжения нуждается в специальных мероприятиях в условиях рынка. Все крупнейшие системные аварии последнего времени, произошедшие в США (1997), Канаде (2003), Италии (2003 г.), в России: на подстанции Чагино (2005 г.), Саяно-Шушенской ГЭС (2009 г.), Сургутской ГРЭС (2015 г.), в Ростовской энергосистеме (2015 г.), вызваны неполным соответствием действующей системы поддержания надежности жизнеобеспечивающих энергообъектов и энергообъединений новым рыночным условиям.

Разделение ответственности за обеспечение надежности не только по вертикали «система или поставщик — потребитель электроэнергии», но и внутри отрасли, на этапах текущего функционирования и перспективного планирования и развития, приводит к необходимости решения новых задач управления надежностью и риском, включая оценку предотвращенного ущерба. Для их решения требуется введение системы мониторинга количественных оценок и управления надежностью и риском, страхования ответственности, санкций и пр. применительно к конкретным классам и категориям потребителей, включая потребителей газовой отрасли.

Обеспечение надежного электроснабжения производственных объектов нефтегазовых компаний осуществляется в соответствии с федеральными и корпоративными нормативными документами. В частности, учет категоричности потребителей ПАО «Газпром» осуществляется в соответствии со специаль-

ным стандартом<sup>1</sup>. Вместе с тем, существует большое число внешних и внутренних факторов, которые могут приводить к снижению надежности, а также к перерывам в поставках электроэнергии. Некоторые внешние факторы не могут быть устранены (опасные природные явления, аварии в магистральных сетях и пр.), однако необходимо предусмотреть мероприятия, снижающие масштаб негативных последствий, либо организацию претензионной работы по компенсации возникшего ущерба. В случае воздействия внутренних факторов возможно проведение мероприятий (организационных, технических и пр.), позволяющих снизить или в ряде случаев исключить возможность событий, приводящих к перерывам в электроснабжении. В том и другом случае необходимо иметь возможность обосновать размер реализованного или ожидаемого ущерба, что определяет необходимость разработки методики оценки ущерба от перерыва в электроснабжении.

Для разработки методики необходимо решить ряд взаимосвязанных задач. Прежде всего, необходимо выполнить сбор и анализ статистических данных по перерывам в электроснабжении различных категорий потребителей. Такой анализ позволит выявить типовые сценарии аварий с отключением электроснабжения объектов газовой отрасли, а также причины аварий и количественные показатели негативных последствий. Оценка величины ущерба необходима для повышения эффективности организации работ по ликвидации последствий произошедшей аварии, включая мероприятия претензионной работы и работы со страховыми компаниями, а также для обоснования инвестиций в мероприятия по повышению надежности энергоустановок станций и сетей компаний газовой отрасли.

#### **Анализ отечественного и зарубежного опыта оценки и прогнозирования ущерба от перерыва в электроснабжении различных категорий потребителей**

В настоящее время разработано большое число методик оценки ущерба от техногенных, природных и антропогенных опасностей. Выполненный анализ показал, что разработанные модели и методы имеют либо методологический характер, либо ориентированы на решение относительно узких частных задач. В

<sup>1</sup> СТО Газпром 2-6.2-149-2007 Категоричность электроприемников промышленных объектов ОАО «Газпром». М.: ОАО «Газпром», 2007. 35 с.

работах этого периода показатель ущерба назывался показателем «предельных затрат на повышение надежности электроснабжения потребителей» и отражал только часть прямого ущерба у ограниченного числа категорий потребителей. Аналогичный вывод можно сделать относительно методических подходов к количественной оценке ущербов от перерывов в электроснабжении различных категорий потребителей.

Совместное рассмотрение нормального и аварийного режимов при оценке приведенных затрат (критерий эффективности) впервые стало применяться в начале 80-х гг. (см., например [3, 4]). К числу таких работ следует отнести также [5], в которой использован подход учета в критерии эффективности как затрат на функционирование при нормальной эксплуатации энергетического комплекса страны, так и дополнительных затрат на обеспечение надежности энергоснабжения.

В работах этого периода вместо термина «ущерб» использовался показатель, который определялся как предельные затраты на повышение надежности электроснабжения потребителей. Этот показатель можно было трактовать как часть прямого ущерба для определенных категорий потребителей<sup>1</sup>.

В отличие от нашей страны, в западных странах эта проблема исследуется достаточно давно. Еще в 70-х гг. прошлого века (например, в [6]) были рассмотрены вопросы экономической оценки перерывов в питании электроэнергией потребителей, предложен метод оценки экономических последствий от перерывов в энергоснабжении.

Только в конце прошлого века в связи с развитием коммерческого страхования в нашей стране появились публикации [7, 8], где критерий эффективности вариантов развития объектов энергетики стал включать затраты на компенсацию ущерба в виде страховой премии. Подробный анализ проблем, связанных с последствиями аварий в различных системах и на объектах энергетики, проведен в монографии [9]. В данном исследовании выполнен анализ частоты и последствий аварий на объектах добычи, генерации и транспорта различных энергоресурсов, а также дано описание и сопоставление эффективности различных механизмов финансирования риска таких аварий.

<sup>1</sup> Нормативы предельных затрат на повышение надежности электроснабжения потребителей в энергосистемах. МЭ и Э СССР, 1988. 15 с.

Анализ экономической оценки потерь от нарушений электроснабжения для промышленных предприятий проведен в Единой межведомственной методике оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций<sup>2</sup>, где рассмотрены вопросы применения моделей для технико-экономической оценки последствий нарушения нормального режима электропотребления объектов производственных систем, даны оценки составляющих ущерба от нарушений электроснабжения.

Следует отметить, что задача оценки ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении, возникает как при оценке последствий совершившегося события, так и при прогнозировании ожидаемого (предотвращенного) ущерба в задачах оценки эффективности мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей. Точность и полнота оценки возможного ущерба должны определяться постановкой и условиями решаемой задачи. На выбор модели оценки ущерба и ее параметров оказывают влияние многие факторы, к основным из которых можно отнести следующие<sup>3</sup>:

- назначение модели оценки ущерба;
- временной уровень исследований, использующих сведения об ущербе (оперативное управление, проектирование, прогнозирование);
- иерархический уровень принятия решений (энергообъединение, районные системы, узлы электроснабжения, группы потребителей);
- характер отключения нагрузки (плановое, внезапное);
- наличие и достоверность информации;
- возможность управления ущербом.

Анализ позволяет выделить несколько основных методических подходов и методик. Прежде всего, это нормативный подход, определяющий структуру ущерба и последовательность расчета его составляющих. К данному подходу относится единая методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций МЧС

<sup>2</sup> Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций. М. : ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004. 156 с.

<sup>3</sup> Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. РД 03-496-02 утверждены Постановлением Госгортехнадзора РФ от 29 окт. 2002 г. № 63.

России<sup>1</sup>. Методика предназначена для оценки ущерба от чрезвычайной ситуации, прежде всего на уровне субъекта Федерации и отдельных отраслей экономики страны.

Полный ущерб определяется в методике как сумма прямого и косвенного ущербов. Прямой ущерб включает ущерб в производственной сфере предприятия, ущерб в социальной сфере предприятия и на прилегающей к нему территории, а также ущерб другим производственным объектам, находящимся на территории предприятия и на прилегающей к нему территории. Данная методика имеет достаточно обобщенный характер и является примером метода, основанного на прямом подсчете затрат от аварии. Для применения ее к оценке ущерба от перерывов в электроснабжении или к любой другой конкретной проблеме требуется конкретизация с учетом технологических особенностей объектов.

К данному подходу относится также методика Госгортехнадзора России, утвержденная в 2003 г.<sup>2</sup>, которая устанавливает общие положения и порядок количественной оценки экономического ущерба от аварий на опасных производственных объектах, подконтрольных Госгортехнадзору России. Результаты расчета ущерба по данной методике используются при разработке деклараций промышленной безопасности, обосновании размера премии при страховании ответственности организаций, эксплуатирующих опасные производственные объекты, обосновании размера компенсации пострадавшим при аварии.

В методике достаточно подробно описана структура ущерба от аварий на опасных производственных объектах, включающая полные прямые потери организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, на котором произошла авария, расходы на ликвидацию аварии, социально-экономические потери, связанные с травмиранием и гибелью людей (как персонала организации, так и третьих лиц), вред, нанесенный окружающей природной среде, косвенный ущерб предприятия и потери государства от выбытия трудовых ресурсов.

<sup>1</sup> Единая межведомственная методика оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций техногенного, природного и террористического характера, а также классификации и учета чрезвычайных ситуаций — М. : ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004. 156 с.

<sup>2</sup> Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. РД 03–496–02 утверждены Постановлением Госгортехнадзора РФ от 29 окт. 2002 г. № 63.

В случае отсутствия или неполноты статистических данных, отсутствия аналогов и недостаточной обоснованности применения формальных методов для оценки ущерба от перерывов в электроснабжении целесообразно использовать экспертные методы. Подробно эта группа методов оценки описана в работах [10, 11]. Эксперты выполняют оценки на основании собственной практики, знаний и интуиции, с учетом финансово-экономической устойчивости компаний и эффективности мероприятий по управлению рисками.

Для обработки результатов экспертных оценок наиболее адекватным является метод анализа иерархий (метод Саати) [12]. В результате применения этого метода на основе составления матриц попарных сравнений проводится анализ информации, полученной от экспертов, проверяется согласованность и непротиворечивость эксперта. Таким образом, путем обработки экспертных данных получают значения параметров, необходимых для вычисления ущерба от перерывов в энергоснабжении той или иной категории потребителей.

Методы социологических опросов непосредственно выявляют мнение потребителей в отношении понесенных ими ущербов и требований, предъявляемых ими к надежности. В мировой практике для прогноза величин удельного ущерба от перерывов в электроснабжении наиболее часто используются методы *WTP* (*Willingness to Pay* — готовность платить) и *WTA* (*Willingness to Accept* — готовность принять) [13]. Методы *WTP* и *WTA* позволяют сделать верхнюю и нижнюю оценку стоимости электроэнергии с учетом уровня надежности электроснабжения. Данные методы целесообразно использовать в ситуации, когда права собственности недостаточно четко определены.

Следует отметить, что в настоящее время данный метод наиболее часто используется для анализа и прогноза последствий от перерывов в электроснабжении в индустриально развитых странах. В качестве примера приведем работу [1] где с помощью методов *WTP* и *WTA* систематизированы оценки удельного ущерба, выполненные в разные годы для условий США и стран Западной Европы.

Кратко рассмотрим две методики, в которых используется агрегированный подход. Методика [6] была предложена в 70-х гг. прошлого века во Франции и использовалась для оценки экономического ущерба от перерывов в энергоснабжении в энергосистемах Европы. В методике предполагается, что последствия

перерывов питания зависят от четырех факторов: отключаемой мощности (потребляемой мощности непосредственно перед отключением), длительности отключения, частоты отключения (коэффициента вероятности их повторного появления), природы отключенной нагрузки.

Перерыв в электроснабжении ведет к тем большим экономическим последствиям, чем больше отключенная мощность  $P$  и время  $t$  перерыва. В методике принимается, что стоимость отключения пропорциональна произведению этих двух факторов:

$$i \approx i_0 \cdot P \cdot T, \text{ или } i \approx i_0 \cdot W_{\text{отк}},$$

где  $i_0$  — единичная стоимость отключения;  $W_{\text{отк}}$  — недоотпущенная из-за отключения энергия.

Единичная стоимость  $i_0$  зависит от природы отключенной нагрузки; ее оценка необходима, чтобы ввести стоимость перерывов питания в оценки стоимости необходимого оборудования сетей. В методике принималось, что среднее значение  $i_0 = 1$  франк<sup>1</sup> на один недоотпущенный киловатт-час. В рассмотренной методике не выделяются прямой и косвенный ущерб, а также отсутствует деление потребителей по категориям.

Еще одним примером агрегированного подхода является методика<sup>2</sup>, утвержденная в 1986 г. и применяемая для определения ущерба сельскохозяйственному производству от перерывов в подаче электроэнергии.

Ущерб, наносимый сельскохозяйственному потребителю в результате недоотпуска электроэнергии по причине отказа системы электроснабжения, в общем виде определяется по формуле:

$$Y = y_0 \cdot W_{\text{нп}},$$

где  $y_0$  — удельный ущерб от недоотпуска потребителям 1 кВт·ч электроэнергии, (руб./кВт·ч);  $W_{\text{нп}}$  — количество недоотпущенной электроэнергии за время перерыва электроснабжения (кВт·ч).

Данная методика является примером вычисления ущерба от перерывов в электроснабжении на основе агрегированных характеристик и основана на определении ущерба как произведения единичной стоимости отключения на количество недоотпущенной энергии.

По состоянию на 01.01.2001г. величина  $y_0$  составляла 18,3 руб./кВт·ч [14].

### Методика определения ущерба от перерыва в электроснабжении объектов газовой отрасли

Выполненный анализ методических подходов к оценке составляющих ущерба от перерыва в электроснабжении позволяет обосновать основные положения методики определения составляющих ущерба для объектов газовой отрасли. Данная методика включает две составляющие:

— методика оценки ущерба для произошедшей аварии;

— методика прогнозирования ущерба на основе типовых сценариев аварии или с использованием удельных показателей.

Рассмотрим обе методики более подробно.

*Расчет составляющих полного ущерба для произошедшей аварии.* Как показал анализ, наиболее подробно расчет составляющих полного ущерба при авариях на промышленных объектах описан в методических рекомендациях<sup>3</sup>. Основываясь на основных положениях данного документа, можно считать, что полный ущерб от аварии, вызванной перерывами в электроснабжении основных производств газовой компании целесообразно оценивать по формуле:

$$\Pi = \Pi_{\text{Прям}} + \Pi_{\text{Соц}} + \Pi_{\text{Косв}} + \Pi_{\text{Экол}}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  — полный ущерб от аварии, руб.;  $\Pi_{\text{Прям}}$  — прямой ущерб, руб.;  $\Pi_{\text{Соц}}$  — социально-экономические потери, руб.;  $\Pi_{\text{Косв}}$  — косвенный ущерб, руб.;  $\Pi_{\text{Экол}}$  — экологический ущерб, руб.

Прямой ущерб от аварии, вызванной перерывами в электроснабжении объектов газовой отрасли, оценивается по формуле:

$$\Pi_{\text{Прям}} = \Pi_{\text{Оф}} + \Pi_{\text{ТМЦ}} + \Pi_{\text{ТрЛиц}} + \Pi_{\text{ЛЛиР}}, \quad (2)$$

где  $\Pi_{\text{Оф}}$  — потери основных фондов, руб.;  $\Pi_{\text{ТМЦ}}$  — потери товарно-материальных ценностей, руб.;  $\Pi_{\text{ТрЛиц}}$  — потери от уничтожения имущества третьих лиц, руб.;  $\Pi_{\text{ЛЛиР}}$  — затраты на локализацию, ликвидацию и расследование аварий, руб.

Потери, полученные в результате уничтожения (повреждения) основных фондов, оцениваются по формуле:

<sup>1</sup> По состоянию на середину 80-х гг. прошлого века [6].

<sup>2</sup> Методика определения ущерба сельскохозяйственному производству от перерывов в подаче электроэнергии. М. : Госагропром СССР, 1986. 127 с.

<sup>3</sup> Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. Утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 29 окт. 2002 г. № 63.

$$\Pi_{\text{оф}} = \sum_{i=1}^N k_i (C_{3,i} - (C_{\text{м},i} - C_{\text{в},i})), \quad (3)$$

где  $N$  — число поврежденных (уничтоженных) основных фондов;  $k_i$  — степень повреждения  $i$ -го типа основных фондов,  $k \in [0; 1]$ ;  $C_{3,i}$  — стоимость замещения или воспроизводства  $i$ -го вида поврежденных (уничтоженных) основных фондов, руб.;  $C_{\text{м},i}$  — стоимость материальных ценностей  $i$ -го вида, годных к дальнейшему использованию, руб.;  $C_{\text{в},i}$  — утилизационная стоимость  $i$ -го вида поврежденных (уничтоженных) основных фондов, руб.

Стоимость замещения оборудования, машин и инвентаря следует определять исходя из суммы, необходимой для приобретения предмета, аналогичного уничтоженному, включая расходы по перевозке и монтажу, таможенные пошлины и др.

Стоимость замещения зданий и сооружений следует определять исходя из проектной стоимости строительства объекта, аналогичного поврежденному (уничтоженному) в соответствии с проектными характеристиками, в данной местности. В случае если стоимость замещения отдельных видов уничтоженных основных фондов определить невозможно, то в качестве стоимости замещения допускается использовать первоначальную стоимость или текущую (восстановительную) стоимость.

Потери, полученные в результате повреждения (уничтожения) товарно-материальных ценностей, оцениваются по формуле:

$$\Pi_{\text{тмц}} = \sum_{i=1}^N \Pi_{\text{т},i} + \sum_{j=1}^M \Pi_{\text{с},j}, \quad (4)$$

где  $N$  ( $M$ ) — число видов произведенной продукции (сырья), которым причинен ущерб в результате аварии, вызванной перерывом в электроснабжении;  $\Pi_{\text{т},i}$  — стоимость утраченной продукции  $i$ -го вида (включает в себя стоимость незавершенного производства и стоимость готовой продукции), руб.;  $\Pi_{\text{с},j}$  — стоимость утраченного сырья и материалов  $j$ -го вида, руб.

Стоимость утраченной продукции ( $\Pi_{\text{т},i}$ ) определяется исходя из величины издержек на ее повторное изготовление, но не выше рыночной стоимости. Стоимость утраченного сырья и материалов ( $\Pi_{\text{с},j}$ ) определяется исходя из величины издержек, вызванных их повторной закупкой, но не выше цен, по которым они могли бы быть проданы на дату аварии, с учетом затрат на транспортировку и упаковку, таможенных пошлин и иных сборов.

В случае если потери, полученные в результате повреждения (уничтожения) имущества

третьих лиц ( $\Pi_{\text{трлиц}}$ ), компенсируются в соответствии с федеральными законами<sup>1</sup>, то в расчетах их следует полагать равными нулю. В противном случае следует произвести расчет потерь имущества третьих лиц.

Потери, связанные с локализацией и ликвидацией последствий, а также расследованием причин аварий ( $\Pi_{\text{ллир}}$ ), оцениваются по формуле:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{ллир}} = & \Pi_{\text{зп}} + \Pi_{\text{эн}} + \Pi_{\text{мат}} + \Pi_{\text{усллл}} + \\ & + \Pi_{\text{комп}} + \Pi_{\text{нир}} + \Pi_{\text{услр}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\Pi_{\text{зп}}$  — выплаты дополнительной заработной платы (премии) персоналу за работы по локализации и ликвидации аварии, руб.;  $\Pi_{\text{эн}}$  — стоимость электрической (и иной) энергии, израсходованной при локализации и ликвидации аварии, руб.;  $\Pi_{\text{мат}}$  — стоимость материалов, израсходованных при локализации и ликвидации аварии, руб.;  $\Pi_{\text{усллл}}$  — стоимость услуг специализированных организаций по локализации и ликвидации аварии, руб.;  $\Pi_{\text{комп}}$  — оплата труда членов комиссии по расследованию аварии (в т. ч. командировочные расходы), руб.;  $\Pi_{\text{нир}}$  — затраты на научно-исследовательские работы и мероприятия, связанные с рассмотрением технических причин аварии, руб.;  $\Pi_{\text{услр}}$  — стоимость услуг экспертов, привлекаемых для расследования технических причин аварии и оценки (в т. ч. экономическую) последствий аварии, руб.

Согласно методическим рекомендациям<sup>2</sup>, предварительный размер потерь, связанных с локализацией и ликвидацией последствий, а также расследованием причин аварий ( $\Pi_{\text{ллир}}$ ), можно оценивать исходя из средней стоимости услуг специализированных и экспертных организаций или рассчитывать по формуле:

$$\Pi_{\text{ллир}} = 0,1 \sum_{i=1}^N k_i C_{3,i}. \quad (6)$$

Социально-экономические потери от аварии, вызванной перерывами в электроснабжении основных производств газовой компании, оцениваются по формуле:

$$\Pi_{\text{соц}} = \chi_{\text{пог}} \cdot C_{\text{пог}} + \chi_{\text{постр}} \cdot C_{\text{постр}}, \quad (7)$$

<sup>1</sup> О промышленной безопасности опасных производственных объектов. ФЗ от 21.07.1997 г. № 116; Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте. ФЗ от 27.07.2010 № 225-ФЗ. Ред. от 04.11.2014.

<sup>2</sup> Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах РД 03-496-02. Утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 29 окт. 2002 г. № 63.

где  $Ч_{\text{Пог}}$  — количество погибшего в результате аварии персонала, чел.;  $С_{\text{Пог}}$  — величина компенсации, выплачиваемой семье погибшего, в соответствии с условиями коллективного договора газовой компании, руб/чел.;  $Ч_{\text{Постр}}$  — количество пострадавшего в результате аварии персонала, чел.;  $С_{\text{Постр}}$  — величина компенсации, выплачиваемой пострадавшему, в соответствии с условиями коллективного договора газовой компании, руб/чел. Количество погибшего ( $Ч_{\text{Пог}}$ ) и пострадавшего ( $Ч_{\text{Постр}}$ ) персонала определяется по результатам произошедшей аварии, либо по ожидаемым значениям, оцененным по статистическим данным или экспертно.

*Косвенный ущерб* от аварии, вызванной перерывами в электроснабжении основных производств газовой компании, оценивается по формуле:

$$П_{\text{Косв}} = П_{\text{Упост}} + П_{\text{Приб}} + П_{\text{Шт}}, \quad (8)$$

где  $П_{\text{Упост}}$  — заработная плата и условно-постоянные расходы основного производства за период вынужденного простоя, руб.;  $П_{\text{Приб}}$  — потери прибыли за период вынужденного простоя, руб.;  $П_{\text{Шт}}$  — штрафы и пени, полученные в результате нарушения поставки продукции потребителям, руб.

Потери, полученные вследствие необходимости несения затрат на заработную плату, а также условно-постоянных расходов в период вынужденного простоя, оцениваются по формуле:

$$П_{\text{Упост}} = (ЗП \cdot a + УП) \cdot \Delta T, \quad (9)$$

где  $ЗП$  — средняя заработная плата не задействованного по причине простоя персонала, руб/день;  $a$  — доля персонала, не задействованного по причине простоя (отношение численности персонала, не задействованного в работе, к общей численности), %;  $УП$  — условно-постоянные расходы, руб/день;  $\Delta T$  — период вынужденного простоя, дни.

Потери, полученные вследствие утраченной за период простоя прибыли, определяются по формуле:

$$П_{\text{приб}} = \sum_{i=0}^N \Delta O_i \cdot (Ц_i - C_i), \quad (10)$$

где  $N$  — число видов продукции (услуг), по которым произошло снижение объемов выпуска по причине аварии;  $Ц_i$  — рыночная цена единицы  $i$ -го продукта (услуги) на дату аварии, руб.;  $C_i$  — средняя себестоимость единицы  $i$ -го продукта (услуги) на дату аварии, руб.;  $\Delta O_i$  — изменение объема выпуска  $i$ -го вида продукции (услуги),

за период простоя, в единицах измерения продукции (услуги):

$$\Delta O_i = (O_{0,i} - O_{1,i}) (\Delta T_{1,i} - \Delta T_{2,i}), \quad (11)$$

где  $O_{0,i}, O_{1,i}$  — средний объем выпуска  $i$ -го вида продукта (услуги) до и после аварии соответственно в единицах измерения продукции (услуги);  $\Delta T_{1,i}, \Delta T_{2,i}$  — длительности перерыва в электроснабжении и проведения ремонтно-восстановительных работ, необходимые для восстановления объемов выпуска  $i$ -го вида продукции (услуг) к доаварийному уровню.

Потери, возникающие вследствие недопоставок продукции потребителям, определяются по формуле:

$$П_{\text{Шт}} = ОП_{\text{Недопост}} \cdot Ц_{\text{ЗаЕд}} \cdot Ш_{\text{Недопост}}, \quad (12)$$

где  $ОП_{\text{Недопост}}$  — суммарный объем недопоставок за период вынужденного простоя, определяемый по формуле, в единицах измерения продукции:

$$ОП_{\text{Недопост}} = (Пз \cdot k/365) \cdot Вр, \quad (13)$$

$Пз$  — годовая производительность уничтоженного (поврежденного) объекта в единицах измерения продукции;  $Вр$  — среднее время простоя поврежденного объекта, необходимое для локализации и расследования причин произошедшей аварии, а также восстановления объекта, дни;  $Ц_{\text{ЗаЕд}}$  — средняя цена за единицу продукции, руб.;  $Ш_{\text{Недопост}}$  — штрафные санкции за недопоставку продукции потребителям, определяемые как процент увеличения стоимости недопоставленной продукции за период вынужденного простоя, %.

*Экологический ущерб* от аварии, вызванной перерывами в электроснабжении основных производств газовой компании, оценивается по формуле:

$$П_{\text{Экол}} = Э_{\text{Атм}} + Э_{\text{Вод}} + Э_{\text{Почв}} + Э_{\text{Био}}, \quad (14)$$

где  $Э_{\text{Атм}}$  — ущерб атмосфере, руб.;  $Э_{\text{Вод}}$  — ущерб водным ресурсам, руб.;  $Э_{\text{Почв}}$  — ущерб почве, руб.;  $Э_{\text{Био}}$  — ущерб биологическим ресурсам (лесные угодья), руб.

Нормативы платы при расчете  $Э_{\text{Атм}}, Э_{\text{Вод}}$  принимаются как сверхлимитные.

Размер платы за вред, причиненный атмосфере, рассчитывается в соответствии с постановлением «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»<sup>1</sup>

<sup>1</sup> О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 // Собрание законодательства РФ. 2016. № 38, ст. 5560.

Типовые сценарии аварий на объектах газовой отрасли, вызванных перерывами в электроснабжении

Наименование сценария	Перечень объектов, на которые оказывается воздействие	Условия реализации	Длительность перерыва в электроснабжении
Сценарий 1	Энергоснабжающее оборудование	Отключение электроэнергии на время действия автоматики или ручного переключения на другие источники питания	От 1 до 2 часов
Сценарий 2	1) Энергоснабжающее оборудование; 2) технологические объекты промышленного предприятия	Отключение электроэнергии на время выезда ремонтной бригады	От нескольких часов до 1 суток
Сценарий 3	1) Энергоснабжающее оборудование; 2) технологические объекты промышленного предприятия; 3) основные технологические процессы (изменение)	Отключение электроэнергии на время ликвидации аварии и проведения ремонтно-восстановительных работ	Несколько суток

и Методическими указаниями по оценке и возмещению вреда, нанесенного окружающей природной среде в результате экологических правонарушений<sup>1</sup>. Размер платы за вред водным ресурсам ( $\mathcal{E}_{\text{вод}}$ ) рассчитывается в соответствии с Методикой исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства<sup>2</sup>. Расчет компенсационных выплат за ущерб, связанный с негативным воздействием на почву, производится с Методикой исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды<sup>3</sup>. Расчет ущерба от уничтожения биологических ресурсов в части расчет ущерба древесной растительности, производится в соответствии с постановлением «Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства»<sup>4</sup>. При необходимости рассчитать ущерб другим видам биологических ресурсов, таким как водные биологические ресурсы, объекты животного мира, занесенные в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира,

можно воспользоваться соответствующими методиками<sup>5</sup>.

*Расчет ущерба от перерыва в электроснабжении для типовых аварий.* Анализ статистических данных по авариям с перерывом в электроснабжении основных производств газовой компании, а также анализ корпоративного нормативного документа<sup>6</sup> показали, что можно выделить типовые аварии, представленные в таблице 1.

Под основными категориями потребителей электроэнергии понимаются объекты добычи, транспорта, хранения, переработки и вспомогательные объекты.

Полный ущерб от перерыва в электроснабжении объекта  $r$ -й категории потребителей газовой компании с учетом нормированных вероятностей реализации типовых сценариев рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned}
 \Pi_{\text{полн}}^{(r)} = & p^{(c1,r)} \sum_{i=1}^I \Pi_i^{(c1,r)} + p^{(c2,r)} \sum_{j=1}^J \Pi_j^{(c2,r)} + \\
 & + p^{(c3,r)} \sum_{k=1}^K \Pi_k^{(c3,r)}, \quad (15)
 \end{aligned}$$

где  $\Pi_{\text{полн}}^{(r)}$  — полный ущерб от перерыва в электроснабжении объекта  $r$ -й категории, руб.;  $\Pi_n^{(c1,r)}$  —  $n$ -я составляющая полного ущерба для  $m$ -го типового сценария ( $m = 1, 2, 3$ ) перерыва

<sup>1</sup> Методические указания по оценке и возмещению вреда, нанесенного окружающей природной среде в результате экологических правонарушений. Утв. Госкомэкологии РФ 6 сент. 1999 г.

<sup>2</sup> Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства: утв. Приказом Минприроды России от 13 апр. 2009 г. № 87.

<sup>3</sup> Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды. Утв. Приказом Минприроды России от 8 июля 2010 г. № 238.

<sup>4</sup> Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства. Постановление Правительства РФ от 08.05.2007 № 273.

<sup>5</sup> Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам: утв. Приказом Федерального агентства по рыболовству от 25 нояб. 2011 г. № 1166; Методика оценки вреда и исчисления размера ущерба от уничтожения объектов животного мира и нарушения их среды обитания. Утв. Госкомэкологией России 28.04.2000.

<sup>6</sup> СТО Газпром 2–6.2–149–2007 Категорийность электроприемников промышленных объектов ОАО «Газпром». М.: ОАО «Газпром», 2007. 35 с.



Таблица 2

## Структура ущербов, вызванных перерывами в электроснабжении основных групп потребителей для типового сценария аварии

Категории объектов, подвергшихся воздействию	Виды ущерба											
	Прямой ущерб				Социально-экономические потери		Косвенный ущерб		Экологический ущерб			
	основные фонды	товары и сырье	ликвидация аварии	расследование	гибели персонала	потеря здоровья персонала	расходы за время простоя	потеря прибыли	атмосфера	водные ресурсы	почва	биологические ресурсы
Добыча	+		+	+			+	+	+			
Транспорт	+	+	+	+			+	+	+			
Хранение	+		+	+			+	+	+			
Переработка	+		+	+			+	+	+			
Вспомогательные	+		+	+	+	+	+					

электроснабжения объекта  $r$ -й категории потребителей, руб.;  $p^{(cm, r)}$  — относительная нормированная частота реализации  $m$ -го типового сценария для  $r$ -й категории потребителей. Частоты определены таким образом, чтобы  $p^{(c1, r)} + p^{(c2, r)} + p^{(c3, r)} = 1$ , соб/год.

Анализ статистических данных и результаты экспертных оценок показали, что для разных категорий потребителей газовой компании наиболее вероятны определенные группы составляющих ущерба, описанных выше. Исследования позволили выявить наиболее вероятные структуры полного ущерба для всех типовых сценариев аварий. В таблице 2 показан пример структуры полного ущерба для типового сценария 2.

Относительная частота реализации типовых сценариев аварий оценивается на основании анализа статистики произошедших событий.

*Расчет ущерба на основе удельных показателей.* Для объекта  $r$ -й категории потребителей электроэнергии и величины отключаемой мощности расчет ущерба от прогнозируемой аварии с перерывом в электроснабжении ( $\Pi_{\text{полн}}^{(r)}$ ) производится по формуле:

$$\Pi_{\text{полн}}^{(r)} = \left[ \Pi_0^{(r)} + \Pi_{t_1}^{(r)} \Delta T_1^{(r)} \right] \cdot \Delta W^{(r)} + \Pi_{t_2}^{(r)} \cdot \Delta T_2^{(r)}, \quad (16)$$

где  $\Pi_0^{(r)}$  — удельный ущерб, связанный с фактом перерыва в электроснабжении объекта  $r$ -й категории потребителей, руб/кВт;  $\Pi_{t_1}^{(r)}$  — удельный ущерб, связанный с длительностью перерыва в электроснабжении потребителей, руб/кВт·ч.;  $\Pi_{t_2}^{(r)}$  — удельный ущерб, связанный с ремонтными работами, руб/ч.;  $\Delta W^{(r)}$  — величина отключаемой мощности, кВт;  $\Delta T_1^{(r)}$ ,  $\Delta T_2^{(r)}$  — максимальные длительности перерыва в

электроснабжении и длительности ремонтно-восстановительных работ  $r$ -го типа объектов, ч.

Значения удельных показателей определяются по результатам анализа статистических данных или экспертно.

В целях верификации разработанных методик выполнены расчеты ущерба для произошедшей аварии (условно) и прогнозирование ущерба на основе удельных показателей.

*Пример 1. Расчет ущерба по произошедшей аварии.* В результате срабатывания предохранителей произошло отключение выключателя нагрузки на компрессорной станции (КС). В результате аварии уничтожен трансформатор 10/0,4 кВ.

С учетом специфики аварии ущерб состоит из следующих составляющих:

- потери объекта в результате уничтожения (повреждения) основных фондов (производственных и непроизводственных);
- затраты, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварий;
- расходы на расследование аварии.

Стоимость замещения трансформатора будет складываться из полной стоимости трансформатора и сопутствующих расходов (стоимости доставки, монтажа и прочего).

В связи с необходимостью приобретения нового трансформатора его стоимость будет соответствовать рыночной стоимости при наличии вторичного рынка объектов. По данным за 2015 г., данный трансформатор продается на вторичном рынке и его среднерыночная стоимость составляет 220 тыс. руб<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Электронный каталог продукции // Производственно-коммерческая группа «РусТранс» [Электронный ресурс]. URL: <http://trans-ktp.ru/price/transformators> (дата обращения: 21.09.2015).

Величина сопутствующих расходов в среднем составляет 5 % от отпускной цены оборудования [15]. С учетом сопутствующих расходов стоимость трансформатора на 2015 г. составляет 231 тыс. руб.

Потери объекта в результате уничтожения или повреждения производственных и непроизводственных фондов определяются по формуле (3). В рассматриваемом сценарии:  $N = 1$ ,  $k = 1$ ,  $C_{M,i} = 0$ ,  $C_{y,i} = 0$ ;  $C_{3,i} = 231\,000$  руб. В таком случае потери объекта в результате уничтожения (повреждения) основных фондов (производственных и непроизводственных) составят  $\Pi_{\text{оф.}} = 231\,000$  руб.

Величина расходов на локализацию и ликвидацию последствий, а также расследование причин аварий ( $\Pi_{\text{лпир}}$ ), определяется по формуле (6). При  $k = 1$ ,  $C_{3,i} = 231\,000$  руб.,  $\Pi_{\text{лпир}}$  составят 231 000 руб.

Суммарный прямой ущерб определяется по формуле (2). Учитывая, что  $\Pi_{\text{оф.}} = 231\,000$  руб.,  $\Pi_{\text{ликв}} = 23\,100$  руб., прямой ущерб от аварии составит:

$$\Pi_{\text{прям}} = 231\,000 + 23\,100 = 254\,100 \text{ руб.}$$

*Пример 2. Расчет ущерба по удельным показателям.* Рассматривается возможная авария с перерывом в электроснабжении на газоперерабатывающем заводе. Перерыв в электроснабжении может привести к остановке основного и вспомогательного технологического оборудования. Длительность отключения может составить 8 часов, а суммарная мощность потребителей, отключенных в результате аварии — 8400 кВт. Длительность ремонтно-восстановительных работ — 6 часов.

Расчет ущерба производится на основании формулы (16). Для расчета предлагается использовать следующие удельные показатели, полученные экспертно с учетом статистических данных: удельный ущерб, связанный с фактом перерыва в электроснабжении — 38 руб/кВт; удельный ущерб, связанный с длительностью перерыва в электроснабжении — 218 руб/кВт·час; удельный ущерб, связанный с ремонтно-восстановительными работами — 65 тыс. руб./час. С учетом приведенных исходных данных ущерб от перерыва в электроснабжении газоперерабатывающего завода составит 15,8 млн руб.

Сравнение полученных значений ущерба от перерыва в электроснабжении объектов газовой отрасли с реальными значениями позволяет говорить об адекватности разработанных методик.

### Заключение

Перерывы в электроснабжении могут приводить к значительным материальным, социальным и экономическим потерям. Адекватная оценка прямого и косвенного ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении различных категорий потребителей, позволяет не только обосновать размер компенсаций, но также обосновать мероприятия по повышению надежности электроснабжения с учетом технологической специфики потребителей. Представленная в статье методика позволяет выполнять расчет всех основных составляющих прямого и косвенного ущерба для произошедших аварий на объектах газовой отрасли, а также выполнять прогноз ущерба на основе типовых сценариев аварий и удельных показателей ущерба.

### Список источников

1. Eto J., Koomey J., Lehman B. et al. Scoping study on Trends in the Economic Value of Electric Reliability to the US Economy. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001. — 148 p.
2. Лесных В. В., Тимофеева Т. Б. Энергетические аспекты стратегических рисков // Стратегические риски развития России. Оценка и прогноз. Сб. науч. тр. / отв. ред. Б. Н. Порфирьев. — М. : ИЭ РАН, 2010. — 276 с.
3. Модели оптимизации развития энергосистем / Арзамасцев Д. А. и др.; Под. ред. Д. А. Арзамасцева. — М. : Высшая школа, 1987. — 272 с.
4. Шевелев Я. В. Об игровых подходах к задачам планирования народного хозяйства СССР. — М. : ИАЭ, 1981. — 33 с.
5. Борщевский М. З., Криворуцкий Л. Д. Модель для исследования развития энергетического комплекса страны с учетом фактора надежности // Автоматизация исследований энергетики. — Иркутск : СЭИ СО АН, 1986. — С. 133–147.
6. Пелисье Р. Энергетические системы : пер. с франц. — М. : Высшая школа, 1982. — 568 с.
7. Ковалев Г. Ф., Лебедева Л. М. К решению задачи оптимизации послеаварийных режимов в моделях анализа надежности ЭЭС в новых условиях // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. — 1996. — Т. 48. — С. 89–97.
8. Лесных В. В. Анализ риска и механизмов возмещения ущерба от аварий на объектах энергетики. — Новосибирск : Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. — 251 с.

9. Папков Б. В., Пашали Д. Ю. Надежность и эффективность электроснабжения : учеб. пособие. — Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2005. — 380 с.
10. Литвак Б. Г. Экспертные технологии в управлении. — М.: Дело, 2004. — 399 с.
11. Гохман А. Г. Экспертное оценивание. — Воронеж : Изд-во Воронежского университета, 1991. — 152 с.
12. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М. : Радио и связь, 1989. — 316 с.
13. Willing R. Consumer's Surplus Without Apology // *American Economic Review*. — 1976. — Vol. 66. — No 4. — Pp. 589–597.
14. Водяников В. Т. Экономическая оценка энергетики АПК. — М. : ИКФ ЭКМОС, 2002. — 304 с.
15. Индексы цен в строительстве // Межрегиональный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 84. — 164 с.

### Информация об авторах

**Лесных Валерий Витальевич** — доктор технических наук, профессор, директор центра анализа рисков, ООО «НИИГазэкономика»; ведущий научный сотрудник, Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики (НИУ ВШЭ), Scopus Author ID: 6602914103 (Российская Федерация, 105066, г. Москва, ул. Старая Басманная, 20/8; 101100, г. Москва, ул. Мясницкая, д.20; e-mail: vvlesnykh@gmail.com).

**Тимофеева Татьяна Борисовна** — кандидат технических наук, доцент кафедры математических методов в экономике и управлении, Государственный университет управления (Российская Федерация, 109542, г. Москва, Рязанский проспект, 99; e-mail: tanuta75@mail.ru).

**Петров Владислав Сергеевич** — старший научный сотрудник, ООО «НИИГазэкономика»; ORCID: 0000-0003-2796-8372 (Российская Федерация, 105066, г. Москва, ул. Старая Басманная, 20/8; e-mail: patrokl@gmail.com).

For citation: Lesnykh, V. V., Timofeyeva, T. B. & Petrov, V. S. (2017). Problems of the Assessment of Economic Damage Caused by Power Supply Interruption. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 13(3), 847-858

**V. V. Lesnykh<sup>a, b)</sup>, T. B. Timofeyeva<sup>c)</sup>, V. S. Petrov<sup>a)</sup>**

<sup>a)</sup> ООО НИИГазэкономика (Moscow, Russian Federation; e-mail: vvlesnykh@gmail.com)

<sup>b)</sup> National Research University Higher School of Economics (Moscow, Russian Federation)

<sup>c)</sup> State University of Management (Moscow, Russian Federation)

### Problems of the Assessment of Economic Damage Caused by Power Supply Interruption

*The article is devoted to the development of the methods of the assessment of damage caused by an emergency interruption in the electrical supply of industrial consumers. The purpose of the study is to substantiate the structure of direct and indirect damage and to develop an adequate technique for the quantitative assessment of a full damage caused by the interrupt in electrical supply of various groups of industrial consumers. The analysis of domestic and foreign methodological approaches to the assessment of the damage caused by breaks in an electrical supply allowed to substantiate the structure of a full damage. For this purpose, we propose three groups of techniques. The first method is based on the standard approach. We apply it for a detailed account of the components of damage (real loss, social and economic losses, ecological damage, indirect losses) with reference to the occurred failure. The second technique is based on the use of three groups of typical scenarios of the consequences of an emergency interruption in power supply. These scenarios have resulted from the analysis of the regulation documentation and statistical data on the basic groups of industrial consumers (on the example of gas supply system, these are production facilities, transport, storage, reprocessing and support facilities). The third method is based on the specific indicators of unplanned coasts depending on the size of the disconnected capacity, an interruption duration and the duration of the restoration of electricity. The second and third techniques are developed to forecast the damage and to substantiate the efficiency of measures for improving the reliability of the electrical supply of the industrial consumers. The article includes the results of the assessment of full damage caused by the interruption in the electrical supply through the developed techniques on the example of the gas industry objects. The comparison of the results of the assessment with the real values of damages from the occurred failures would suggest the adequacy of the developed techniques. The appropriate account of the economic damage caused by breaks in the electrical supply would substantiate the measures making energy supplies for the safe and reliable. The reliability of power is the fundamental factor for the economic stability of the country and its regions.*

**Keywords:** power supply interruption, economic damage, damage assessment, scenarios of interruption, specific indicators of damage, gas industry, forecasting of damage, direct loss, indirect loss, data analysis

### References

1. Eto, J., Koomey, J., Lehman, B. et al. (2001). *Scoping study on Trends in the Economic Value of Electric Reliability to the US Economy*. Berkeley, California: Lawrence Berkeley National Laboratory, 148.
2. Lesnykh, V. V. & Timofeeva, T. B. (2010). Energeticheskie aspekty strategicheskikh riskov [Energy aspects of strategic risks]. *Strategicheskie riski razvitiya Rossii. Otsenka i prognoz. Sb. nauch. tr. [Strategic risks of Russia development: assessment and forecasting]*. In: B. N. Porfiriev (Ed.). Moscow: IE RAN Publ., 276. (In Russ.)
3. Arzamastsev, D. A. et al. (1987). *Modeli optimizatsii razvitiya energosistem [Optimization models for the development of electric power systems]*. In: D. A. Arzamastseva (Ed.). Moscow: Vysshaya shkola Publ., 272. (In Russ.)

4. Shevelev, Ya. V. (1981). *Ob igrovyykh podkhodakh k zadacham planirovaniya narodnogo khozyaystva SSSR [About game approaches to the economy of USSR planning]*. Moscow: IAE Publ., 33. (In Russ.)
5. Borshchevsky, M. Z. & Krivorutsky, L. D. (1986). Model dlya issledovaniya razvitiya energeticheskogo kompleksa strany s uchetom faktora nadezhnosti [Model for the research of the country's power complex the development taking into account reliability factor]. *Avtomatizatsiya issledovaniy energetiki [Automation for power research]*. Irkutsk: SEI SO AN Publ., 133–147. (In Russ.)
6. Pelissier, R. (1982). *Energeticheskie sistemy [Energy systems]*. Trans from French. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 568. (In Russ.)
7. Kovalev, G. F. & Lebedeva, L. M. (1996). K resheniyu zadachi optimizatsii posleavariynykh rezhimov v modelyakh analiza nadezhnosti EES v novykh usloviyakh [To the problem solution of the optimization of post-emergency conditions in the models of reliability analysis of Electric Power System in new conditions]. *Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bolshikh sistem energetiki [Methodological problems in reliability study of large energy systems]*, 48, 89–97. (In Russ.)
8. Lesnykh, V. V. (1999). *Analiz riska i mekhanizmov vozmeshcheniya ushcherba ot avariya na obektakh energetiki [Risk analysis and methods for damage compensation caused by accidents in energy]*. Novosibirsk: Nauka. Sib. predpriyatie RAN Publ., 251. (In Russ.)
9. Papkov, B. V. & Pashali, D. Yu. (2005). *Nadezhnost i effektivnost elektroobrazovaniya: ucheb. posobie [Reliability and efficiency of an electrical supply]*. Ufa: Ufimskiy gosudarstvennyy aviatsionnyy tekhnicheskyy universitet Publ., 380. (In Russ.)
10. Litvak, B. G. (2004). *Ekspertnyye tekhnologii v upravlenii [Expert technologies in control]*. Moscow: Delo Publ., 399. (In Russ.)
11. Gokhman, A. G. (1991). *Ekspertnoye otsenivanie [Expert assessment]*. Voronezh: Voronezhskiy universitet Publ., 152. (In Russ.)
12. Saati, T. L. (1989). *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy [Decision making. Method of the analysis of hierarchies]*. Moscow: Radio i svyaz Publ., 316. (In Russ.)
13. Willing, R. (1976). Consumer's Surplus Without Apology. *American Economic Review*, 66(4), 589–597.
14. Vodyanikov, V. T. (2002). *Ekonomicheskaya otsenka energetiki APK [Economic assessment of agricultural production]*. Moscow: IKF EKMO Publ., 304. (In Russ.)
15. Indeksy tsen v stroitelstve [Price indexes in construction]. (2015). *Mezhregionalnyy informatsionno-analiticheskiy byulleten [Interregional information and analytical bulletin]*, 84, 164. (In Russ.)

### Authors

**Valery Vitalyevich Lesnykh** — Doctor of Economics, Professor, Head of the Center for Risk Management and Sustainable Development, OOO NIlgazekonomika; Leading Research Associate, National Research University Higher School of Economics; Scopus Author ID: 6602914103 (20/8, Staraya Basmannaya St., Moscow, 105066; 20, Myasnitskaya St., Moscow, 101100, Russian Federation; e-mail: vvlesnykh@gmail.com).

**Tatiana Borisovna Timofeyeva** — PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Mathematical Methods in Economics and Management, State University of Management (99, Ryazansky Ave., Moscow, 109542, Russian Federation; e-mail: tanuta75@mail.ru).

**Vladislav Sergeevich Petrov** — Senior Research Associate, OOO NIlgazekonomika; ORCID: 0000-0003-2796-8372 (20/8, Staraya Basmannaya St., Moscow, 105066, Russian Federation; e-mail: patrokl@gmail.com).