

УДК 621.311:338.5

ББК 31.27:65.256

**Vasilyeva Marina Valeryevna,**  
postgraduate student, assistant  
of the department of management  
and economic systems in power engineering  
of Novosibirsk State Technical University,  
Novosibirsk,  
e-mail: vas-mv@yandex.ru

**Kitushin Vikentiy Georgievich,**  
doctor of engineering sciences, professor  
of the department of management  
and economic systems in power engineering  
of Novosibirsk State Technical University,  
Novosibirsk,  
e-mail: kitushin@power.nstu.ru

**Васильева Марина Валерьевна,**  
аспирант, ассистент кафедры  
систем управления и экономики энергетики  
Новосибирского государственного  
технического университета,  
г. Новосибирск,  
e-mail: vas-mv@yandex.ru

**Китушин Викентий Георгиевич,**  
д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры  
систем управления и экономики энергетики  
Новосибирского государственного  
технического университета,  
г. Новосибирск,  
e-mail: kitushin@power.nstu.ru

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ УСЛУГИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ АДРЕСНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### DEVELOPMENT OF THE MODEL OF THE SERVICE COST CALCULATION FOR ENSURING ADDRESS RELIABILITY OF POWER SUPPLY

*Обеспечение адресной надежности электроснабжения представлено в виде отдельной услуги, предоставляемой на основе свободных двусторонних договоров между электросетевой компанией и конечными потребителями электроэнергии. Разработан механизм расчета взаимных финансовых обязательств контрагентов по договору обеспечения адресного уровня надежности. Предложены модели расчета стоимости услуги с учетом наличия допустимого недоотпуска, то есть объема электроэнергии, непоставку которого конечный потребитель готов терпеть. Кроме того, представлен способ корректировки исходной модели с учетом системных эффектов.*

*Address reliability of power supply ensuring is presented as a separate service provided on the basis of free bilateral contracts between the electric grid company and the end users of the electric power. Mechanism of calculation of mutual financial obligations of counteragents is developed. Models of the service cost calculation are proposed taking into account the existence of admissible electricity sacrifice, i. e. the electric power amount, the non-delivery of which the end user is ready to suffer. Besides, the way of correction of the initial model is presented taking into account the system effects.*

*Ключевые слова: надежность электроснабжения, конечные потребители, электросетевая компания, двусторонний договор, экономический механизм, компенсация, прерывание электроснабжения потребителя, недоотпуск электроэнергии, адресная надежность, убыток.*

*Keywords: power supply reliability, end users, electric grid company, bilateral contract, economic mechanism, compensation, customer interruption, electricity sacrifice, address reliability, damage.*

#### 1. Введение

Ранее авторами было показано, что отсутствие учета

индивидуальных требований потребителей электроэнергии по надежности электроснабжения является существенной проблемой [1; 2]. Актуальность затронутого вопроса подтверждается положениями утвержденной от 3 апреля 2013 года Стратегии развития электросетевого комплекса РФ в области надежности электроснабжения. В документе обозначена задача постепенно обеспечить адресное транслирование экономических эффектов по результатам деятельности сетевых компаний на конечных потребителей. В долгосрочной перспективе предполагается «обеспечить диалог с потребителями об их приоритетах — надежности энергоснабжения или цены за соответствующий уровень надежности» [3].

В [4] представлен один из вариантов решения задачи реализации клиентоориентированного подхода в обеспечении надежности электроснабжения. Авторами предлагается разделить надежность электроснабжения на две части — общесистемную и адресную. Первая обеспечивается в рамках действующих правил розничного рынка электроэнергии. Адресную надежность можно обеспечивать на основе свободных двусторонних соглашений между сетевыми организациями и конечными потребителями.

Анализ зарубежного опыта [5] позволяет сделать вывод, что отдельная дополнительная услуга по обеспечению адресного уровня надежности имеет достаточный для ее осуществления спрос со стороны конечных потребителей, а российская практика заключения энергосервисных контрактов дает основания считать, что свободные двусторонние договоры, не регламентируемые правилами розничного рынка электроэнергии, могут иметь место и в российских условиях.

#### 2. Схема отношений между контрагентами по договору об обеспечении адресной надежности.

##### Расчет стоимости услуги

Отношения между сетевыми компаниями и конечными потребителями электроэнергии в рамках двустороннего договора на обеспечение адресного уровня надежности

электроснабжения могут строиться следующим образом.

Потребитель, которого не устраивает уровень надежности электроснабжения, обеспечиваемый ему в рамках розничного рынка электроэнергетики, заявляет сетевой компании желаемую надежность электроснабжения в виде величины убытков, которые он несет из-за недоотпуска 1 кВт-ч электроэнергии  $y_i$ . Чем больший размер убытков задает потребитель, тем выше уровень надежности электроснабжения он желает получить.

Со своей стороны сетевая компания обязуется обеспечить потребителю надежность электроснабжения за счет проведения соответствующих технических мероприятий или экономически, то есть за счет компенсации убытков, понесенных потребителем из-за прерываний электроснабжения. Распределять денежные средства, полученные от потребителей в качестве оплаты услуги, между этими двумя альтернативными вариантами сетевой компании целесообразно в соответствии с критерием минимума суммарных затрат. Техническое мероприятие по повышению уровня надежности электроснабжения конечного потребителя электроэнергии следует осуществлять в том случае, если затраты на его финансирование оцениваются меньшей величиной, чем сокращение компенсационных выплат вследствие его проведения.

Расчет стоимости услуги по обеспечению индивидуального уровня надежности предлагается осуществлять исходя из условия, что за обеспечение адресного уровня надежности конечные потребители должны заплатить сумму, равную компенсационным выплатам, в случае если сетевая компания не проводила никаких технических мероприятий:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T C_{it} = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T Y_{it}, \quad (1)$$

где:  $N$  — количество потребителей, заключивших с РСК договор на обеспечение адресного уровня надежности;

$T$  — срок договора на обеспечение адресного уровня надежности;

$C_{it}$  — плата  $i$ -го потребителя в  $t$ -й год действия договора на обеспечение адресного уровня надежности;

$Y_{ij}$  — компенсация убытков  $i$ -го потребителя в  $t$ -й год действия договора на обеспечение адресного уровня надежности.

Размер компенсации убытков потребителя из-за прерывания электроснабжения можно оценить как:

$$Y_i = y_i \cdot \Delta \mathcal{E}_i, \quad (2)$$

где:  $y_i$  — заявляемый  $i$ -м потребителем удельный размер убытков, или размер компенсации за недоотпуск 1 кВт-ч;

$\Delta \mathcal{E}_i$  — фактический недоотпуск электроэнергии  $i$ -му потребителю.

Стоимость услуги по обеспечению адресного уровня надежности электроснабжения для  $i$ -го конечного потребителя может определяться пропорционально его электропотреблению:

$$C_i = c_i \cdot \bar{\mathcal{E}}_i, \quad (3)$$

где:  $c_i$  — стоимость услуги на 1 кВт-ч потребления электроэнергии для  $i$ -го конечного потребителя электроэнергии;

$\bar{\mathcal{E}}_i$  — среднегодовой объем электропотребления  $i$ -го конечного потребителя электроэнергии.

Чем большую надежность желает получить конечный потребитель, тем больше для него должна быть цена за соответствующую услугу. Будем определять стоимость услуги на 1 кВт-ч потребления электроэнергии в виде:

$$c_i = \alpha \cdot y_i, \quad (4)$$

где  $\alpha$  — искомый параметр.

С учетом (1) — (4) получаем:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \bar{y}_i \cdot \Delta \bar{\mathcal{E}}_{it}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \bar{y}_i \cdot \bar{\mathcal{E}}_{it}}, \quad (5)$$

Если услугу на обеспечение адресной надежности заключают потребители, присоединенные к электрической сети по разным категориям надежности, то значения  $\alpha$  должны рассчитываться индивидуально. Потребители, имеющие более высокую категорию надежности, уже частично внесли плату за обеспечение надежности их электроснабжения. Соответственно стоимость разрабатываемой услуги для них должна быть ниже, чем для потребителей более низких категорий надежности, даже при равных заявленных величинах  $y_i$ .

В этом случае расчет можно проводить индивидуально по каждому потребителю, исходя из условия:

$$\sum_{t=1}^T C_{it} = \sum_{t=1}^T Y_{it}, \quad (6)$$

Тогда

$$\alpha_i = \frac{\sum_{t=1}^T \Delta \bar{\mathcal{E}}_{it}}{\sum_{t=1}^T \bar{\mathcal{E}}_{it}}, \quad (7)$$

Предполагается, что доля недоотпуска электроэнергии потребителям, имеющим более высокую категорию надежности, меньше по сравнению с аналогичным значением для потребителей более низкой категории надежности. Следовательно, при равных заявленных значениях  $y_i$  при расчете стоимости разрабатываемой услуги с использованием значений, полученных по (7), первые заплатят меньше.

Помимо учета уже обеспеченного и оплаченного потребителем уровня надежности второй способ расчета имеет еще одно существенное преимущество относительно первого. Вычисления по (7) понятнее и прозрачнее для потребителя, что особенно важно при условии, что предлагаемая услуга является необязательной, то есть потребитель самостоятельно принимает решение о заключении соответствующего договора.

Очевидно, если рассчитывать стоимость услуги исходя из равенства (6), потребитель не несет никаких дополнительных затрат, заключая договор на обеспечение индивидуального уровня надежности. Если сетевая компания не проводит никаких технических мероприятий по повышению уровня надежности электроснабжения конкретного потребителя, то она возвращает последнему все полученные от него денежные средства в виде компенсационных выплат. В противном случае плата потребителя составит величину, равную убыткам, которые бы он понес из-за прерываний электроснабжения, не заключив договор на обеспечение индивидуального уровня надежности.

### 3. Расчет стоимости услуги по обеспечению индивидуального уровня надежности с учетом допустимого недоотпуска

Выше был рассмотрен случай, когда потребителю компенсируется весь недоотпуск электроэнергии. Однако в общем случае существует некая величина недоотпуска, кото-

рую потребитель готов терпеть. К примеру, у последнего может быть установлен автономный резервный источник питания, или технологический процесс может допускать кратковременные прерывания электроснабжения.

В этой ситуации на этапе заключения договора потребитель помимо значения  $y_i$  задает величину  $\Delta \mathcal{E}_i^{don}$  — допустимый недоотпуск электроэнергии, или недоотпуск, по которому сетевая компания не будет выплачивать компенсацию:

$$Y_i = y_i \cdot (\Delta \mathcal{E}_i - \Delta \mathcal{E}_i^{don}), \tag{8}$$

Допустимый недоотпуск может быть задан потребителем через продолжительность допустимого недоотпуска  $t_i^{don}$ . При этом оценить значение  $\Delta \mathcal{E}_i^{don}$  можно следующим образом:

$$\Delta \mathcal{E}_i^{don} = t_i^{don} \cdot P_i^{cp}, \tag{9}$$

где:  $P_i^{cp}$  — средняя мощность  $i$ -го потребителя.

Стоимость услуги по обеспечению индивидуального уровня надежности для  $i$ -го потребителя при отличном от нуля значении  $\Delta \mathcal{E}_i^{don}$  снизится, так как (7) примет вид:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{t=1}^T (\Delta \bar{\mathcal{E}}_{it} - \Delta \mathcal{E}_{it}^{don})}{\sum_{t=1}^T \bar{\mathcal{E}}_{it}}, \tag{10}$$

#### 4. Расчет стоимости услуги по обеспечению индивидуального уровня надежности с учетом системных эффектов

Пусть  $N$  конечных потребителей электроэнергии заключили с электросетевой компанией договоры на обеспечение индивидуального уровня надежности. Сетевая компания, в свою очередь, провела соответствующие технические мероприятия в отношении этих потребителей. Повышение адресных надежностей электроснабжения отдельных потребителей окажет положительное влияние на общесистемные показатели надежности, и тариф на передачу электроэнергии для рассматриваемой сетевой компании на следующий отчетный период будет скорректирован с применением повышающего коэффициента [6].

Таким образом, потребители, заключившие договор на услугу по обеспечению индивидуального уровня надежности, будут вынуждены возмещать затраты сетевой компании на повышение надежности электроснабжения дважды. Чтобы этого не допустить, необходимо скорректировать модель расчета стоимости разрабатываемой услуги (3) с учетом системных эффектов:

$$C_i = (c_i - K \cdot S) \cdot \bar{\mathcal{E}}_i, \text{ при } K \cdot S \leq c_i, K > 0, \tag{11}$$

где:  $K$  — коэффициент, корректирующий тариф на передачу электрической энергии с учетом уровня надежности и качества оказываемых электросетевой компанией услуг;

$S$  — тариф на передачу электрической энергии.

Если общесистемный показатель надежности за отчетный период имеет высокое значение, при расчете тарифа на передачу электроэнергии устанавливается повышающий корректировочный коэффициент ( $K > 0$ ). В этом случае потребители, заключившие договор на обеспечение адресной надежности электроснабжения, оплачивают проведенные сетевой компанией в целях повышения надежности технические мероприятия в размере  $K \cdot S \cdot \bar{\mathcal{E}}_i$  через тариф на пере-

дачу электроэнергии. На эту же величину для них уменьшается стоимость индивидуальной услуги по обеспечению надежности электроснабжения. Суммарно для потребителя это равносильно ситуации, если бы он оплатил только индивидуальную услугу.

Если тариф на передачу электроэнергии по результатам деятельности сетевой компании в отчетном периоде не корректировался, то коэффициент  $K = 0$ , а выражение (11) принимает вид (3).

Такой подход является более справедливым. Кроме того, учет системных эффектов при расчете стоимости индивидуальной услуги по обеспечению надежности электроснабжения будет стимулировать потребителей заключать договоры на обеспечение адресной надежности. И при наличии этого договора, и при его отсутствии потребителю придется платить за повышение надежности электроснабжения. Однако в первом случае он гарантированно получает результат в виде снижения убытков из-за недоотпуска электроэнергии, тогда как во втором случае при повышении общесистемных показателей надежности его индивидуальный уровень надежности может остаться неизменным или понизиться.

#### Выводы

В статье представлены три модели расчета стоимости услуги по обеспечению конечному потребителю адресного уровня надежности. В первом случае предполагается, что сетевая компания компенсирует весь недоотпуск электроэнергии.

Второй случай учитывает готовность потребителя иметь определенную величину недоотпуска электроэнергии. К примеру, если у потребителя есть автономный источник питания, то размер недоотпуска, убытки по которому должна возместить сетевая компания, целесообразно уменьшить на объем энергии, который может обеспечить этот автономный источник. Стоимость услуги по обеспечению индивидуального уровня надежности при этом для данного потребителя снижается.

Представление обеспечения адресной надежности как самостоятельной услуги, предоставляемой за рамками правил розничного рынка, с одной стороны, требует принятия его правил в качестве условий, не подлежащих корректировке. С другой стороны, разрабатываемая модель должна учитывать общесистемные экономические эффекты, к которым в рамках действующего законодательства приведет повышение надежности электроснабжения в индивидуальном порядке. В связи с этим в третьей модели, представленной в статье, стоимость услуги по обеспечению адресной надежности уменьшается на величину, на которую увеличится тариф на передачу электроэнергии в том случае, если сетевая компания обеспечит высокие показатели надежности и качества предоставляемых услуг.

Обе корректировки модели положительно скажутся на отношении конечных потребителей к разрабатываемой услуге. Учет допустимого недоотпуска позволит им использовать созданные ранее собственные автономные средства обеспечения надежного электроснабжения, а дополнительно покупать только надежность, превышающую собственные возможности для ее обеспечения.

Учет системных эффектов также делает услугу по обеспечению адресной надежности более привлекательной для потребителей. При заключении соответствующего договора с потребителя фактически снимается надбавка за высокие показатели общесистемной надежности. Он оплачивает только ту надежность, которая фактически ему обеспечивается.