

УДК 338.58

**А. П. Ильин**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»,  
Санкт-Петербург, e-mail: ilyin.ap.89@gmail.com

## ИНТЕГРАТИВНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧИМОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ УСЛУГИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**Ключевые слова:** надежность электроснабжения, ущерб, значимость потребителя, интегративная методика, сценарный метод.

В Российской Федерации остро стоит проблема износа электросетевой инфраструктуры. Проведение ремонтов электроэнергетического оборудования требует значительных инвестиций. Это делает невозможным их одновременное проведение. Вследствие чего увеличивается количество аварий и отказов в электроснабжающей системе. Для повышения надежности электроснабжения программа ремонтных мероприятий должна составляться с учетом значимости потребителей, на которых данные мероприятия оказывают эффект. Оценку значимости потребителей необходимо осуществлять в соответствии с возможными последствиями, к которым могут привести нарушения электроснабжения. Причем под последствиями необходимо понимать не только экономические риски, но и социально-экологические, которые могут быть рассмотрены в соответствии с концепцией устойчивого развития. Однако точный расчет последствий нарушения электроснабжения представляет собой нетривиальную задачу ввиду трудоемкости и отсутствия необходимых данных. В то же время необходимым конечным результатом является ранжирование ремонтных мероприятий по очередности проведения. Автором разработана и апробирована методика расчета значимости потребителей, которая может быть использована при реализации мероприятий по повышению надежности электроснабжения в электросетевых компаниях в целях получения максимального положительного эффекта. Разработанная методика может быть адаптирована для нужд конкретной электросетевой компании.

**A. P. Ilin**

Saint-Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg,  
e-mail: ilyin.ap.89@gmail.com

## INTEGRATIVE METHOD FOR DETERMINING THE IMPORTANCE OF CONSUMER OF THE ELECTRIC SUPPLY

**Keywords:** reliability of power supply, damage, importance score of the consumer, integrative methodology, scenario method.

In the Russian Federation, the problem of depreciation of the power grid infrastructure is acute. Carrying out repairs of electric power equipment requires significant investments. This makes it impossible to conduct them simultaneously. As a result, the number of accidents and failures in the power supply system is increasing. To improve the reliability of power supply, the program of repair measures should be developed taking into account the importance of consumers. The assessment of the importance score of consumers must be carried out in accordance with the possible consequences that may result from power outages. Moreover, the consequences should be understood not only as economic risks, but also as social and environmental risks, which can be considered in accordance with the concept of sustainable development. However, the exact calculation of the consequences of a power failure is a non-trivial task due to the complexity and lack of necessary data. At the same time, the necessary end result is the ranking of repair activities according to the order in which they are carried out. The author has developed and approved a method for calculating the importance of consumers. This method can be used in the implementation of measures to improve the reliability of power supply in power grid companies in order to obtain the maximum positive effect. The developed methodology can be adapted to the needs of a particular power grid company.

### Введение

Необходимость повышения надежности электроснабжения потребителей отмечена в различных государственных документах, и в том числе в Энергетической стратегии

России [6]. В Российской Федерации остро стоит проблема износа электросетевой инфраструктуры [7]. Обеспечение оптимального уровня надежности электроснабжения является важной экономической задачей

[8]. Так как проведение ремонтов электро-энергетического оборудования требует значительных инвестиций, одновременное их проведение не всегда представляется возможным. Следствием этого является увеличение отказов и аварий в электро-снабжающей системе. Последствия таких отказов могут быть различны и приводить к различным видам ущерба. На данный момент отсутствуют рекомендации и нормативные документы по очередности реализации ремонтных мероприятий. В результате чего, зачастую мероприятия, направленные на повышения надежности электроснабжения внедряются беспорядочно. Так, согласно [5], основному нормативному документу, регулирующему правила организации технического обслуживания и ремонта электросетевого оборудования, очередность проведения мероприятий по ремонту электросетевого оборудования определяется решением руководителя. При этом никаких методических рекомендаций по определению данной очередности не дается.

Наиболее очевидным представляется необходимость расчета технико-экономического эффекта от проведения ремонтных мероприятий. Однако процесс таких расчетов для каждого ремонта является достаточно длительным и трудоемким. В то же время необходимым конечным результатом является ранжирование ремонтных мероприятий по очередности проведения.

Таким образом, с учетом различных последствий нарушения электроснабжения, для построения эффективной стратегии реализации ремонтных мероприятий, необходимо учитывать, на надежность электроснабжения каких потребителей данная конкретная работа может оказать влияние, а также значимость каждого потребителя. Под значимостью потребителя будем понимать меру приоритетности обеспечения надежного электроснабжения данного потребителя определенной электросетевой компанией. Указанным критерием определения значимости потребителя может являться потенциальный ущерб (прямой либо косвенный), который вероятно нанесет отключение электроснабжения конкретного потребителя. Причем под ущербом необходимо понимать не только экономический ущерб, связанный с порчей продукции и выходом из строя оборудования, а также возможные ущербы от реализации экологических и со-

циальных рисков, которые несет ненадежное электроснабжение [3].

Указанные риски могут быть рассмотрены в рамках стратегии устойчивого развития компании. Соответствие электросетевой компании стратегии устойчивого развития повышает ее репутацию, инвестиционную привлекательность, лояльность персонала, доверие среди целевой аудитории потребителей, структур власти, что в свою очередь сказывается и на экономических результатах [2].

#### *Особенности интегративного алгоритма оценки значимости потребителей*

С учетом вышеизложенного предлагается использовать интегративный алгоритм оценки значимости потребителей, представленный на рисунке. Алгоритм предполагает выделение категорий потребителей электроэнергии с однородным способом вычисления предполагаемого ущерба, рассчитываемого на основе сценарного метода. Значимость потребителя вычисляется в баллах и зависит как от категории, к которой он относится, так и от его масштабов. Преимуществом данного алгоритма является отсутствие необходимости производить большой объем вычислений для расчета значимости отдельного потребителя, достаточно использовать заранее рассчитанные табличные значения. Алгоритм обладает адаптивностью и может быть подстроен под нужды конкретной сетевой компании.

#### *Описание блоков интегративного алгоритма*

В соответствии с алгоритмом выделение категорий потребителей электроэнергии происходит в зависимости от основного технологического процесса и климатического региона таким образом, чтобы каждому потребителю можно было сопоставить только одну категорию. При этом возможно, как использовать разделение, предложенное автором (табл. 1), так и выделять категории для конкретной электросетевой компании в зависимости от особенностей деятельности, например, для моносетевой компании.

Необходимо отметить, что в зависимости от специфики электросетевой компании категории потребителей могут отличаться, так, например, некоторые из категорий, предложенных автором могут быть разделены на более узкие категории.

Далее проводится группировка возможных сценариев развития аварии, вызванной нарушением электроснабжения.

Таблица 1

Разделение потребителей на группы

№	Категория потребителя (в зависимости от технологического процесса)	Климатический регион
1	Переработка (ГПЗ, ГЗ, ЗСК, ЗПКТ)	-
2	Транспорт и хранение (ГКС, КС (на границе с зарубежными контрагентами), КС и ПХГ (с ЭГПА), КС (с ГПА), НПС, ПХГ, КС многоцеховые (3 и более КЦ), АГРС (ГРС), станции катодной защиты, блок-боксы телемеханики)	-
3	Добыча (ГП, УКПГ, УППГ, ПСП, ДКС (с ЭГПА), ДКС (ГПА), Скважины газовые (газоконденсатные), станции катодной защиты, крановые узлы)	Субтропический/ Умеренный Субарктический/ Арктический
4	Прочие потребители нефте-газового сектора (УМТСиК, УТТиСТ, УАВР, УЭЗС, АГНКС)	-
5	Смежные ТСО	-
6	Организации железнодорожного, водного и воздушного транспорта – в отношении объектов систем диспетчерского управления, блокировки, сигнализации и защиты железнодорожного, водного и воздушного транспорта, а также субъекты электроэнергетики – в отношении диспетчерских центров субъектов оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике и центров управления объектами электросетевого хозяйства.	-
7	Угольные и горнорудные предприятия – в отношении объектов вентиляции, водоотлива и основных подъемных устройств.	-
8	Федеральные ядерные центры и объекты, работающие с ядерным топливом и материалами.	-
9	Организации, выполняющие государственный оборонный заказ с использованием объектов производства взрывчатых веществ и боеприпасов с непрерывным технологическим процессом, – в отношении таких объектов.	-
10	Объекты коммунальной инфраструктуры, относящиеся к системам жизнеобеспечения, в том числе объекты тепло-, газо- и электроснабжения.	Субтропический/ Умеренный Субарктический/ Арктический
11	Объекты коммунальной инфраструктуры, относящиеся к системам жизнеобеспечения, в том числе объекты водоснабжения и водоотведения, очистки сточных вод, обработки, утилизации, обезвреживания и захоронения твердых коммунальных отходов и прочие.	Субтропический/ Умеренный Субарктический/ Арктический
12	Объекты, используемые для организации доврачебной помощи, скорой и неотложной амбулаторно-поликлинической.	-
13	Дошкольные образовательные организации, другие образовательные организации, лечебно-профилактические учреждения.	-
14	Объекты, на которых осуществляется производство, переработка, хранение и реализация скоропортящихся и особо скоропортящихся продуктов (продуктовые фабрики, склады, магазины и прочее).	Субтропический/ Умеренный Субарктический/ Арктический
15	Объекты социально-бытового сектора и прочие, относящиеся к потребителям 3-ей категории надежности электроснабжения.	-

Автором предлагается рассматривать следующие четыре сценария:

*Сценарий 0:* Отключение электроэнергии на время работы автоматики.

*Сценарий 1 (минимальный):* Отключение электроэнергии на время ручного переключения на другие источники питания.

*Сценарий 2 (умеренный):* Отключение электроэнергии на время выезда ремонтной бригады.

*Сценарий 3 (критический):* Отключение электроэнергии на время ликвидации аварии и проведения ремонтно-восстановительных работ.

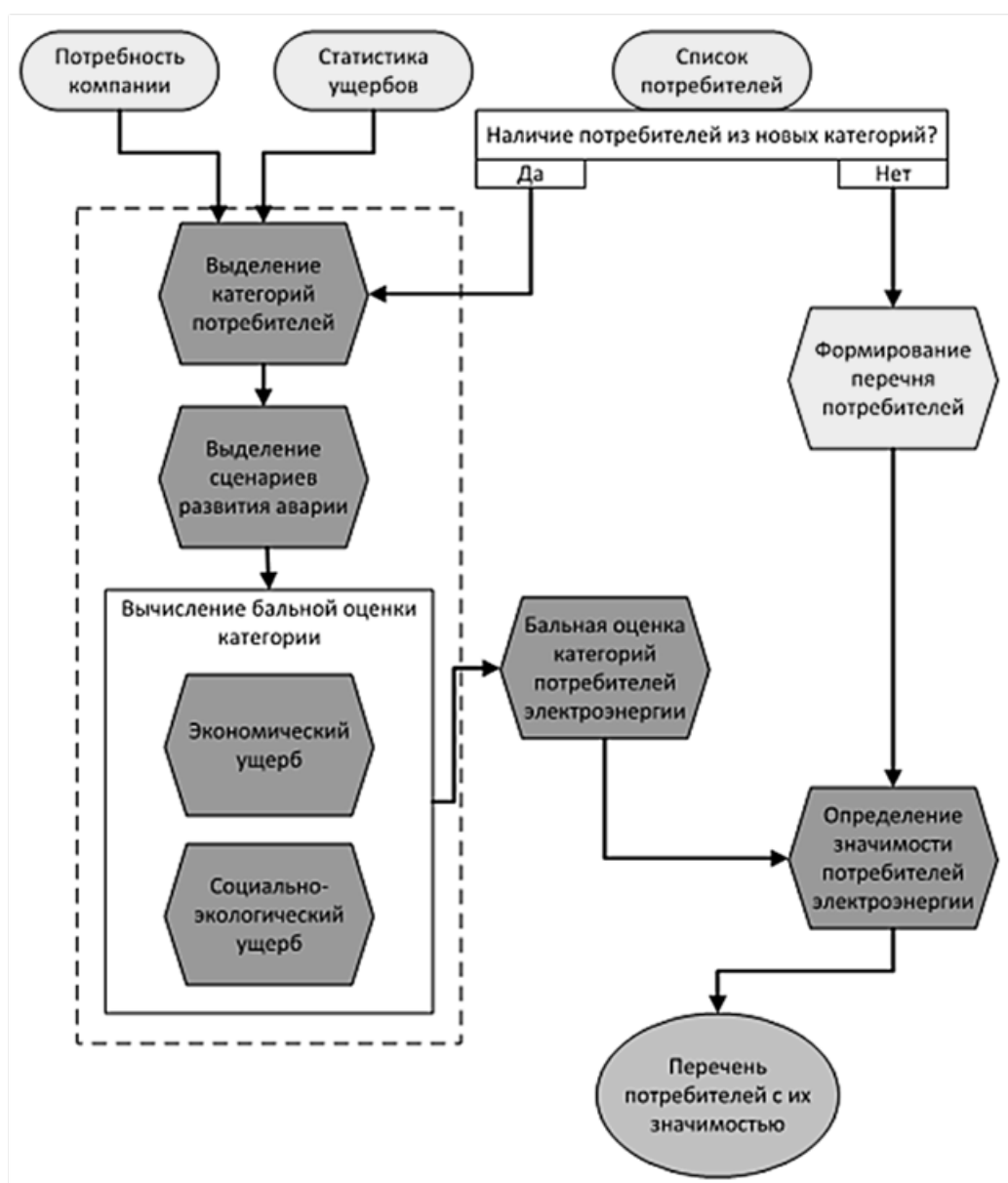
Каждому сценарию должна быть сопоставлена вероятность его реализации. С учетом отсутствия достаточной статистической информации рекомендовано использование экспертного метода оценивания. При этом необходимо отметить, что наибольшей объ-

ективности полученных результатов, в рамках конкретного предприятия, можно добиться путем сочетания экспертного мнения со статистическим методом.

Для каждой категории потребителей, в зависимости от основного технологического процесса, необходимо определить типовые сценарии реализации аварий и их последствия, как экономические, так и социально-экологические. Автором предлагается выделение категорий социально-экологических последствий на основе ESG подхода [9]:

- Загрязнение атмосферного воздуха;

- Загрязнение водных ресурсов;
- Загрязнение и уничтожение земельных ресурсов;
- Отрицательное влияние на биоразнообразие;
- Отрицательное влияние на региональное развитие;
- Последствия государственного риска;
- Опасность для жизни людей;
- Нарушение нормальной жизнедеятельности значительного количества работников предприятия или потребителей;
- Отсутствие взаимодействия с заинтересованными сторонами.



*Интегративный алгоритм определения значимости потребителей*

Таблица 2

Оценка экологических и социальных факторов ущерба

Экологические и социальные факторы	Бальные коэффициенты
Загрязнение атмосферного воздуха	10
Загрязнение водных ресурсов	10
Загрязнение и уничтожение земельных ресурсов	10
Отрицательное влияние на биоразнообразие	10
Последствия государственного риска	15
Опасность для жизни людей	20
Нарушение нормальной жизнедеятельности значительного количества работников предприятия или потребителей	10
Отрицательное влияние на региональное развитие	10
Отсутствие взаимодействия с заинтересованными сторонами	5

Вычисление экономической составляющей оценки категории производится на основе возможного экономического ущерба. В соответствии со сценарным методом расчета ущерба [1, 4], определим экономическую составляющую ущерба потребителей  $r$ -ой категории по формуле:

$$P_{\text{эконом}}^{(r)} = \sum_{i=1}^M p^{(ci,r)} \cdot P_{\text{эконом}}^{(ci,r)},$$

где  $P_{\text{эконом}}^{(r)}$  – экономическая составляющая полного ущерба от перерыва в электроснабжении объекта  $r$ -ой категории, руб.;  $P_{\text{эконом}}^{(ci,r)}$  – экономический ущерб для  $ci$ -го типового сценария перерыва электроснабжения объекта  $r$ -ой категории потребителей, руб.;  $M$  – количество выделенных сценариев развития аварии;  $p^{(ci,r)}$  – относительная частота реализации  $ci$ -го типового сценария для  $r$ -категории потребителей.

Для каждой категории потребителей необходимо определить величину «среднее значение масштаба»,  $K^{(r)}$ , соответствующую масштабу усредненного потребителя категории  $r$ , для которого значение возможного экономического ущерба принимает значение  $P_{\text{эконом}}^{(r)}$ .

Далее необходимо сопоставить каждой категории бальную оценку  $G_{\text{эконом}}^{(r)}$  в зависимости от величины возможного экономического ущерба по 100 бальной шкале.

Вычисление социально-экологической составляющей оценки категории производится аналогичным образом. Отличие состоит в том, что возможные социально-экологические последствия при реализации каждого сценария развития аварии оцени-

ваются экспертом в баллах, таким образом, чтобы максимально возможное значение баллов сценария было равно 100 (табл. 2).

В соответствии со сценарным методом расчета, определим социально-экологическую составляющую ущерба потребителей  $r$ -ой категории по формуле:

$$P_{\text{соц.эк.}}^{(r)} = \sum_{i=1}^M p^{(ci,r)} \cdot P_{\text{соц.эк.}}^{(ci,r)},$$

где  $P_{\text{соц.эк.}}^{(r)}$  – социально-экологическая составляющая полного ущерба от перерыва в электроснабжении объекта  $r$ -ой категории, выраженная в баллах;  $P_{\text{соц.эк.}}^{(ci,r)}$  – социально-экологический ущерб для  $ci$ -го типового сценария перерыва электроснабжения объекта  $r$ -ой категории потребителей, выраженный в баллах;  $M$  – количество выделенных сценариев развития аварии;  $p^{(ci,r)}$  – относительная частота реализации  $ci$ -го типового сценария для  $r$ -категории потребителей.

Далее необходимо провести нормировку полученного значения к 100:

$$G_{\text{соц.эк.}}^{(r)} = \frac{P_{\text{соц.эк.}}^{(r)}}{\max_r(P_{\text{соц.эк.}}^{(r)})} \cdot 100,$$

где  $G_{\text{соц.эк.}}^{(r)}$  – социально-экологическая составляющая бальной оценки потребителей  $r$ -ой категории.

Полученные результаты могут быть объединены в таблицу 3.

Огромным преимуществом интегративного метода расчета значимости потребителей является отсутствие необходимости производить описанные вычисления при редактировании перечня потребителей.

Таблица 3

Табличное представление данных об оценке категорий потребителей

№ п/п	Наименование категории потребителя	Климатический регион	Размерность масштаба	Среднее значение масштаба	$P_{соц.эк.}^{(r)}$	$G_{соц.эк.}^{(r)}$
...	.....	.....	.....	.....	.....	.....

В ходе проведения исследования автором были рассчитаны балльные оценки категорий потребителей, которые могут быть использованы в дальнейших расчетах.

Формирование перечня потребителей осуществляется путем сопоставления каждому потребителю электросетевой компании определенной категории. При этом каждому потребителю должно быть сопоставлено значение масштаба  $K_{id}$ .

Вычисление значимости происходит в два этапа. Первым этапом вычисляется экономическая составляющая значимости. Для этого необходимо вычислить балльную оценку экономической составляющей ущерба потребителю  $id$  категории  $r$ :

$$G_{эконом(id)}^{(r)} = \frac{G_{эконом.}^{(r)}}{K^r} \cdot K_{id}^r,$$

где  $G_{эконом(id)}^{(r)}$  – балльная оценка категории значимости в баллах;  $K_{id}^r$  – значение масштаба потребителя  $id$  категории  $r$ ;  $K^r$  – значение масштаба потребителей категории  $r$ .

Далее с помощью нормирования возможно вычислить экономическую составляющую значимости потребителя:

$$F_{эконом(id)}^{(r)} = \frac{G_{эконом(id)}^{(r)}}{\max_{id}(G_{эконом(id)}^{(r)})} \cdot 100.$$

В общем случае социально-экологическая составляющая значимости потребителя  $id$  категории  $r$  совпадает с социально-

экологической составляющей балльной оценки потребителей:

$$G_{соц.эк.}^{(r)} = F_{соц.эк.}^{(r)}.$$

Общая значимость потребителя  $id$  категории  $r$  может быть определена:

$$F_{(id)}^{(r)} = F_{эконом(id)}^{(r)} + F_{соц.эк(id)}^{(r)}.$$

В дальнейшем при формировании перечня мероприятий по повышению надежности электроснабжения, необходимо оценивать на потребителей какой значимости данные мероприятия будут оказывать влияние, по результатам данной оценки – принимать решение об очередности реализации мероприятия.

### Заключение

Для повышения надежности электроснабжения программа ремонтных мероприятий должна составляться с учетом значимости потребителей, на которых данное мероприятие оказывает эффект. Предложенный интегративный алгоритм определения значимости потребителей учитывает возможные последствия нарушения электроснабжения по трем направлениям – экономическому, социальному и экологическому. Интегративный алгоритм может быть использован для выбора оптимальных мероприятий из общего объема необходимых в условиях недостаточного установленного лимита средств.

### Библиографический список

1. 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.
2. Игловская А.И., Сальникова А.А. Оценка эффективности систем корпоративной социальной ответственности электросетевых компаний России с использованием метода анализа среды функционирования // Век качества. 2019. № 3. С. 86-105.

3. Ильин А.П. О необходимости учета значимости потребителей при управлении надежностью электроснабжения // Международная научно-практическая конференция «Развивая энергетическую повестку будущего» для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК. [Электронный ресурс]. URL: <https://eaf.etu.ru/assets/files/eaf21/index.html> (дата обращения: 04.03.2022).
4. Лесных В.В., Тимофеева Т.Б., Петров В.С. Проблемы оценки экономического ущерба, вызванного перерывами в электроснабжении // Экономика региона. 2017. № 3.
5. СО 34.04.181-2003 Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей. М.: «РАО ЕЭС России», 2004/ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=418097#kf1yc5T8uMo0my2T3> (дата обращения: 04.03.2022).
6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009г. № 1715-р // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения: 04.03.2022).
7. Репетюк С.В., Шеваль Ю.В. Экспертно-аналитическая записка по теме: «Электросетевой комплекс Российской Федерации: анализ состояния и организационная структура». Институт экономики естественных монополий РАНХиГС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/17f/17f7ecb11df3670f406e3e0f19ea0da8.pdf> (дата обращения: 04.03.2022).
8. Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития: аналит. докл. к XV апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 1–4 апр. 2014 г. / О.Г. Баркин, И.О. Волкова, И.С. Кожуховский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М., 2014.
9. Take Action for The Sustainable Development Goals. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/> (дата обращения: 04.03.2022).