



УДК 311.4

DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2500-3925-2026-1-29-38>

А.Ф. Плеханова, Д.Ю. Сухарев

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

# Формирование шкалы ремонтных приоритетов оборудования электроэнергетики промышленного предприятия на основе анализа статистических данных

Статья посвящена концептуальным методам определения приоритетности выполнения технического обслуживания и ремонта оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия, как важному фактору управления основными фондами предприятия. Представлена и описана вычислительная процедура комплексной сравнительной оценки критичности выполнения технического обслуживания отдельных единиц однотипного оборудования, с целью рационального распределения операционного и инвестиционного бюджетов предприятия на примере объекта электроэнергетики АО «Выксунский металлургический завод». Представлены результаты апробации предложенной вычислительной процедуры, позволившие, выполнить распределение объема ремонтной программы однотипного электрооборудования предприятия с учетом величины его влияние на непрерывность технологического процесса.

**Цель исследования.** Выполнение оценки экономической эффективности реализуемых программ технического обслуживания и ремонта парка однотипного оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия и построение их рейтинга на основе применения оригинальной вычислительной процедуры комплексной сравнительной оценки с применением весовых коэффициентов — индикаторов.

**Материалы и методы.** Для выполнения настоящего исследования, автором применялся метод комплексной сравнительной оценки экономической эффективности, применяемых к однотипному оборудованию электроэнергетической инфраструктуры предприятия, программ технического обслуживания и ремонта. Оценка производилась с применением двух весовых коэффициентов — индикаторов: «коэффициента критичности» и «коэффициента ущерба». Сбор необходимых для исследования исходных данных был выполнен на основе анализа операционной, диспетчерской, учетной, оперативно-технической и финансово-отчетной документации подразделения промышленного предприятия, осуществляющего эксплуатацию и техническое

обслуживание рассматриваемого парка оборудования. В качестве применяемых инструментов обработки, собранных в ходе исследования данных, автором применялись методы: рейтинговой оценки, нормирования и обобщения результатов. Результаты исследования представлены с применением графического метода.

**Результаты.** Для каждой оцениваемой группы однотипного оборудования узла электроснабжения промышленного предприятия, включенного в выборку, оценен уровень технического и экономического влияния на производственный процесс. Результаты оценки могут быть полезны при определении приоритетности технического обслуживания, распределении операционных и инвестиционных финансовых ресурсов.

**Заключение.** Применяя предложенную систему комплексной оценки и апробируя ее, при определении ремонтных приоритетов на действующем оборудовании электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия АО «Выксунский металлургический завод», были выявлены группы отдельных единиц электросетевого оборудования, обладающего более высокой критичностью, в сравнении с остальными единицами выборки, при этом, получающие нормированный объем технического обслуживания и определены единицы с минимальным уровнем критичности, полный отказ от технического обслуживания которых, в среднесрочной перспективе, никак не повлияет на технико-экономические показатели реализуемого на предприятии технологического процесса. Исследование выявило наличие резерва повышения эффективности эксплуатации оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия, за счет снижения затрат на техническое обслуживание отдельных наименее критичных единиц.

**Ключевые слова:** повышение эффективности, электрооборудование, приоритетность ремонта, система технического обслуживания, снижение затрат, распределение бюджета ремонтов.

Anna F. Plekhanova, Dmitry Y. Sukharev

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. Nizhny Novgorod, Russia

## Formation of a Scale of Repair Priorities for Electric Power Equipment of an Industrial Enterprise Based on the Analysis of Statistical Data

The article is devoted to conceptual methods for determining the priority of performing maintenance and repair of equipment of the electric power infrastructure of an industrial enterprise, as an important factor in managing the company's fixed assets. A computational procedure for a comprehensive comparative assessment of the criticality of performing maintenance on individual units of the same type of equipment is presented and described in order to rationalize the operating and investment budgets of an enterprise using the example of an electric power facility of JSC

“Vyksa metallurgical plant”. The results of the approbation of the proposed computational procedure are presented, which made it possible to distribute the volume of the repair program of the same type of electrical equipment of the enterprise, taking into account the magnitude of its impact on the continuity of the technological process.

**The purpose of the study.** Performing an assessment of the economic efficiency of the implemented maintenance and repair programs for the fleet of the same type of equipment of the electric power infrastructure of an industrial enterprise and making their rating

based on the application of an original computational procedure for a comprehensive comparative assessment using weighting coefficients – indexes.

**Materials and methods.** To carry out this research, the author applied the method of a comprehensive comparative assessment of the economic efficiency of maintenance and repair programs applied to the same type of equipment of the electric power infrastructure of the enterprise. The assessment was carried out using two weighting coefficients – indicators: the “criticality coefficient” and the “damage coefficient”. The collection of the initial data necessary for the study was carried out based on the analysis of the operable, dispatch, accounting, operational, technical and financial reporting documentation of the industrial enterprise unit operating and maintaining the equipment fleet in question. The author applied the following methods of processing the data collected during the study: rating assessment, normalization and generalization of results. The results of the study are presented using the graphical method.

**Results.** The level of technical and economic impact on the production process was assessed for each evaluated group of the same type of equipment of the power supply unit of an industrial enterprise included in the sample. The evaluation results can be

useful in determining the priority of maintenance, allocation of operational and investment financial resources.

**Conclusion.** Applying the proposed comprehensive assessment system and testing it, when determining repair priorities on the existing equipment of the electric power infrastructure of the industrial enterprise of JSC “Vyksa metallurgical plant”, groups of individual units of electric grid equipment with a higher criticality were identified in comparison with other sample units, while receiving a standardized volume of technical maintenance and units with a minimum level of criticality are determined, the complete abandonment of technical maintenance of which, in the medium term, will in no way affect the technical and economic indexes of the technological process implemented at the enterprise. The study revealed that there is a reserve for improving the efficiency of operating the equipment of the electric power infrastructure of an industrial enterprise by reducing the maintenance costs of certain least critical units.

**Keywords:** efficiency improvement, electrical equipment, priority of repairs, maintenance system, cost reduction, budget allocation of repairs.

## Введение

Большинство современных промышленных предприятий, независимо от отрасли производства и реализуемых в условиях предприятий технологических процессов, эксплуатирует значительное количество типового оборудования [1]. В условиях рыночной экономики, данный подход позволяет снижать все виды затрат, возникающих в процессе проектирования, строительства и, конечно, эксплуатации этого оборудования. Наиболее ярко этот факт выражается в составе парка оборудования энергетической и электроэнергетической инфраструктуры. В целом, набор оборудования промышленной энергетики и электроэнергетики является типовым для предприятий, работающих в одной отрасли промышленности и в значительной степени унифицирован. С развитием систем технического обслуживания и ремонтов, в борьбе за снижение затрат на производство и снижение себестоимости выпускаемой продукции, актуальным становится вопрос снижения эксплуатационных затрат на оборудование электроэнергетической инфраструктуры, с условием сохранения уровня его технической надежности [2], в части влияния электропитания на реализуемый в

предприятии технологический процесс.

Наиболее доступным организационным подходом к снижению затрат на ремонт однотипного оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия является переход на риск-ориентированную модель организации технического обслуживания [3]. Суть такой модели заключается в оптимизации и общем снижении объема финансовых затрат на техническое обслуживание и ремонт отдельных единиц однотипного оборудования за счет формирования системы или шкалы ремонтных приоритетов. При этом, приоритетность определяется не как функция обеспечения надежности электроснабжения того или иного оборудования, а как функция влияния на технологический процесс промышленного предприятия, что соответствует его основному стратегическому приоритету и в полной мере согласовывается с требованиями бизнеса [4, 5]. Одновременно, система методов технического обслуживания и ремонта оборудования, основанная на риск-ориентированном подходе, не обеспечивает повышение уровня его технической надежности, она обеспечивает снижение уровня возможных рисков для технологического и бизнес-процесса предприятия [6].

Под риском в экономике ремонтов, как правило понимается произведение вероятности возникновения негативного события и величины ущерба, которое это событие может нанести [7]. С учетом, перечисленного выше, у руководителей и персонала промышленных предприятий, задействованных в организации технического обслуживания оборудования электроэнергетической инфраструктуры предприятия, возникает практическая экономико-организационная задача распределения ограниченного бюджета ремонтной программы, с учетом величины возможного риска, для технологического процесса от выхода из строя или отказа отдельной рассматриваемой единицы оборудования или технической системы, на работоспособность которой влияет эта отдельно взятая единица. Для решения этой практической задачи, необходимо обладать достаточной и достоверной информационной базой о величине экономических рисков от сбоев того или иного технологического процесса и показателях надежности и безотказности отдельных элементов системы электроснабжения [8, 9]. С учетом повсеместного внедрения различных информационных систем в процессы планирования и распределения всех видов ресурсов

промышленных предприятий, значительным образом снижается и трудоемкость получения исходных данных для расчета финансовых показателей и показателей надежности (если данные об отказах фиксируются и обрабатываются в существующих информационных системах), различных единиц оборудования, что экономит годы наблюдений или многочисленных испытаний на надежность [10,11]. Суть решения задачи, как правило, сводится не к поиску и сбору информации и исходных данных, для выполнения расчета, а к их правильной обработке и интерпретации под существующие задачи и бизнес-процессы [12].

Таким образом, целью исследования являлась разработка алгоритма расчета весовых коэффициентов — индикаторов приоритетности технического обслуживания однотипного оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия, на основе риск-ориентированного подхода и обоснование ее эффективности в решении практических задач распределения ограниченного объема бюджета ремонтов в условиях действующего промышленного предприятия.

Принимая во внимание результаты собственных исследований и проведенного анализа значительного объема отечественных и зарубежных публикаций по теме настоящего исследования, автором представлен алгоритм расчета коэффициентов — индикаторов приоритетности технического обслуживания однотипного оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия. Основные отличия алгоритма от методов расчета, предлагаемыми другими авторами, главным образом заключается в следующем:

1) основываясь на том, что критичные отказы электроо-

борудования на действующем промышленном предприятии происходят не только из-за низкого технического состояния рассматриваемого объекта, а даже в большей степени, под влиянием внешней среды, ошибок обслуживающего оперативного персонала, ненормальных режимов работы основного технологического оборудования и других объективных причин, в предлагаемом алгоритме расчета не учитывается индекс технического состояния или какая-либо другая характеристика его функциональной исправности.

2) предлагаемый вычислительный алгоритм оперирует легкодоступными, в условиях действующего промышленного предприятия, данными, имеющимися в эксплуатационной, оперативной, операционной и бухгалтерско-отчетной документации рассматриваемого производственного подразделения, для вычислений значений не требуется расчет вероятности отказа, при этом, сам предлагаемый метод, обладает высоким уровнем индикативности.

### Материалы и методы исследования

Суть применения весовых коэффициентов — индикаторов, для оценки критичности оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия — это выделение групп оборудования, при отказе одного из элементов которых, произойдет событие с наиболее тяжелыми последствиями для производственного процесса. С целью универсализации метода, в качестве таких тяжелых последствий для предприятия, рассматривается перерыв электроснабжения наибольшего числа электроприемников или (при наличии сведений), величина экономического ущерба, возникающего при прерывании технологического процес-

са, возникающего в результате сбойной ситуации в системе электроснабжения.

Для выполнения расчета весовых коэффициентов критичности оборудования электроэнергетической инфраструктуры предприятия требуется учет наиболее значимых факторов, влияющих на возможность возникновения перерыва электроснабжения технологического оборудования [13, 14]. К таким факторам относятся: 1) Величина потока отказов критичных элементов рассматриваемой группы/ветви электрооборудования. При расчете величины потока отказов учитываются все отказы, вызванные техническими, организационными, внешними и внутренними факторами; 2) Технические варианты резервирования отдельных единиц рассматриваемого оборудования; 3) Способ организации оперативно-диспетчерского обслуживания рассматриваемого электрооборудования — доступность оперативного и ремонтного персонала.

Процесс выполнения расчета предлагаемых автором весовых коэффициентов, предполагает расчет параметра потока отказов, под которым понимается частота возникновения критичного отказа отдельного элемента схемы. Критичный отказ — это отказ, после возникновения которого элемент схемы/ветвь электроснабжения или отдельно взятая единица оборудования перестает выполнять свою основную функцию — обеспечивать электроснабжение технологического электроприемника. В системах высоковольтного электроснабжения, как правило, критичный отказ — это отказ, связанный с коротким замыканием, разрушением восстанавливаемого элемента и временной неспособностью выполнять свою функцию [15]. Расчет значения потока отка-

зов технического элемента может быть выполнен в соответствии с формулами 1 и 2.

$$\lambda(t) = \omega(t) = \frac{1}{T} \quad (1)$$

$$\omega(t) = \frac{n(t_2) - n(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{dn(t)}{dt} \quad (2)$$

где  $n(t_1)$ ,  $n(t_2)$  — количество зафиксированных критичных отказов одного из функциональных элементов рассматриваемой группы оборудования за период наблюдения,  $T$  — продолжительность работы единицы оборудования, зафиксированная между его критичными функциональными отказами.

Таким образом, в соответствии с набором показателей, представленных на рисунке 1 и согласно формулы 3 может быть выполнен расчет потока критичных отказов для всей рассматриваемой группы оборудования.

$$\begin{aligned} \omega_{\text{общ}} = & \sum_{i=1}^K \omega_{K_{\text{mun}1}} \times N_{\text{mun}1} + \\ & + \sum_{i=1}^K \omega_{K_{\text{mun}2}} \times N_{\text{mun}2} + \\ & + \sum_{i=1}^K \omega_{K_{\text{mun}N}} \times N_{\text{mun}N}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\omega$  — поток критичных отказов отдельной единицы оборудования, входящей в рассматриваемую группу оборудования,  $N$  — количество однотипных единиц оборудования входящего в состав рассматриваемой группы, с одинаковыми значениями расчетного потока отказов.

В условиях рассмотрения реальной схемы электроснабжения производственного подразделения действующего промышленного предприятия, вид схемы учета показателей потока отказа отдельных единиц рассматриваемой группы оборудования, может принять вид, показанный на рисунке 2. В основном, к наиболее критичным элементам схемы электроснабжения промышленного

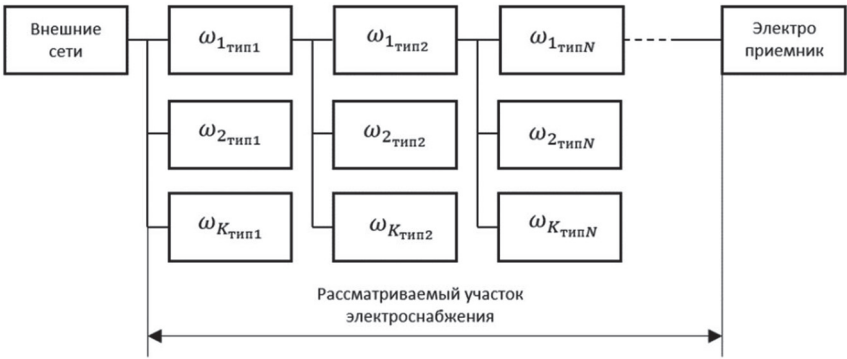


Рис. 1. Схема учета показателей потоков отказа отдельных единиц оборудования рассматриваемой группы

Fig. 1. Scheme for accounting of failure flow indexes of individual units of equipment of the group under consideration

Источник: составлено авторами по результатам кабинетного исследования  
Source: compiled by the authors based on the results of a desk study

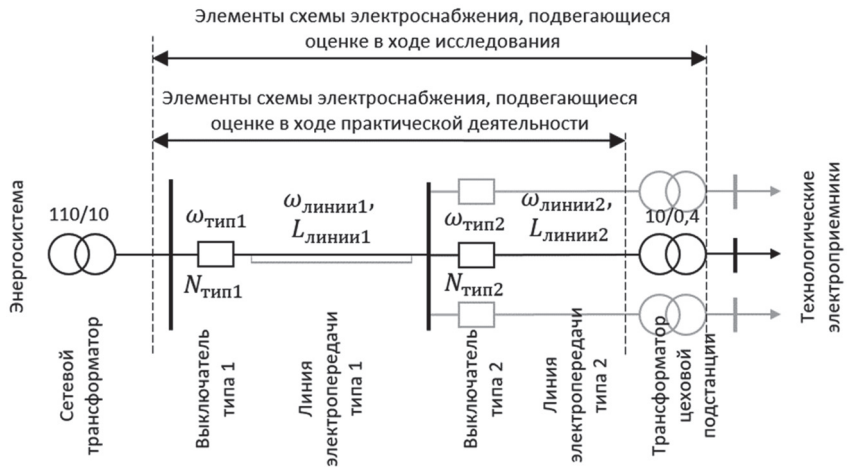


Рис. 2. Показатели потоков критичных отказов отдельных элементов участка реальной схемы электроснабжения промышленного предприятия

Fig. 2. Indexes of critical failure flows of individual elements of a section of the real power supply circuit of an industrial enterprise

Источник: составлено авторами по результатам кабинетного исследования  
Source: compiled by the authors based on the results of a desk study

предприятия относятся кабельные линии, коммутационные аппараты и трансформаторы. Именно отказы в перечисленных выше элементах приводят к коротким замыканиям в системе электроснабжения предприятия и, как следствие, перерывам электроснабжения основного технологического оборудования производственных подразделений. Значение предлагаемого «коэффициента ущерба», предлагается вычислять в соответствии с формулой 4.

$$K_y = \lambda(t) \times U \quad (4)$$

где  $\lambda(t)$  — показатель расчетного значения потока отказов груп-

пы оборудования,  $U$  — величина возникающего в результате перерыва электроснабжения экономического ущерба производственного подразделения предприятия.

В свою очередь, величина ущерба, в основном определяется из факторов, учтенных в формуле 5.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 \quad (5)$$

где  $U_1$  — экономический ущерб обусловленный фактором недовыпуска предприятием готовой продукции,  $U_2$  — экономический ущерб обусловленный фактором возникновения отходов произ-

водства и деятельностью по работе с ними,  $U_3$  — экономический ущерб обусловленный фактором необходимости возобновления технологического процесса производственного подразделения предприятия,  $U_4$  — экономический ущерб обусловленный фактором возможного повреждения основного технологического и вспомогательного оборудования, обусловленного его нештатной остановкой в результате прерывания технологического процесса,  $U_5$  — экономический ущерб обусловленный фактором необходимости возобновления технологического процесса, связанных, в том числе, с необходимостью мобилизации дополнительного ремонтного и технологического персонала.

Значение предлагаемого «коэффициента критичности», предлагается вычислять в соответствии с формулой 6.

$$K_k = N_{BB} \times T_{пер} \quad (6)$$

где  $N_{BB}$  — количество отдельно взятых электроприемников и узлов схемы электроснабжения, содержащие в себе перечисленные выше единицы оборудования, отказы которых могут привести к перерыву электроснабжения,  $T_{пер}$  — продолжительность нарушения электроснабжения, которое обусловлено критичным отказом одного из элементов схемы, в составе рассматриваемой группы.

В свою очередь, продолжительность внеплановой простой основного технологического оборудования производственного подразделения предприятия определяется в соответствии с формулой 7.

$$T_{пер} = T_{макс} + T_{восст} \quad (7)$$

где  $T_{макс}$  — продолжительность, непосредственно самого перерыва электроснабжения,  $T_{восст}$  — продолжительность восстановления технологического процесса выпуска готовой продукции.

### Шкала продолжительности возможных перерывов электроснабжения технологических электроприемников в зависимости от типа резервирования

Scale of duration of possible interruptions in power supply to technological power consumers depending on the type of redundancy

| № | Тип резервирования                                    | Продолжительность перерыва, ч |
|---|-------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 ввода + система «Автоматического включения резерва» | 0,016                         |
| 2 | 2 ввода                                               | 0,25                          |
| 3 | 1 ввод (2 КЛ)                                         | 3                             |
| 4 | 1 ввод (1 КЛ)                                         | 24                            |

Для простоты применения предложенных коэффициентов, операционная процедура предусматривает четыре типа возможного резервирования электроустановок. Каждому типу резервирования присваивается нормированная продолжительность перерыва электроснабжения. Продолжительности перерывов электроснабжения технологических электроприемников, в зависимости от типа резервирования схемы электроснабжения, применяемых в расчете, представлены в табл. 1.

При выполнении расчета показателей системы электроснабжения конкретного промышленного предприятия, коэффициенты могут и должны быть скорректированы с учетом способа организации оперативно-диспетчерского обслуживания группы рассматриваемых электроустановок.

Абсолютное значение плановых затрат на техническое обслуживание блока/группы оборудования определяется в соответствии с формулой 8.

$$C_{план_{N абс}} = \sum_{i=1}^K C_{K_{мин1}} \times N_{мин1} + \sum_{i=1}^K C_{K_{мин2}} \times N_{мин2} + \sum_{i=1}^K C_{K_{минN}} \times N_{минN} \quad (8)$$

где  $C_{K_{минN}}$  — нормированный объем затрат на ремонт единицы оборудования рассматриваемого типа в составе блока/группы  $N$ -го типа;

В ряде случаев, особенно, когда требуется масштабировать применение данного подхода, удобно абсолютные значения затрат на плановые и неплановые заменять относительными значениями. Расчет таких относительных значений может быть выполнен в соответствии с формулой 9.

$$C_{план_{N о.е.}} = \frac{C_{план_{N абс}}}{C_{макс}}, \quad (9)$$

где  $C_{план_{N абс}}$  — абсолютное значение плановых затрат в рублях на рассматриваемый блок/группу оборудования, которая подвергается оценке;  $C_{макс}$  — максимальное абсолютное значение плановых или неплановых затрат на блок/группу оборудования из оцениваемой выборки.

Аналогичный подход применяется для расчета неплановых затрат на выполнение аварийно-восстановительных ремонтов в относительных единицах. Расчет при этом производится в соответствии с формулами 10 и 11.

$$C_{\frac{неплан_{N абс}}{ед}} = \frac{C_{неплан_{N абс}}}{\sum N_{минN}} \quad (10)$$

где  $C_{неплан_{N абс}}$  — абсолютное значение неплановых затрат оцениваемого блока/группы на единицу оборудования;

Объем затрат на единицу оборудования группы/блока в относительных единицах определяется в соответствии с формулой:

$$C_{\frac{неплан_{N о.е.}}{ед}} = \frac{C_{\frac{неплан_{N абс}}{ед}}}{C_{макс}}, \quad (11)$$

где  $C_{\text{план}_{\text{абс}}/\text{ед}}$  — абсолютное значение плановых затрат в рублях на рассматриваемый блок/группу оборудования, которая подвергается оценке;

В ходе проведения исследования, с использованием перечисленных выше математических алгоритмов были использованы следующие методы: анализ, обобщение и статистическая обработка собранных в результате проведения исследования данных. Источниками данных для расчета, в условиях действующего промышленного предприятия послужили данные эксплуатационной, оперативной и операционной документации, данные экономических отчетов и бухгалтерско-отчетной документации (в статье абсолютные экономические показатели не представлены).

Результаты исследования

В ходе проведения исследования, предлагаемый вычислительный алгоритм был применен для оценки группы однотипного электросетевого оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия, в результате применения были получены группы значений, представленных выше показателей. Показатели надежности, полученные в результате сбора

статистики отказов отдельных узлов оборудования, аварийных событий в системе электроснабжения и сбойных ситуаций, представлены в табл. 2. Сбор показателей, представленных в статье, осуществлялся за период в 7 лет, с 2013 по 2020 годы.

Объем затрат на ремонт перечисленных 14 групп оборудования представлен в относительных показателях, в пересчете на единицу рассматриваемого оборудования, входящего в состав исследуемой группы. Такой подход обусловлен двумя факторами: 1) Объем оборудования в каждой взаимосвязанной группе различен, что показано в табл. 2; 2) Объем затрат на техническое обслуживание оборудования в абсолютных показателях является закрытой информацией предприятия, на котором производилось исследование.

Также, важным показателем, учитываемом в расчете весовых коэффициентов — индикаторов, является величина ущерба от перерыва электроснабжения технологического оборудования. В практических расчетах, величина определяется в соответствии с формулой 5 и рассчитывается экономистом производственного подразделения. На предприятии эти сведения легкодоступны. В рамках публикации,

абсолютные значения ущерба от перерыва электроснабжения технологического оборудования исследуемого предприятия не приводятся, также являясь закрытой информацией. Вместо абсолютных значений ущерба, в приведенном расчете применяются относительные значения: «0,25» — соответствует минимальному уровню экономического ущерба от простоя технологического оборудования, «0,5» и «0,75» — соответствуют среднему уровню возможного экономического ущерба, «1» — соответствует наивысшему значению ущерба. Предложенные относительные значения косвенно соответствуют степени тяжести экономических последствий для предприятия от возникновения сбойной ситуации в системе электроснабжения предприятия. При проведении оценки, на АО «Выксунский металлургический завод», в расчете использовались абсолютные значения, исчисляемые в рублях. Экономические показатели, используемые в расчете, в относительных единицах приведены в табл. 3.

На основании статистических данных, представленных в таблицах 2 и 3 построены диаграммы. На рисунке 3 представлена диаграмма затрат на проведение планового и непланового технического обслу-

Таблица 2 / Table 2

Статистические показатели надежности отдельных блоков оборудования узла электроснабжения промышленного предприятия

Statistical indexes of the reliability of individual units of equipment of the power supply unit of an industrial enterprise

|                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| № группы       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| КЛ, км         | 0,8   | 1,8   | 2,1   | 1,7   | 2,9   | 0,4   | 1,2   | 3,9   | 1,4   | 3,4   | 2,7   | 4,1   | 1,1   | 5,1   |
| Поток КЛ       | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  |
| Отказы КЛ/год  | 0,104 | 0,234 | 0,273 | 0,221 | 0,377 | 0,052 | 0,156 | 0,507 | 0,182 | 0,442 | 0,351 | 0,533 | 0,143 | 0,663 |
| Т, шт          | 3     | 2     | 6     | 3     | 1     | 2     | 1     | 4     | 2     | 4     | 6     | 5     | 2     | 6     |
| Поток Т        | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  |
| Отказы Т/год   | 0,03  | 0,02  | 0,06  | 0,03  | 0,01  | 0,02  | 0,01  | 0,04  | 0,02  | 0,04  | 0,06  | 0,05  | 0,02  | 0,06  |
| КРУ, шт        | 6     | 4     | 9     | 11    | 13    | 2     | 7     | 9     | 2     | 2     | 9     | 3     | 11    | 5     |
| Поток КРУ      | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  |
| Отказы КРУ/год | 0,18  | 0,12  | 0,27  | 0,33  | 0,39  | 0,06  | 0,21  | 0,27  | 0,06  | 0,06  | 0,27  | 0,09  | 0,33  | 0,15  |
| ИТОГ ПОТОК:    | 0,314 | 0,374 | 0,603 | 0,581 | 0,777 | 0,132 | 0,376 | 0,817 | 0,262 | 0,542 | 0,681 | 0,673 | 0,493 | 0,873 |

**Экономические показатели отдельных блоков оборудования узла электроснабжения промышленного предприятия**

**Economic indexes of individual equipment units of the power supply unit of an industrial enterprise**

| № группы             | 1     | 2    | 3    | 4     | 5     | 6    | 7    | 8    | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14   |
|----------------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Тип резерва          | 1     | 2    | 2    | 1     | 1     | 2    | 3    | 2    | 1     | 1     | 1     | 1     | 4     | 2    |
| Перерыв, ч           | 0,016 | 0,25 | 0,25 | 0,016 | 0,016 | 0,25 | 3    | 0,25 | 0,016 | 0,016 | 0,016 | 0,016 | 24    | 0,25 |
| Наладка, ч           | 0,5   | 0,5  | 1,5  | 1,5   | 0,5   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 1,5   | 0,5  |
| Простой, ч           | 0,52  | 0,75 | 1,75 | 1,52  | 0,52  | 0,75 | 3,50 | 0,75 | 0,52  | 0,52  | 0,52  | 0,52  | 25,50 | 0,75 |
| Ущерб норма, о.е.    | 1     | 0,75 | 1    | 0,5   | 0,25  | 0,25 | 0,5  | 1    | 0,75  | 0,25  | 0,25  | 0,75  | 0,25  | 0,5  |
| Ущерб факт, о.е.     | 0,52  | 0,56 | 1,75 | 0,76  | 0,13  | 0,19 | 1,75 | 0,75 | 0,39  | 0,13  | 0,13  | 0,39  | 6,38  | 0,38 |
| $K_y$                | 0,16  | 0,21 | 1,06 | 0,44  | 0,10  | 0,02 | 0,66 | 0,61 | 0,10  | 0,07  | 0,09  | 0,26  | 3,14  | 0,33 |
| $K_y$ , о.е.         | 0,05  | 0,07 | 0,34 | 0,14  | 0,03  | 0,01 | 0,21 | 0,19 | 0,03  | 0,02  | 0,03  | 0,08  | 1,00  | 0,10 |
| $K_k$                | 0,05  | 0,50 | 1,50 | 0,05  | 0,02  | 0,50 | 3,00 | 1,00 | 0,03  | 0,06  | 0,10  | 0,08  | 48,00 | 1,50 |
| $K_k$ , о.е.         | 0,00  | 0,01 | 0,03 | 0,00  | 0,00  | 0,01 | 0,06 | 0,02 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 1,00  | 0,03 |
| Затраты план, о.е.   | 0,91  | 0,91 | 0,91 | 0,91  | 0,91  | 0,91 | 0,91 | 0,91 | 0,91  | 0,91  | 0,91  | 0,91  | 0,91  | 0,91 |
| Затраты неплан, о.е. | 0,36  | 0,43 | 0,69 | 0,67  | 0,89  | 0,15 | 0,43 | 0,94 | 0,30  | 0,62  | 0,78  | 0,77  | 0,56  | 1,00 |
| Ремонт S             | 1,27  | 1,34 | 1,60 | 1,58  | 1,80  | 1,06 | 1,34 | 1,85 | 1,21  | 1,53  | 1,69  | 1,68  | 1,47  | 1,91 |

живания. Затраты представлены в относительных показателях. Значения затрат на плановое и неплановое техническое обслуживание пропорционально соответствуют друг-другу.

К затратам на плановое обслуживание относятся затраты на реализацию строго нормированного объема ремонта, в рамках регламентных программ планово-предупредительного технического обслуживания, поэтому в пересчете на отдельные единицы оборудования, в относительных показателях, диаграмма демонстрирует ряд одинаковых значений.

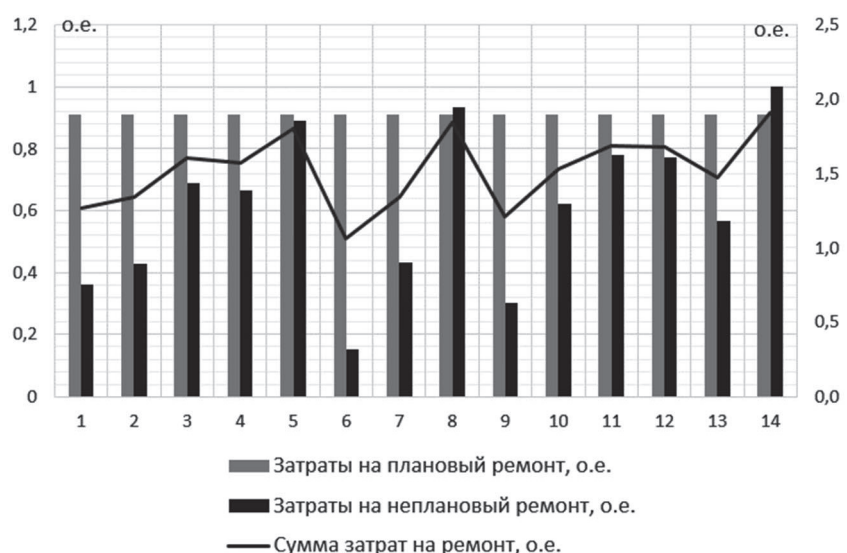
К затратам на неплановое обслуживание относятся затраты на выполнение неплановых аварийно-восстановительных ремонтов, необходимость в которых возникает в результате возникновения функционального отказа одного из критичных элементов системы электроснабжения, входящего в объем оцениваемой выборки.

Величина относительных затрат на неплановые ремонты оборудования обусловлена не большим количеством сбойных ситуаций в системе электроснабжения предприятия, требующих выполнения аварийно-восстановительных ремонтов, а низкая стоимость

планового технического обслуживания, в сравнении с неплановым — аварийным техническим обслуживанием. Наличие затрат на аварийный ремонт всех 14 групп оборудования обусловлено продолжительностью периода наблюдения. Таким образом, наличие затрат на неплановое техническое обслуживание, свидетельствует о наличии хотя-бы одного функционального отказа критично-

го элемента внутри группы из рассматриваемой выборки за исследуемый семилетний период.

На рисунке 4 представлена диаграмма значения весовых коэффициентов — индикаторов, отражающих степень влияния рассматриваемой группы оборудования на реализуемый технологический и бизнес-процессы предприятия. Коэффициенты представлены

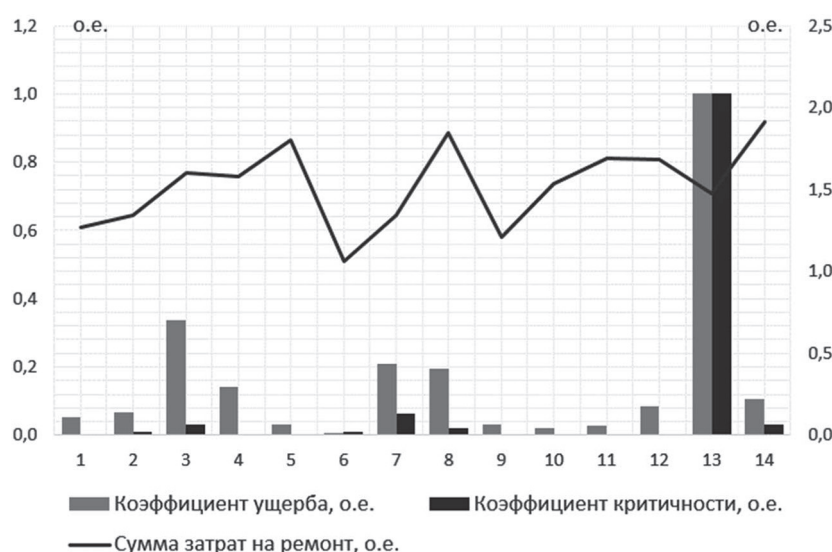


**Рис. 3. Диаграмма плановых и неплановых затрат на техническое обслуживание и ремонт рассматриваемых групп однотипного оборудования (период наблюдения: 7 лет)**

**Fig. 3. Diagram of planned and unplanned costs for maintenance and repair of the considered groups of similar equipment (observation period: 7 years)**

*Источник: составлено авторами по результатам кабинетного исследования*

*Source: compiled by the authors based on the results of a desk study*



**Рис. 4. Диаграмма уровня технического («коэффициент критичности») и экономического («коэффициент ущерба») влияния отказов рассматриваемых групп оборудования на функционирование предприятия (период наблюдения: 7 лет)**

**Fig. 4. Diagram of the level of technical (“criticality coefficient”) and economic (“damage coefficient”) impact of failures of the equipment groups under consideration on the functioning of the enterprise (observation period: 7 years)**

Источник: составлено авторами по результатам кабинетного исследования

Source: compiled by the authors based on the results of a desk study

в относительных единицах. Из диаграммы видно, что уровень, затрат на техническое обслуживание, группы электросетевого оборудования, не соответствует уровню его влияния на технологические процессы предприятия.

Аварийно-восстановительные ремонты оборудования являются необходимым мероприятием, для обеспечения функционирования того или иного элемента технической системы и в обязательном порядке должны быть выполнены. Объем затрат на плановое техническое обслуживание оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприя-

тия, имеющего минимальную или низкую степень влияния — есть резерв повышения эффективности всей системы технического обслуживания. Плановое техническое обслуживание таких групп оборудования можно полностью прекратить, сократив общий объем бюджета ремонтов и повысив общую эффективность системы технического обслуживания рассматриваемого узла электроснабжения или энергосистемы в целом, без критических последствий для реализуемых технологического и бизнес-процесса предприятия, получив положительный экономический эффект. Представленный графически на

рисунке 4, рейтинг 14 групп однотипного оборудования, благодаря оценке, с применением весовых коэффициентов, позволяет идентифицировать потенциал получения этого эффекта, среди значительной по количеству номенклатуры однотипного оборудования электроэнергетической инфраструктуры предприятия.

## Заключение

Применяя предложенную систему комплексной оценки и апробируя ее, при определении ремонтных приоритетов на действующем оборудовании электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия АО «Выксунский металлургический завод», были выявлены группы отдельных единиц электросетевого оборудования, обладающего более высокой критичностью, в сравнении с остальными единицами выборки, при этом, получающие нормированный объем технического обслуживания и определены единицы с минимальным уровнем критичности, полный отказ от технического обслуживания которых, в среднесрочной перспективе никак не повлияет на технико-экономические показатели реализуемого на предприятии технологического процесса. Исследование выявило наличие резерва повышения эффективности эксплуатации оборудования электроэнергетической инфраструктуры промышленного предприятия, за счет снижения затрат на техническое обслуживание отдельных наименее критичных единиц.

## Литература

1. Анчарова Т.В., Бодрухина С.С. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / под ред. С.И. Гамазина и др. М.: МЭИ, 2010. 745 с.

2. Левин В.М., Гужов Н.П., Черненко Н.А., Яхья А.А. Методология управления ремонтом оборудования в электрических сетях нефтепромыслов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2020. № 2–3(79). С. 139–155. DOI: 110.17212/1814-1196-2020-2-3-139-155.

3. Антоненко И.Н. Риск-ориентированный подход к управлению производственными активами в энергетике // Энергоэксперт. 2020. № 1(23). С. 26–33.

4. Секретарев Ю.А., Левин В.М. Риск-ориентированные модели управления ремонтом оборудования в системах электроснабжения с монопотребителем // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2021. № 14(1). С. 17–32. DOI: 10.17516/1999-494X-0295.

5. Левин В.М., Гужов Н.П. Предиктивная оценка рисков прерывания электроснабжения потребителей нефтедобычи с учетом изменения значимых факторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 5. С. 84–96. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-5-84-96.

6. Хайдер С., Финкельштейн М., Лисанов М.В. и др. Зарубежный опыт использования риск-ориентированного подхода при эксплуатации технических устройств на нефтегазовых объектах // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 8. С. 24–30.

7. Овчинникова Т.И., Потоцкий Е.П., Фирсова В.М. Риск-ориентированный подход при оценке опасностей в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 2–1. С. 199–208. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-199-208.

8. Hashemi-Dezaki H., Askarian-Abyaneh H., Haeri-Khiavi H. Reliability optimization of electrical distribution systems using internal loops to minimize energy not-supplied (ENS) // Journal of Applied Research and Technology. 2015. № 13(3). С. 416–424. DOI: 10.1016/j.jart.2015.07.008.

9. Brown R.E., Frimpong G., Willis H.L. Failure rate modeling using equipment inspection data // IEEE Transactions on Power Systems. 2004. № 19(2). С. 782–787. DOI: 10.1109/TPWRS.2004.825824.

10. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин. М.: Тепло-техник, 2009. 330 с.

11. Чиченев Н.А. Надежность технологических машин. М.: НИТУ «МИСиС», 2019. 264 с.

12. Духанина Е. В., Хаметова А. Т. Реализация риск-ориентированного подхода в управлении инвестиционно-строительным процессом [Электрон. ресурс] // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 2. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/10SAVN223.pdf>.

13. Карпов М.В. Методика оценки ущерба от отказа электросетевого оборудования в системе управления производственными активами // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2018. № 3(63). С. 29–37. DOI: 10.25513/1812-3988.2018.3.29-37.

14. Gitelman L.D., Kozhevnikov M.V., Chebotareva G.S. et al. Asset Management of energy company based on risk-oriented strategy // Energy Production and Management in the 21st Century IV. 2020. Т. 246. С. 125–135. DOI: 10.2495/EPM200121.

15. Сухарев Д.Ю. Оценка резервов повышения эффективности систем технического обслуживания и ремонта высоковольтного электрооборудования промышленных предприятий // Экономика промышленности. 2023. № 16(2). С. 190–200. DOI: 10.17073/2072-1633-2023-2-190-200.

## References

1. Ancharova T.V., Bodrukhina S.S. Spravochnik po energosnabzheniyu i elektrooborudovaniyu promyshlennykh predpriyatiy i obshchestvennykh zdaniy = Handbook of power supply and electrical equipment of industrial enterprises and public buildings - Ed. S.I. Gamazin et al. Moscow: MPEI; 2010. 745 p. (In Russ.)

2. Levin V.M., Guzhov N.P., Chernenko N.A., Yakh'ya A.A. Methodology for managing equipment repairs in electrical networks of oil fields. Nauchnyy vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University. 2020; 2-3(79): 139–155. DOI: 110.17212/1814-1196-2020-2-3-139-155. (In Russ.)

3. Antonenko I.N. Risk-oriented approach to managing production assets in the energy sector.

Energoekspert = Energoexpert. 2020; 1(23): 26–33. (In Russ.)

4. Sekretarev Yu.A., Levin V.M. Risk-oriented models for managing equipment repairs in power supply systems with a single consumer. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii = Journal of the Siberian Federal University. Engineering and Technology. 2021; 14(1): 17–32. DOI: 10.17516/1999-494X-0295. (In Russ.)

5. Levin V.M., Guzhov N.P. Predictive assessment of the risks of power supply interruption to oil production consumers, taking into account changes in significant factors. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki = News of higher educational institutions. Problems of energy. 2022; 24; 5: 84–96. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-5-84-96. (In Russ.)

6. Khayder S., Finkel'shteyn M., Lisanov M.V. et al. Foreign experience in using a risk-based approach in the operation of technical devices at oil and gas facilities. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* = Occupational Safety in Industry. 2015; 8: 24-30. (In Russ.)

7. Ovchinnikova T.I., Pototskiy Ye.P., Firsova V.M. Risk-based approach to hazard assessment in the mining industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* = Mining Information and Analytical Bulletin. 2021; 2–1: 199-208. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-199-208. (In Russ.)

8. Hashemi-Dezaki H., Askarian-Abyaneh H., Haeri- Khiavi H. Reliability optimization of electrical distribution systems using internal loops to minimize energy not-supplied (ENS). *Journal of Applied Research and Technology*. 2015; 13(3): 416–424. DOI: 10.1016/j.jart.2015.07.008.

9. Brown R.E., Frimpong G., Willis H.L. Failure rate modeling using equipment inspection data. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2004; 19(2): 782–787. DOI: 10.1109 / TPWRS.2004.825824.

10. Zhirkin Yu.V. *Nadezhnost', ekspluatatsiya i remont metallurgicheskikh mashin* = Reliability, operation and repair of metallurgical machines. Moscow: Teplotekhnika; 2009. 330 p. (In Russ.)

11. Chicheney N.A. *Nadezhnost' tekhnologicheskikh mashin* = Reliability of technological machines. Moscow: NUST MISIS; 2019. 264 p. (In Russ.)

12. Dukhanina Ye. V., Khametova A. T. Implementation of a risk-oriented approach to managing the investment and construction process [Internet]. *Vestnik yevraziyskoy nauki* = Bulletin of Eurasian Science. 2023; 15: 2. Available from: <https://esj.today/PDF/10SAVN223.pdf>. (In Russ.)

13. Karpov M.V. Methodology for Assessing Damage from Failure of Power Grid Equipment in the Production Asset Management System. *Vestnik Omskogo universiteta. Seriya «Ekonomika»* = Bulletin of Omsk University. Series «Economics». 2018; 3(63): 29-37. DOI: 10.25513/1812-3988.2018.3.29-37. (In Russ.)

14. Gitelman L.D., Kozhevnikov M.V., Chebotareva G.S. et al. Asset Management of energy company based on risk-oriented strategy. *Energy Production and Management in the 21st Century IV*. 2020; 246: 125–135. DOI: 10.2495/EPM200121.

15. Sukharev D.YU. Assessment of Reserves for Improving the Efficiency of Maintenance and Repair Systems for High-Voltage Electrical Equipment of Industrial Enterprises. *Ekonomika promyshlennosti* = Industrial Economics. 2023; 16(2): 190–200. DOI: 10.17073/2072-1633-2023-2-190-200. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

##### **Анна Феликсовна Плеханова**

Д.э.н., профессор, институт экономики,  
кафедра финансов и кредита  
Национальный исследовательский Нижегородский  
государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия  
Эл. почта: docplekhanova@gmail.com

##### **Дмитрий Юрьевич Сухарев**

Аспирант, Институт экономики, кафедра  
финансов и кредита  
Национальный исследовательский Нижегородский  
государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия  
Эл. почта: sukharev\_dju@mail.ru

#### Information about the authors

##### **Anna F. Plekhanova**

Dr Sci. (Economics), Professor,  
Institute of Economics,  
Department of Finance and Credit  
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,  
Nizhny Novgorod, Russia  
E-mail: docplekhanova@gmail.com

##### **Dmitry Y. Sukharev**

Postgraduate Student,  
Institute of Economics,  
Department of Finance and Credit  
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,  
Nizhny Novgorod, Russia  
E-mail: sukharev\_dju@mail.ru