

# НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

## RELIABILITY AND DURABILITY OF METALLURGICAL EQUIPMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.3

DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-1-112-120

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ РЕГЛАМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ И УБЫТКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Кондрашова Ю.Н., Третьяков А.М., Шалимов А.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

**Аннотация. Постановка задачи.** Эксплуатация промышленного оборудования требует его постоянного поддержания в надлежащем состоянии для сохранения заданного уровня качества производимых им операций и безопасности его работы. С целью систематизации мер по обслуживанию и рационального расходования средств разрабатываются регламенты технического обслуживания и ремонта оборудования. Актуальность обусловлена необходимостью организации условий правильной эксплуатации, текущего обслуживания, своевременного выполнения необходимого ремонта, а также модернизации оборудования. Целью является изучение методов оценки ущерба от аварий и простоев производственного оборудования, связанных с невыполнением мер по ремонту и техническому обслуживанию и приблизительная экономическая оценка ущерба и затрат. **Используемые методы.** В данной статье рассматриваются экономические факторы, которые необходимо учитывать при разработке регламента и которые оказывают влияние на надёжность при эксплуатации. Приведена структура и алгоритм расчёта убытков, относящихся к затратам производителя в случае возникновения аварии. Также производится приблизительный экономический расчёт затрат, связанных непосредственно с производственным оборудованием, что включает в себя ущерб, обусловленный простоями производства, затраты на эксплуатацию и владение оборудованием. **Результат.** Выполненные расчеты были приведены на примере цеха горячекатаного листового проката в условиях металлургического производства. **Практическая значимость.** Результатом работы является оценка величины убытков от простоев оборудования за указанный период и пример выбора предпочтаемого поставщика оборудования на основе укрупнённой оценки общей стоимости владения оборудованием, которые позволяют оценить финансовую значимость разработки грамотного регламента технического обслуживания и ремонта.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, ремонт, регламент, простои, убытки, затраты, стоимость владения, надёжность.

© Кондрашова Ю.Н., Третьяков А.М., Шалимов А.В., 2022

#### Для цитирования

Кондрашова Ю.Н., Третьяков А.М., Шалимов А.В. Оценка влияния разработки регламентов технического обслуживания и ремонта производственного оборудования с целью минимизации затрат и убытков предприятия черной металлургии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №1. С. 112–120. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-112-120>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DEVELOPING PRODUCTION EQUIPMENT MAINTENANCE AND REPAIR SCHEDULES IN ORDER TO MINIMIZE COSTS AND LOSSES OF THE FERROUS METALLURGY ENTERPRISE

Kondrashova Yu.N., Tretiakov A.M., Shalimov A.V.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

**Abstract. Problem Statement.** Operation of industrial equipment requires its constant maintenance in good condition to keep a given level of quality and safety of operations. In order to systematize maintenance measures and reasonable expenditure of funds, equipment maintenance and repair schedules are developed. Relevance is determined by a need to organize conditions of correct operation, current maintenance, timely repair and revamping of equipment. The aim is to study methods of assessment of damages from failures and downtime of process equipment occurred due to failure to take measures on repair and maintenance and to provide an approximate economic assessment of damages and expenditures. **Methods Applied.** This paper considers economic factors, which should be taken into account, when developing schedules, and which have an impact on reliability of operation. The paper contains the structure and an algorithm of the calculation of losses related to the manufacturer's costs in case of an accident. The authors also made an approximate economic calculation of the costs directly related to the production equipment, including the damage caused by production downtime, the cost of operation and ownership of the equipment. **Result.** These calculations were given by the example of the shop for hot rolled sheets at the metallurgical enterprise. **Practical Relevance.** The result of the research is an assessment of losses from equipment downtime for the period and an example of the selection of the preferred equipment supplier based on an aggregate assessment of the total cost of ownership of the equipment, which contribute to evaluating financial importance of the development of competent maintenance and repair schedules.

**Keywords:** maintenance, repair, schedule, downtime, losses, costs, cost of ownership, reliability.

## For citation

Kondrashova Yu.N., Tretiakov A.M., Shalimov A.V. Assessment of the Impact of Developing Production Equipment Maintenance and Repair Schedules in Order to Minimize Costs and Losses of the Ferrous Metallurgy Enterprise. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022, vol. 20, no. 1, pp. 112–120. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-1-112-120>

## Введение

Современные предприятия оснащаются дорогостоящим и разнообразным оборудованием, автоматизированными системами, роботизированными комплексами. В процессе работы они теряют свои рабочие качества, главным образом из-за износа и разрушения отдельных деталей, поэтому снижаются точность, мощность, производительность и другие параметры. Для обеспечения бесперебойной работы оборудования с заданными точностными характеристиками требуется систематическое техническое обслуживание и выполнение ремонтных работ и мероприятий по технической диагностике [1].

Система ТОиР (техническое обслуживание и ремонт) предусматривает комплекс мер по содержанию оборудования, которые предупреждают возможность его работы в условиях патологического старения. Эта система предусмат-

ривает планирование ремонтных работ, потребность в трудовых и материальных ресурсах, изготовление деталей и узлов для замены, установление нормативов трудовых затрат на плановые ремонты. Актуальность данной темы обусловлена необходимостью организации условий правильной эксплуатации, текущего обслуживания, своевременного выполнения необходимого ремонта, а также модернизации оборудования.

Целью ТОиР являются предупреждение, своевременное выявление и устранение отказов и повреждений [2]. Для её достижения применяются следующие меры:

- контроль технического состояния, инспекция в определенном объеме с определенной периодичностью;
- плановая замена элементов по достижении определенной наработки или календарного срока службы;
- плановая или в зависимости от техническо-

## НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

го состояния смазка, зарядка, заправка маслом, топливом, иными специальными жидкостями и газами;

- плановый и неплановый ремонт для устранения отказов, предотказных состояний и повреждений.

Целью работы является изучение методов оценки ущерба от аварий и простоев производственного оборудования, связанных с невыполнением мер по ремонту и техническому обслуживанию и приблизительная экономическая оценка ущерба и затрат, влияющих на разработку регламента ТОиР на примере цеха горячекатаного листового проката в условиях металлургического производства.

Назначение регламентов технического обслуживания, прежде всего, направлено на безопасность и надежность эксплуатации, соответствие техническим требованиям тех или иных объектов. Кроме этого, они призваны обнаруживать их неисправности с целью недопущения аварийных ситуаций, которые в современном мире могут привести к техногенным катастрофам и гибели людей.

Главной причиной значительных затрат на ремонт и техническое обслуживание технологического оборудования является низкое качество

самого технического обслуживания, вследствие чего затраты в сфере эксплуатации оборудования за нормативный срок использования в 5–25 раз больше ее цены.

### Структура экономического ущерба от аварий

Экономический ущерб от аварий на промышленных предприятиях в основном включает в свою структуру:

- полные финансовые потери организации;
- расходы на ликвидацию аварии;
- социально-экономические потери, связанные с травмированием и гибелю людей (как персонала организации, так и третьих лиц);
- вред, нанесенный окружающей среде;
- косвенный ущерб и потери государства от выбытия трудовых ресурсов.

При оценке ущерба, причиненного аварией на промышленном предприятии, в ходе расследования аварии (10 дней) составляющие ущерба обычно рассчитываются на основе известных исходных данных [3]. Итоговый ущерб, причиненный аварией, рассчитывается после завершения расследования аварии и получения всех необходимых данных. Отдельные составляющие ущерба, как видно на **рис. 1**, могут быть определены обособленно друг от друга [4].

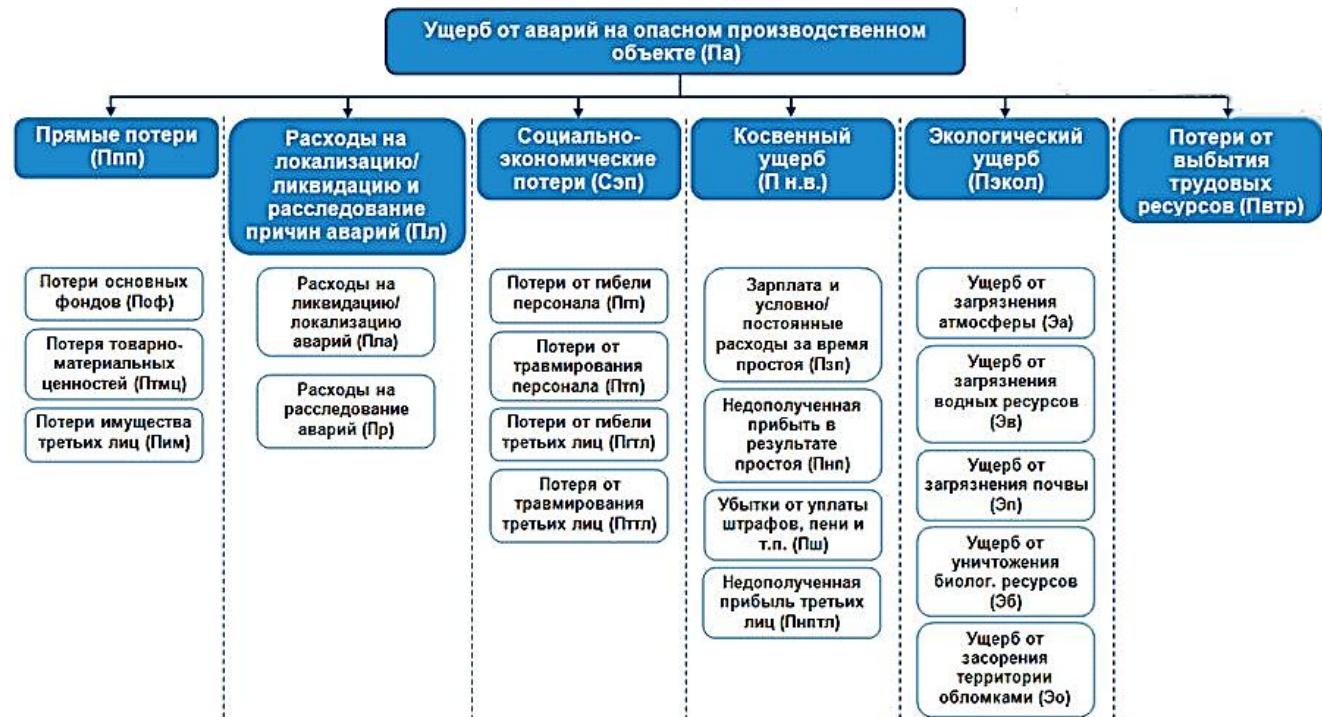


Рис. 1. Структура ущерба от аварии на промышленных предприятиях  
Fig. 1. Structure of damage from accidents at industrial enterprises

Ущерб от аварий на промышленном предприятии может быть выражен в общем виде формулой

$$\Pi_a = \Pi_{\text{пп}} + \Pi_{\text{л.а}} + \Pi_{\text{с.э}} + \Pi_{\text{р.в}} + \Pi_{\text{экол}} + \Pi_{\text{в.т.р.}}, \quad (1)$$

где  $\Pi_a$  – полный экономический ущерб от аварии, руб.;  $\Pi_{\text{пп}}$  – прямые потери организации, эксплуатирующей, руб.;  $\Pi_{\text{л.а}}$  – затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии, руб.;  $\Pi_{\text{с.э}}$  – социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей), руб.;  $\Pi_{\text{р.в}}$  – косвенный ущерб, руб.;  $\Pi_{\text{экол}}$  – экологический ущерб (урон, нанесенный объектам окружающей среды), руб.;  $\Pi_{\text{в.т.р.}}$  – потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности, руб.

Прямые потери от аварий можно определить как

$$\Pi_{\text{пп}} = \Pi_{\text{о.ф}} + \Pi_{\text{т.м.ц}} + \Pi_{\text{им}},$$

где  $\Pi_{\text{пп}}$  – прямые потери от аварий, руб.;  $\Pi_{\text{о.ф}}$  – потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) основных фондов (производственных и непроизводственных), руб.;  $\Pi_{\text{т.м.ц}}$  – потери предприятия в результате уничтожения (повреждения) товарно-материальных ценностей (продукции, сырья и т.п.), руб.;  $\Pi_{\text{им}}$  – потери в результате уничтожения (повреждения) имущества третьих лиц, руб.

Затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии на промышленных предприятиях

$$\Pi_{\text{л.а}} = \Pi_{\text{л}} + \Pi_{\text{р}},$$

где  $\Pi_{\text{л.а}}$  – затраты на локализацию и расследование аварии;  $\Pi_{\text{л}}$  – расходы, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварии на промышленных предприятиях, руб.;  $\Pi_{\text{р}}$  – расходы на расследование аварии на промышленных предприятиях, руб.

Социально-экономические потери можно определить как сумму затрат на компенсации и мероприятия вследствие гибели и травмирования персонала и третьих лиц:

$$\Pi_{\text{с.э}} = \Pi_{\text{г.пп}} + \Pi_{\text{г.т.л}} + \Pi_{\text{т.п}} + \Pi_{\text{т.т.л}},$$

где  $\Pi_{\text{с.э}}$  – социально-экономические потери, руб.;  $\Pi_{\text{г.пп}}$  – компенсации вследствие гибели персонала, руб.;  $\Pi_{\text{г.т.л}}$  – компенсации вследствие гибели третьих лиц, руб.;  $\Pi_{\text{т.п}}$  – компенсации вследствие

травмирования персонала, руб;  $\Pi_{\text{т.т.л}}$  – компенсации вследствие травмирования третьих лиц, руб.

Косвенный ущерб вследствие аварии на промышленном предприятии рекомендуется определять как часть доходов, недополученных предприятием в результате простоя, зарплату и условно-постоянные расходы предприятия за время простоя, убытки, вызванные уплатой различных неустоек, штрафов, пени, а также убытки третьих лиц из-за недополученной ими прибыли:

$$\Pi_{\text{н.в}} = \Pi_{\text{н.п}} + \Pi_{\text{з.п}} + \Pi_{\text{ш}} + \Pi_{\text{т.т.л}}, \quad (2)$$

где  $\Pi_{\text{н.в}}$  – косвенный ущерб, руб.;  $\Pi_{\text{н.п}}$  – недополученные доходы, руб.;  $\Pi_{\text{з.п}}$  – затраты на зарплату и условно-постоянные расходы, руб.;  $\Pi_{\text{ш}}$  – штрафы, неустойки, пени, руб.;  $\Pi_{\text{н.п.т.л}}$  – недополученная третьими лицами прибыль, руб.

Экологический ущерб рекомендуется определять как сумму ущербов от различных видов вредного воздействия на объекты окружающей среды:

$$\Pi_{\text{экол}} = \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_b + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_b + \mathcal{E}_o,$$

где  $\Pi_{\text{экол}}$  – экологический ущерб, руб.;  $\mathcal{E}_a$  – ущерб от загрязнения атмосферы, руб.;  $\mathcal{E}_b$  – ущерб от загрязнения водных ресурсов, руб.;  $\mathcal{E}_n$  – ущерб от загрязнения почвы, руб.;  $\mathcal{E}_b$  – ущерб, связанный с уничтожением биологических (в том числе лесных массивов) ресурсов, руб.;  $\mathcal{E}_o$  – ущерб от засорения (повреждения) территории обломками (осколками) зданий, сооружений, оборудования и т.д., руб.

### Влияние проведения технического обслуживания на надёжность и безопасность

Существуют два вида технического обслуживания (ТО): предупредительное (профилактическое) и корректирующее (рис. 2) [5].

Предупредительное ТО проводят до наступления отказов [6–8]. Эти работы могут выполняться в зависимости от технического состояния изделия, оцениваемого на основании его мониторинга, до того, как отказ становится неизбежным, или на основе проверок функциональных параметров изделия в целях выявления скрытых функциональных отказов. Предупредительное ТО может также выполняться с установленной заранее периодичностью, исчисляемой в календарном времени или в значениях наработки в часах или циклах, посредством принудительной замены или ремонта изделия в целом или его составных частей.



Рис. 2. Последовательность ТО и/или ремонтов  
Fig. 2. Sequence of maintenance and/or repairs

Корректирующее ТО выполняют в целях восстановления функционирования изделия после отказа или после снижения его параметров ниже установленных уровней. Некоторые отказы могут считаться допустимыми, если их последствия, такие как снижение производительности, влияние на безопасность, ущерб окружающей среде, экономические последствия, могут считаться приемлемыми в сравнении со стоимостью предупредительного ТО и размерами последующего ущерба от отказов. В этих случаях может применяться планируемый заранее подход, при котором изделие эксплуатируют до отказа, а ТО производят только после его наступления.

Одной из основ надёжностно-ориентированного ТО является регламент, в который вносятся также RCA (анализ коренных причин отказов) оборудования, в котором учитываются особенности оборудования, указываются причины выхода его из строя и выносятся рекомендации по его замене, ТО или внесению изменений в его конструктивное устройство.

Анализ видов и последствий отказов (АВПО) – это процедура качественного анализа продукции, технологий производства, правил эксплуатации и хранения, систем технического обслуживания и ремонта. Он включает в себя определение возможных сбоев, отслеживание причинно-следственной связи, приведшей к их возник-

новению, и возможных последствий этих сбоев на заданном и более высоких уровнях, а также качественную оценку и разделение сбоев на основе серьезности их последствий.

Цели проведения АВПО включают в себя обоснование, проверку адекватности, оценку эффективности и мониторинг реализации управлеченческих решений, направленных на совершенствование конструкции, технологии производства, правил по эксплуатации, систем технического обслуживания и ремонта объектов, предотвращение и снижение тяжести возможных последствий их отказов, а также достижение требуемых характеристик безопасности, экологичности, эффективности и надежности [9–13].

#### Расчёт ущерба от простоев оборудования

При проведении технико-экономических расчётов по оценке надёжности электроснабжения промышленных предприятий ущерб от простоев, связанных с его перерывами, является одним из важных показателей.

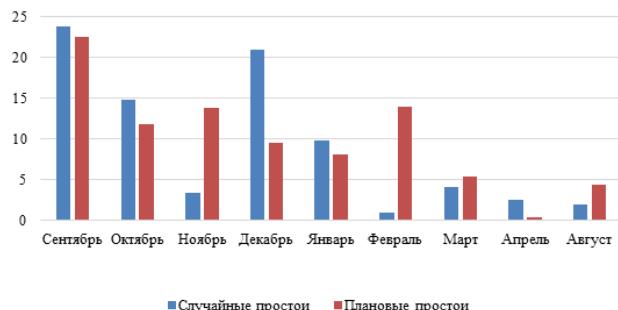
В табл. 1 представлены данные о продолжительности случайных и плановых простоев для рассчитываемого объекта за период с сентября 2020 по август 2021 г. Примем среднюю стоимость 1 часа простоя для этого цеха приблизительно 5 млн руб.

Таблица 1. Продолжительность простоев стана за 2020–2021 гг.

Table 1. Mill downtime for 2020–2021

Месяц	Продолжительность случайных простоев, ч	Продолжительность плановых простоев, ч
Сентябрь	23,8	22,5
Октябрь	14,82	11,72
Ноябрь	3,38	13,83
Декабрь	20,97	9,5
Январь	9,72	8,05
Февраль	0,92	13,92
Март	4,08	5,33
Апрель	2,45	0,42
Август	1,97	4,42
<b>Итого</b>	<b>81,98</b>	<b>90,07</b>

По диаграмме, построенной на основе табличных данных, на **рис. 3** отчётливо видно, что наиболее длительные случайные и плановые простои были зарегистрированы в сентябре и составили 23,8 и 22,5 ч соответственно. Также можно отметить значительные случайные простои в декабре, составившие 20,97 ч.

Рис. 3. Продолжительности простоев оборудования  
Fig. 3. Equipment downtime

Произведём расчёт ущерба от простоев за указанный период и за сентябрь, как за самый убыточный месяц.

Расчёт осуществляется по следующей формуле:

$$Y = C_{cp} \cdot t,$$

где  $C_{cp}$  – средняя стоимость простоев за 1 ч, млн руб./ч;  $t$  – продолжительность простоев, ч.

Так, ущерб от случайных простоев за указанный период составит

$$5000000 \cdot 81,98 = 409900000 \text{ руб.}$$

Аналогичные расчёты сведены в **табл. 2**.

Таблица 2. Расчёт ущерба от простоев

Table 2. Calculation of downtime damage

Период	Простои	Суммарная длительность, ч	Ущерб, млн руб.
Сентябрь 2020 – август 2021 г.	Случайные	81,98	409,9
	Плановые	90,07	450,35
	<b>Суммарные</b>	<b>172,05</b>	<b>860,25</b>
Сентябрь 2020 г.	Случайные	23,8	119
	Плановые	22,5	112,5
	<b>Суммарные</b>	<b>46,3</b>	<b>231,5</b>

### Расчёт общей стоимости владения оборудованием

Общая стоимость владения оборудованием (ОСВ) – это суммарные затраты, ложащиеся на владельца оборудования в процессе всего срока владения при условии выполнения всех связанных с владением обязательств.

Так как для разных объектов принципы определения затрат и их структура могут быть различны, универсального подхода к проведению расчётов нет. Но существуют обобщённые подходы к расчёту ОСВ.

Упрощённые методы расчёта позволяют, прежде всего, оценить структуру затрат и вероятные потери, которые могут произойти в процессе владения оборудованием. Однако часть затрат не могут быть спрогнозированы с достаточной точностью, вследствие чего могут иметь место отклонения фактических расходов от теоретических:

$$OCB = \frac{S + C_{rem} + C_{pr}}{P}, \quad (3)$$

где ОСВ – общая стоимость владения, руб.;  $S$  – цена, руб.;  $C_{pr}$  – стоимость простоев, руб.;  $P$  – стойкость, год.

Произведём расчёт ОСВ проходных изоляторов для трёх поставщиков, то есть рассмотрим цикл установки и замены проходных изоляторов для трёх подстанций, для выбора предложения для замены на подстанции:

$$P = \frac{T_{списан} \cdot N_{уст}}{N_{списан}},$$

где  $N_{уст}$  – количество в установке, шт.;  $N_{списан}$  – количество списаний, шт.;  $T_{списан}$  – период списаний, год.

$$P_a = \frac{4 \cdot 80}{120} = 3,2 \text{ года};$$

$$P_b = \frac{15 \cdot 80}{85} = 14,6 \text{ года};$$

$$P_c = \frac{20 \cdot 80}{100} = 16 \text{ лет.}$$

Для корректности расчёта ОСВ расчёт должен проводиться при выполнении условия

$$N_{\text{списан}} \geq N_{\text{уст}}; \quad (4)$$

$$120 \geq 80 \text{ (поставщик 1);}$$

$$85 \geq 80 \text{ (поставщик 2);}$$

$$100 \geq 80 \text{ (поставщик 3).}$$

Это время, за которое будут заменены все находящиеся в установке позиции, то есть выполняется условие (4).

Для принятия решения необходимо придерживаться следующего алгоритма.

Для проведения расчёта согласно формуле (3) не обязательно применение трёх составляющих числителя:

1. Если позиция отличается от анализируемых минимальной ценой и максимальной стойкостью, то в расчёт включается только её цена:

$$OCB_a = \frac{S}{P};$$

$$OCB_a = \frac{400000}{3,2} = 125 \text{ тыс. руб.};$$

$$OCB_b = \frac{520000}{14,6} = 35,62 \text{ тыс. руб.};$$

$$OCB_c = \frac{610000}{16} = 38,13 \text{ тыс. руб.}$$

2. Если значения цены недостаточно, необходимо в расчёт включить стоимость ремонта (замены) позиции:

$$OCB = \frac{S + C_{\text{рем}}}{P};$$

$$C_{\text{рем}} = P_{\text{ед}} \cdot N_{\text{спис}},$$

где  $C_{\text{рем}}$  – стоимость ремонта, руб.;  $P_{\text{ед}}$  – цена ремонта единицы оборудования, руб.

$$C_{\text{рем.}a} = 120 \cdot 1000 = 120000 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{рем.}b} = 85 \cdot 1000 = 85000 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{рем.}c} = 100 \cdot 1000 = 100000 \text{ руб.};$$

$$OCB_a = \frac{400000 + 120000}{3,2} = 162 \text{ тыс. руб.};$$

$$OCB_b = \frac{520000 + 85000}{14,6} = 41,4 \text{ тыс. руб.};$$

$$OCB_c = \frac{610000 + 100000}{16} = 44,375 \text{ тыс. руб.}$$

3. Если недостаточно, необходимо в расчёт включить стоимость простого агрегата:

$$OCB = \frac{S + C_{\text{рем}} + C_{\text{пр}}}{P}.$$

Продолжительность единичного простого для данного примера примем 4 часа, тогда стоимость простого составит  $5000000 \cdot 4 = 20000000$  руб. В таком случае получим:

$$OCB_a = \frac{400000 + 120000 + 20000000}{3,2} = 6412500 \text{ руб.};$$

$$OCB_b = \frac{520000 + 85000 + 20000000}{14,6} = 1413698,63 \text{ руб.};$$

$$OCB_c = \frac{610000 + 100000 + 20000000}{16} = 1294375 \text{ руб.}$$

Включение стоимости простоев в расчёт ОСВ показывает минимальное значение ОСВ для позиций от поставщика №3, что подтверждается их высокой стойкостью. Соответственно, наиболее предпочтительной является продукция от поставщика №3.

### Заключение

По итогам проведённой работы был изучен прямой и косвенный экономический ущерб, вызванный производственными авариями, его составляющие и сопутствующие расходы. Рассмотрены факторы, учитываемые при разработке регламента ТОиР для повышения надёжности и

экономичности эксплуатации производственного оборудования.

На примере цеха горячекатаного листового проката в условиях металлургического производства за период с сентября 2020 по август 2021 г. был произведен приблизительный расчёт ущерба, обусловленного простоями. Суммарные убытки предприятия составили 860,25 млн руб. Наиболее значительный ущерб был нанесён в сентябре, его величина составила 231,5 млн руб.

Также на примере проходных изоляторов на подстанции была определена общая стоимость владения оборудованием по трём методам, применяемых при разных условиях расчёта. По итогам сравнения ОСВ продукции от трёх разных поставщиков был выбран оптимальный вариант.

Таким образом, для повышения эффективности регламентов ТОиР необходимо учитывать не только технические, но и экономические факторы, такие как ущерб от аварий, простои оборудования и эксплуатационные затраты.

### Список литературы

1. Борисов Ю.С. Организация ремонта и технического обслуживания оборудования // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. №2. С. 38–43.
2. Епифанцев Ю.А. Организация технического обслуживания и ремонтов оборудования металлургических предприятий: учебное пособие. Новокузнецк: СибГИУ, 2008. С. 95–98.
3. Малафеев А.В., Юлдашева А.И. Определение ущерба технологически связанных потребителей в задаче оценки надежности электроснабжения металлургического производства // Кибернетика энергетических систем. 2018. С. 92–99.
4. Зайцев Н.Л. Экономика, организация и управление предприятием М.: Инфра-М: Проблемы и перспективы, 2004. С. 12–26.
5. Жуйков В.А., Магон А.И. Эксплуатация и ремонт оборудования: учебное пособие. Киров: ВятГУ, 2008. С. 175–179.
6. Анализ интенсивности отказов частотно-регулируемых электроприводов районных тепловых станций при нарушениях электроснабжения / Храмшин В.Р., Одинцов К.Э., Губайдуллин А.Р., Карапандаева О.И., Кондрашова Ю.Н. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2014. Т. 14. № 2. С. 68–79.
7. Анализ надежности оборудования тепловой электростанции при внедрении преобразователей частоты / Карапандаев А.С., Корнилов Г.П., Карапандаева О.И., Ротанова Ю.Н., Ровнейко В.В., Галлямов Р.Р. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2009. № 4(167). С. 16–22.
8. Khramshin V.R., Nikolayev A.A., Evdokimov S.A., Kondrashova Y.N., Larina T.P. Validation of diagnostic monitoring technical state of iron and steel works transformers // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW 2016. 2016. С. 596–600.
9. Evdokimov S.A., Kondrashova Yu.N., Karandaeva O.I., Gallyamova M.S. Stationary system for monitoring technical state of power transformer // Procedia Engineering. 2016. С. 18–25.
10. Kondrashova Y.N., Khramshin R.R., Nikolaev A.A., Shurygina G.V. Analysis of thermal state of power transformer of captive power plant Procedia Engineering. 2015. Т. 129. С. 832–838.
11. Методика прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования при эксплуатации / К.Э. Одинцов, Ю.Н. Ротанова, О.И. Карапандаева [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 3-1. С. 192–198.
12. Исследование сходимости метода расчета устанавлившихся режимов систем электроснабжения при работе раздельно с энергосистемой / В.А. Игуменщев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова, Ю.Н. Ротанова // Электротехнические системы и комплексы. 2005. № 10. С. 129–134.
13. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» / А.В. Малафеев, О.И. Карапандаева, Ю.Н. Ротанова, О.В. Буланова // Электротехнические системы и комплексы. 2009. № 17. С. 96–104.

### References

1. Borisov Yu.S. Organizing equipment repair and maintenance. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie* [Electric power. Transfer and distribution], 2018, no. 2, pp. 38–43. (In Russ.)
2. Epifantsev Yu.A. *Organizatsiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remontov oborudovaniya metallurgicheskikh predpriyatiy: uchebnoe posobie* [Organizing equipment maintenance and repair at metallurgical enterprises: study guide]. Novokuznetsk: SibSIU, 2008, pp. 95–98. (In Russ.)
3. Malafeev A.V., Yuldasheva A.I. Determining damage of process-related consumers to assess reliability of electric power supply at metallurgical enterprises. *Kibernetika energeticheskikh sistem* [Power system cybernetics], 2018, pp. 92–99. (In Russ.)
4. Zaitsev N.L. *Ekonomika, organizatsiya i upravlenie predpriyatiem* [Economics, organization and corporate management]. Moscow: Infra-M: Problems and prospects, 2004, pp. 12–26. (In Russ.)
5. Zhukov V.A., Magon A.I. *Ekspluatatsiya i remont oborudovaniya: uchebnoe posobie* [Equipment operation and repair: study guide]. Kirov: VyatSU, 2008, pp. 175–179. (In Russ.)

6. Khramshin V.R., Odintsov K.E., Gubaydullin A.R., Karandaeva O.I., Kondrashova Yu.N. Analyzing the rate of failures of variable-frequency drives at district thermal power plants in case of power supply interruption. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika* [Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering], 2014, vol. 14, no. 2, pp. 68–79. (In Russ.)
7. Karandaev A.S., Kornilov G.P., Karandaeva O.I., Rotanova Yu.N., Rovneyko V.V., Gallyamov R.R. Analyzing reliability of equipment at the thermal power plant, when introducing frequency converters. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika* [Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering], 2009, no. 4(167), pp. 16–22. (In Russ.)
8. Khramshin V.R., Nikolayev A.A., Evdokimov S.A., Kondrashova Y.N., Larina T.P. Validation of diagnostic monitoring technical state of iron and steel works transformers. Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW 2016. 2016, pp. 596–600.
9. Evdokimov S.A., Kondrashova Yu.N., Karandaeva O.I., Gallyamova M.S. Stationary system for monitoring technical state of power transformer. *Procedia Engineering*, 2016, pp. 18–25.
10. Kondrashova Y.N., Khramshin R.R., Nikolaev A.A., Shurygina G.V. Analysis of thermal state of power transformer of captive power plant. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 129, pp. 832–838.
11. Odintsov K.E., Rotanova Yu.N., Karandeva O. I. et al. A method of predicting the residual life of electrical equipment during operation. *Izvestiya Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences], 2010, no. 3-1, pp. 192–198. (In Russ.)
12. Igumenshchev V.A., Malafeev A.V., Bulanova O.V., Rotanova Yu.N. Research on convergence of a calculation method of steady-state modes of the electric power supply systems, when operating separately from the power system. *Elektrotehnicheskie sistemy i kompleksy* [Electrical Systems and Complexes], 2005, no. 10, pp. 129–134. (In Russ.)
13. Malafeev A.V., Karandeeva O.I., Rotanova Yu.N., Bulanova O.V. Influence of high-voltage auxiliary motors on reliability of the auxiliary power supply system of the thermal power plant at OJSC MMK. *Elektrotehnicheskie sistemy i kompleksy* [Electrical Systems and Complexes], 2009, no. 17, pp. 96–104. (In Russ.)

Поступила 14.01.2022; принята к публикации 31.01.2022; опубликована 25.03.2022  
Submitted 14/01/2022; revised 31/01/2022; published 25/03/2022

**Кондрашова Юлия Николаевна** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.  
Email: rotjuil720@mail.ru. ORCID 0000-0002-5280-5666

**Третьяков Андрей Максимович** – студент,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.  
Email: Andreyt2001@yandex.ru

**Шалимов Алексей Витальевич** – студент,  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.  
Email: shalimov-alexey@mail.ru

**Yuliya N. Kondrashova** – PhD (Eng.), Lead Researcher,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
E-mail: rotjuil720@mail.ru. ORCID 0000-0002-5280-5666

**Andrei M. Tretyakov** – student,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
Email: Andreyt2001@yandex.ru

**Alexey V. Shalimov** – student,  
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.  
Email: shalimov-alexey@mail.ru