

Ремонтопригодность электрооборудования станций и подстанций

Назарычев А.Н., д-р техн. наук, Жулина Т.А., инж.

Предложена классификация показателей ремонтопригодности. Введены понятия коэффициентов контролепригодности и ремонтодоступности. Предложены выражения для количественной оценки показателей. Получены численные значения показателей ремонтопригодности блочных силовых трансформаторов.

Ключевые слова: повышение ремонтопригодности оборудования, техническая диагностика, планово-предупредительные ремонты, время восстановления оборудования.

Electrical Equipment Maintainability at Electric Power Stations and Substations

Nazarychev A.N., Zhulina T.A.

The classification of maintainability indexes is offered in the following article. The definitions of the factors to be controlled and to be maintained are introduced. Quantity evaluations for indexes explanation are given. Numerical values of maintainability indexes for power transformers are obtained.

Keywords: increasing to maintainability of the equipment, technical diagnostics, planned-preventive repairs, time of the recovering the equipment.

Обеспечение надежности электротехнического оборудования энергетических систем в настоящее время является актуальной проблемой по ряду причин. Во-первых, значительная часть работающего оборудования эксплуатируется более установленного в паспортных данных срока службы и практически исчерпало свой технический ресурс. Во-вторых, с ростом количества ремонтируемого оборудования на энергообъекте увеличиваются численность ремонтного персонала, время проведения ремонта и общая его стоимость.

Переход к рыночным отношениям в энергетике диктует необходимость внедрения более прогрессивной (по сравнению со стратегией планово-предупредительных ремонтов (ППР)) стратегии проведения технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) оборудования по техническому состоянию (ТС). Основное отличие такой стратегии от системы ППР состоит в отказе от жесткого регламентирования периодичности и объема проведения ТОиР в условиях широкого использования результатов технической диагностики. В связи с этим особую важность приобретает задача оценки параметров электрооборудования (как существующего, так и вновь вводимого), характеризующих приспособленность его к проведению диагностирования и выполнению ТОиР.

Свойство электрооборудования, характеризующее пригодность его к проведению ТОиР в целях восстановления работоспособного состояния, называется *ремонтопригодностью*. Это свойство является одним из единичных свойств надежности. Согласно ГОСТ 27.002-89, «Надежность в технике. Термины и определения» [1], *ремонтопригодность* – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности

его к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов. В сборнике рекомендаций терминов «Надежность систем энергетики» [2] дается несколько другое определение понятия ремонтопригодности. Согласно [2], *ремонтопригодность* – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Последнее определение лишь устраняет некоторую неточность, определяемую введением в [2] двух видов отказов – отказа работоспособности и отказа функционирования. Подробно трактовка этих понятий приведена в [3].

Отказ работоспособности связан с изменением способности объекта к выполнению заданных функций в заданном объеме (переход из полностью работоспособного в частично работоспособное или неработоспособное состояние).

Отказ функционирования связан с фактическим выполнением либо не всех заданных функций, либо не в заданном объеме (переход из полностью рабочего в частично рабочее или нерабочее состояние).

Оборудование находится в исправном состоянии, если оно соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. Оборудование находится в неисправном состоянии, если оно не соответствует хотя бы одному из этих требований.

В определении понятия *ремонтопригодность* используется термин *повреждение*. Под

повреждением понимается событие, заключающееся в нарушении исправного состояния оборудования при сохранении его работоспособного состояния. Аналогичный смысл вкладывается в понятия неисправности и дефекта. Такие события возникают как вследствие влияния внешних воздействий, превышающих уровни, установленные в нормативно-технической документации на оборудование, так и вследствие естественных процессов старения и износа.

Повышение ремонтпригодности может достигаться применением методов, средств и систем технической диагностики, которая делится на оперативную и ремонтную. Оперативная диагностика – осуществляет оценку технического состояния оборудования в процессе его работы. Ремонтная диагностика осуществляет поиск повреждений и локализацию неисправностей сборочной единицы на отключенном, а иногда и частично разобранном оборудовании. Кроме того, ремонтная диагностика отвечает на вопрос, в чем причина неисправности той или иной сборочной единицы электрооборудования.

Непосредственно ремонтные работы выполняются путем восстановления или замены поврежденных (изношенных) сборочных единиц. Другие работы относятся к вспомогательным или подготовительно-заключительным операциям, в том числе и к операции ремонтной диагностики.

Вспомогательные операции характеризуют результативность ремонта, его полезный выход [4]. Несмотря на то, что вспомогательные операции лишь косвенно участвуют в поддержании работоспособности оборудования, это не уменьшает их значения для успешного проведения ремонта. Например, тщательно проведенная ремонтная диагностика с локализацией поврежденных сборочных единиц может существенно сократить длительность ремонта. Поэтому перспективным направлением повышения ремонтпригодности является оснащение электрооборудования специальными встроенными средствами диагностирования, которые способны без дополнительной подготовки и трудозатрат указать неисправную сборочную единицу и причину повреждения. Это позволит уменьшить объем вспомогательных или подсобных операций и их трудоемкость, но увеличивает стоимость оборудования.

Ремонтпригодность оборудования является качественной характеристикой. Ее количественным выражением служат показатели ремонтпригодности. Их можно разделить на две группы: оперативные (временные) и экономические [5].

Оперативные характеристики определяют время, в течение которого объект находится в работоспособном или неработоспособном состоянии в какой-то период эксплуатации в связи с проведением восстановительных работ.

Экономические характеристики позволяют оценить затраты труда и материальных средств на восстановление работоспособности объекта.

Количественные характеристики ремонтпригодности, в свою очередь, можно разделить на основные и дополнительные. Основные характеристики позволяют оценить объект с точки зрения выполнения заданных требований к его ремонтпригодности в целом и получить оценки этих показателей при проектировании, изготовлении и эксплуатации. Дополнительные характеристики количественно определяют отдельные свойства ремонтпригодности с целью оценки полноты их учета в конструкции оборудования.

В группу оперативных показателей входят показатели надежности, контролепригодности и взаимозаменяемости.

1. Показатели надежности (основные показатели):

- среднее время восстановления/ремонта;
- интенсивность восстановления;
- вероятность восстановления за заданное время.

2. Показатели контролепригодности (дополнительные показатели):

- средняя продолжительность поиска отказов;
- вероятность обнаружения отказов за заданное время;
- средняя стоимость и трудоемкость контроля;
- трудоемкость подготовки оборудования к контролю;
- коэффициент глубины поиска дефекта и т.д.

3. Показатели взаимозаменяемости сборочных единиц (дополнительные показатели):

- коэффициент унификации;
- коэффициент стандартизации и др.

К группе экономических показателей относятся следующие: характеристики ремонта, эффективность использования рабочего времени при ремонте и удобство выполнения ремонта.

1. Показатели характеристик ремонта данного вида (основные показатели):

- стоимость ремонта;
- средняя стоимость ремонта;
- средняя трудоемкость планового (непланового) ремонта и др.

2. Показатели эффективности использования рабочего времени при ремонте (дополнительный показатель).

3. Показатели удобства выполнения ремонта (дополнительные показатели):

- коэффициент доступности;
- коэффициент легкосъемности и др.

Поскольку время простоя оборудования в ремонте ($T_{пр}$) эквивалентно материальным потерям от упущенной экономической прибыли

ли, особую важность приобретает вопрос прогнозирования $T_{ПР}$ в целях оптимизации алгоритма загрузки генерирующих и передающих мощностей. Поэтому в первую очередь следует рассмотреть именно этот показатель, который непосредственно характеризует ремонтпригодность оборудования.

Его можно определить следующим образом (в межремонтном цикле):

$$T_{ПР} = T_P + T_{И}, \quad (1)$$

где T_P – затраты времени на проведение плановых мероприятий ТОиР; $T_{И}$ – затраты времени на проведение диагностических испытаний и измерений.

Наиболее регламентированным и поддающимся оценке является время на проведение регламентированных диагностических испытаний [6].

Время проведения ремонтных работ, в свою очередь, можно подразделить на пять составляющих:

$$T_P = T_{П} + T_{Д} + T_{РСР} + T_{Н} + T_{ТО}, \quad (2)$$

где $T_{П}$ – затраты времени на подготовительные операции (допуск, проверка комплектности, оформление документации и т.п.); $T_{Д}$ – затраты времени на диагностические и/или приемосдаточные испытания электрооборудования; $T_{РСР}$ – затраты времени на проведение разборочно-сборочных работ; $T_{Н}$ – затраты времени на устранение неисправности; $T_{ТО}$ – затраты времени на проведение технического обслуживания устройств РЗА (для силового оборудования).

В рамках системы ППР время планового простоя оборудования в ремонте более или менее определено, поскольку в ремонт выводится как правило работоспособное оборудование и время диагностирования не содержит составляющей, соответствующей времени поиска неисправности. В данном случае время диагностирования включает в себя составляющие времени проведения плановых диагностических испытаний как в течение плановых ремонтов, так и в период межремонтных циклов (плавный переход от системы ППР к системе ремонтов по ТС на современном этапе).

Для внеплановых (аварийных) ремонтов как по системе ППР, так и по системе проведения ремонтов по ТС задача определения времени проведения ремонта (восстановительных работ) усложняется, так как в расчетном выражении определения времени диагностирования появляется составляющая, соответствующая времени отыскания неисправности.

Эта составляющая зависит от достаточно большого количества факторов, которые, как правило, носят вероятностный характер [7]. Среди этих факторов можно выделить:

- конструктивную и функциональную сложность объекта диагностирования (ОД);
- опыт, навыки и профессиональную подготовку специалистов-ремонтников;

- наличие в данном объекте встроенных средств диагностирования с возможностью автоматизации процедуры передачи данных;

- возможность применения внешних средств диагностирования;

- наличие информативной документации по ОД, позволяющей оценить временные и материальные затраты на проведение диагностирования, для решения вопроса об экономической целесообразности ремонта;

- глубину поиска неисправности, которая на основе логического разделения ОД на функциональные блоки (сборочные единицы) позволяет, используя алгоритмы логического поиска, обнаружить и локализовать поврежденный блок (отыскание неисправного блока или конечного элемента).

Время на проведение вспомогательных и разборочно-сборочных работ зависит от следующих факторов [6, 8]:

- конструктивных особенностей ОД;
- компоновки оборудования на месте установки, условий и режимов эксплуатации;
- технической оснащенности ремонтной организации;

- наличия и организации ремонтной площадки (ремонтных зон);

- организации грузопотоков на территории энергообъекта.

Затраты времени на устранение неисправности находятся в зависимости от следующих факторов [6, 7]:

- глубины поиска как исходного параметра диагностирования (функциональный блок, сборочная единица или конечный элемент);

- характера отказа, повреждения или неисправности сборочной единицы или функционального блока;

- опыта и технической оснащенности специалиста-ремонтника.

В зависимости от конструктивных и функциональных особенностей рассматриваемого ОД и возможности применения средств технической диагностики, процесс разборки может являться составной частью ремонтного диагностирования.

Произведем расчет следующих показателей ремонтпригодности [5, 7, 8, 9]:

- средняя суммарная продолжительность капитального ремонта ($T_{КР}$) – математическое ожидание продолжительности КР данного вида оборудования (в нашем случае получено методом экспертных оценок);

- суммарные трудозатраты на проведение капитального ремонта ($S_{КР}$) – математическое ожидание суммарных трудозатрат на проведение КР оборудования (в нашем случае получено методом экспертных оценок);

- удельная суммарная оперативная продолжительность капитального ремонта ($\bar{T}_{КР}$) –

доля времени проведения КР в межремонтном цикле для данного вида оборудования;

- удельная суммарная оперативная продолжительность трудоемкости капитального ремонта ($\bar{S}_{КР}$) – доля трудозатрат на проведение КР в межремонтном цикле для данного типа оборудования;

- коэффициент ремонтодоступности ($K_{РД}$) – доля остатка от времени КР за вычетом времени проведения разборочных работ во времени проведения КР (чем ближе значение коэффициента к единице, тем более удобным является оборудование для проведения разборочных работ);

- коэффициент контролепригодности ($K_{КП}$) – доля остатка от времени КР за вычетом времени проведения диагностирования и/или приемо-сдаточных испытаний во времени КР

(чем ближе значение коэффициента к единице, тем более удобным и приспособленным является оборудование для проведения диагностических и приемо-сдаточных испытаний).

Рассмотрим пример расчета некоторых показателей ремонтпригодности силовых трансформаторов собственных нужд энергоблока одной из действующих АЭС. В качестве исходных данных для расчета возьмем технологические карты на проведение капитальных ремонтов электрооборудования АЭС. Данные технологические карты составлены в период 2003–2004 г. на основе эксплуатационного опыта методом экспертных оценок. Технологическая карта на проведение капитального ремонта силового трансформатора ТРДНС-63000-35/6 приведена в табл. 1.

Таблица 1. Технологическая карта на проведение капитального ремонта силового трансформатора ТРДНС-63000-35/6

№	Составляющие времени простоя трансформатора в ремонте ($T_{ПР}$)	Перечень технологических операций	Состав персонала	Формула подсчета объема работ	Объем работ, чел/ч	Продолжительность работ, ч
1	$T_{П}$	Вывод в ремонт. Оформление наряда допуска	Мастер	1 чел. × 4 ч	4	4
2		Проверка комплектности и состояния запчастей и материалов, доставка их на ремонтную площадку	Мастер Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 8 ч 1 чел. × 15,6 ч 4 чел. × 15,6 ч	8 15,6 62,4	15,6
3	$T_{РСР}$	Демонтаж трансформатора на фундаменте	Мастер	1 чел. × 8 ч	8	8
4			Электрослесарь 6 р.	1 чел. × 8 ч	8	
			Электрослесарь 4 р.	2 чел. × 8 ч	16	
5		Доставка трансформатора на ремонтную площадку	Мастер	1 чел. × 16 ч	16	21,6
			Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 21,6 ч 4 чел. × 21,6 ч	21,6 86,4	
6	Демонтаж узлов приборов с бака трансформатора	Мастер Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 8 ч 1 чел. × 15,5 ч 3 чел. × 15,5 ч	8 15,5 46,5	15,5	
7	Вскрытие активной части трансформатора	Мастер	1 чел. × 16 ч	16	16	
8		Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 16 ч 4 чел. × 16 ч	16 64		
9	$T_{Н}$	Ремонт активной части	Мастер	1 чел. × 24 ч	8	26,4
10			Электрослесарь 6 р.	1 чел. × 26,4 ч	26,4	
			Электрослесарь 4 р.	4 чел. × 26,4 ч	105,6	
11		Ремонт бака	Мастер	1 чел. × 8 ч	8	15,6
			Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 15,6 ч 2 чел. × 15,6 ч	15,6 31,2	
12	Ремонт вводов 35 кВ	Мастер Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 8 ч 1 чел. × 16 ч 4 чел. × 16 ч	8 16 64	16	
13	Ремонт системы охлаждения	Мастер	1 чел. × 24 ч	24	28,8	
14		Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 28,8 ч 4 чел. × 28,8 ч	28,8 115,2		
15	Ремонт установки расширителя	Мастер	1 чел. × 4 ч	8	16	
16		Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 16 ч	16		

12		Сборка трансформатора с установкой узлов и приборов	Мастер Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 24 ч 1 чел. × 20 ч 4 чел. × 20 ч	24 20 80	24
13	T_{PCP}	Доставка трансформатора на фундамент	Мастер Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 24 ч 1 чел. × 21,6 ч 4 чел. × 21,6 ч	24 21,6 86,4	24
14		Полная сборка трансформатора и доливка его маслом	Мастер Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 16,4 ч 1 чел. × 16,4 ч 4 чел. × 16,4 ч	16,4 16,4 65,6	16,4
15		Монтаж трансформатора на фундаменте	Мастер Электрослесарь 6 р. Электрослесарь 4 р.	1 чел. × 16 ч 1 чел. × 8 ч 4 чел. × 8 ч	16 8 32	16
16		$T_{ТО}$	Техническое обслуживание измерительных приборов	Электромонтер по ремонту аппаратуры РЗА 5р.	1 чел. × 11,5 ч	11,5
17	T_D	Высоковольтные испытания и измерения	Электромонтер 6 р. Электромонтер 4 р.	1 чел. × 37,4 ч 1 чел. × 37,4 ч	37,4 37,4	37,4
18	$T_{ТО}$	Техническое обслуживание устройств РЗА	Инженер б/к Электромонтер РЗА 6 р.	1 чел. × 64,6 ч 1 чел. × 64,6 ч	64,6 64,6	64,6
19	$T_{П}$	Оформление отчетной ремонтной документации	Мастер	1 чел. × 32 ч	32	32

Расчет производим исходя из условий проведения ремонтов по системе ППР, т.е. без учета внеплановых ремонтов, вызванных отказами оборудования. Для определения данных показателей в условиях проведения ремонтов по техническому состоянию с учетом отказов оборудования достаточное количество исходных статистических данных отсутствует. При учете внеплановых ремонтов показатели ремонтпригодности, естественно, будут отличаться от полученных, так как в выражении для определения времени диагностирования T_D появится составляющая отыскания повреждения и изменится объем выполняемых работ.

Определим среднюю оперативную продолжительность разборо-сборочных работ:

$$T_{PCP} = \sum_{i=3}^6 T_i + \sum_{i=12}^{15} T_i = 8 + 21,6 + 15,5 + 16 + 24 + 24 + 16,4 + 16 = 141,5 \text{ ч.}$$

Вычислим среднюю оперативную продолжительность ремонтных (восстановительных) работ:

$$T_H = \sum_{i=7}^{11} T_i = 26,4 + 15,6 + 16 + 28,8 + 16 = 102,8 \text{ ч.}$$

Средняя оперативная продолжительность приемо-сдаточных испытаний – $T_D = 37,4$ ч, а средняя оперативная продолжительность операций ТО вторичных цепей и приборов – $T_{ТО} = 11,5 + 64,6 = 76,1$ ч.

Определим среднюю оперативную продолжительность подготовительных работ: $T_{П} = 4 + 15,6 + 32 = 51,6$ ч.

Вычислим суммарную среднюю продолжительность капитального ремонта блочного ТСН:

$$T_{KP} = T_{PCP} + T_H + T_D + T_{ТО} + T_{П} = 141,5 + 102,8 + 37,4 + 76,1 + 51,6 = 409,4 \text{ ч.}$$

Определим трудозатраты на проведение следующих видов работ:

- разборо-сборочных работ:

$$S_{PCP} = 8 + 8 + 16 + 16 + 21,6 + 86,4 + 8 + 15,5 + 46,5 + 16 + 16 + 64 + 24 + 20 + 80 + 24 + 21,6 + 86,4 + 16,4 + 16,4 + 65,6 + 16 + 8 + 32 = 732,4 \text{ чел/ч;}$$

- ремонтных работ:

$$S_H = 8 + 26,4 + 105,6 + 8 + 15,6 + 31,2 + 8 + 16 + 64 + 24 + 28,8 + 115,2 + 8 + 16 = 486,8 \text{ чел/ч;}$$

- приемо-сдаточных испытаний:

$$S_D = 37,4 + 37,4 = 74,8 \text{ чел/ч;}$$

- операций ТО вторичных цепей и приборов:

$$S_{ТО} = 11,5 + 64,6 + 64,6 = 140,7 \text{ чел/ч;}$$

- подготовительно-оформительных работ:

$$S_{П} = 4 + 8 + 15,6 + 62,4 + 32 = 122 \text{ чел/ч;}$$

- капитального ремонта блочного ТСН:

$$S_{KP} = S_{PCP} + S_H + S_D + S_{ТО} + S_{П} = 732,4 + 486,8 + 74,8 + 140,7 + 122 = 1556,7 \text{ чел/ч;}$$

Определим удельную суммарную оперативную продолжительность:

- капитальных ремонтов

$$\bar{T}_{KP} = \frac{T_{KP}}{T_{Ц}} = \frac{409,4}{8 \cdot 8760} = 0,005842;$$

- трудоемкости капитальных ремонтов

$$\bar{S}_{KP} = \frac{S_{KP}}{T_{Ц}} = \frac{1556,7}{8 \cdot 8760} = 0,022213.$$

Вычислим коэффициенты ремонтодоступности и контролепригодности:

$$K_{PD} = 1 - \frac{S_{PCP}}{S_{KP}} = 1 - \frac{732,4}{1556,7} = 0,529518;$$

$$K_{KP} = 1 - \frac{S_D}{S_{KP}} = 1 - \frac{74,8}{1556,7} = 0,95195.$$

Сравнительный анализ определенных выше показателей для двух типов блочных трансформаторов и трансформаторов собственных нужд (табл. 2) показывает характерную закономерность роста времени и трудоемкости прове-

дения капитальных ремонтов оборудования с ростом класса напряжения этого оборудования.

При оценке доли времени разборочно-сборочных работ во времени КР наблюдается относительное постоянство данного показателя. Данные виды работ (демонтаж, разбор, сбор и

монтаж оборудования) составляют половину от всего времени проведения ремонта, что говорит о сложности конструкции, высокой трудоёмкости и невысокой приспособленности силовых трансформаторов к проведению ремонтов.

Таблица 2. Показатели ремонтпригодности для силовых трансформаторов

Оборудование	$T_{КР}$	$S_{КР}$	$\bar{T}_{КР}$	$\bar{S}_{КР}$	$K_{РД}$	$K_{КП}$
ТРДНС-63000-35/6	409,4	1556,7	0,005842	0,022213	0,529518	0,95195
ТРДЦН-63000-220/6	539,85	3039,3	0,007703	0,043369	0,49235	0,969039
ТНЦ-630000-24/220	630,87	3940,44	0,009002	0,056228	0,455898	0,982489
ТЦ-630000-24/500	724,05	4681,2	0,010332	0,066798	0,487055	0,98494

Заключение

Свойство ремонтпригодности электрооборудования позволяет в условиях эксплуатации обеспечивать надежность электроустановок электрических станций и подстанций. Предложенная классификация показателей ремонтпригодности позволяет выделить наиболее существенные из них с точки зрения временных и экономических характеристик проведения ремонтных работ с учетом конструктивных особенностей электрооборудования. Разработан порядок количественной оценки среднего времени восстановления оборудования.

Полученные выражения для количественной оценки коэффициентов контролепригодности и ремонтодоступности позволяют характеризовать электрооборудование в условиях применения стратегии технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию.

Показатели ремонтпригодности – контролепригодность и ремонтодоступность – позволяют учитывать информацию от средств технической диагностики оборудования.

Повышения ремонтпригодности оборудования на стадии проектирования и производства можно достичь путем оснащения его специальными встроенными средствами диагностирования, а также проведения испытаний

в целях накопления статистических данных по трудозатратам на выполнение операций, необходимых для восстановления ресурса оборудования.

Список литературы

1. **ГОСТ 27.002-89.** Надежность в технике. Термины и определения.
2. **Надежность** систем энергетики: Терминология // Сб. рекомендованных терминов. Вып. 95. – М.: Наука, 1980.
3. **Руденко Ю.Н., Сеньчугов Ф.И., Смирнов Э.П.** Основные понятия, определяющие свойство надежность систем энергетики // Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт. – 1981. – № 2. – С. 3–17.
4. **Коварский Л.Г.** Расчетные основы оптимизации ремонта электрооборудования. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
5. **Надежность** и эффективность в технике: Справочник в 10 т. Т. 8. Эксплуатация и ремонт / Под ред. В.Н. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. – М.: Машиностроение, 1990.
6. **Производственная** эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт энергетического оборудования: Справочник / В.И. Колпачков, А.И. Ящуря. – М.: Энергосервис, 1999.
7. **Ксенз С.П.** Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989.
8. **Гофман Е.Я., Уланов Г.А., Чистяков В.И.** Ремонтпригодность котельных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
9. **Объем** и нормы испытаний электрооборудования / Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. 6-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 1998.

Назарычев Александр Николаевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,
телефон (4932) 38-57-94.
e-mail: nazarythev@mail.ru

Жулина Татьяна Александровна,
ООО «ПСК Энергия»
инженер-проектировщик
телефон + 7-920-345-25-60.
адрес: 153027, г. Иваново, ул. Павла Большевикова, д. 27.