

УДК 621.311.1

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-4-18-21

Причины снижения надежности функционирования энергосистемы при оперативных переключениях

В.С. Герасимов, Р.Р. Насыров

В условиях современной рыночной экономики надежное функционирование энергосистемы является приоритетной и базовой задачей. Всегда нужно помнить, что для обеспечения надежной работы энергосистемы следует рассматривать и учитывать всё многообразие влияющих факторов. На сегодняшний день внимание исследователей, занимающихся вопросами надежности энергосистем, обращено на оборудование. Постоянное развитие энергосистемы, увеличение объема требуемой мощности и высокий процент износа оборудования приводят к увеличению объема работ, выполняемых персоналом электроэнергетических предприятий и направленных на устранение недостатков и поддержание оборудования в работоспособном состоянии. Таким образом, надежное функционирование энергосистемы определяется не только используемым оборудованием, но и качеством его эксплуатации персоналом энергетических предприятий.

Исследованы роль персонала и степень его влияния на надежность функционирования энергосистемы во время производства оперативных переключений. Качество оперативных переключений и, как следствие, количество технологических нарушений в работе энергосистемы, приводящих к авариям и травмам персонала, определяются степенью организации обслуживания эксплуатируемого оборудования и подходом к работе с персоналом. Приведены основные ошибки персонала при выполнении переключений и их классификация. Проанализированы причины ошибок и предложены мероприятия, направленные на снижение ошибочных действий и повышение надежности функционирования энергосистемы.

Ключевые слова: оперативные переключения, надежность энергосистемы.

Для цитирования: Герасимов В.С., Насыров Р.Р. Причины снижения надежности функционирования энергосистемы при оперативных переключениях // Вестник МЭИ. 2019. № 4. С. 18—21. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-4-18-21.

Factors Degrading Power System Performance Reliability in Carrying out Routine Switching Operations

V.S. Gerasimov, R.R. Nasyrov

Under the conditions of the modern market economy, reliable performance of the power system is a priority and fundamental challenge. It must always be borne in mind that to secure reliable power system operation, the whole variety of influencing factors should be considered and taken into account. Nowadays, the researchers who deal with matters concerned with power system reliability, place focus on equipment. Constant development of the power system, growing demand for the required power, and high extent of equipment wear generate the need to increase the scope of work performed by the personnel of electric power enterprises aimed at eliminating deficiencies and maintaining the equipment in serviceable state. Thus, reliable performance of the power system depends not only on the equipment used, but also on the quality with which the personnel of power industry enterprises operate it.

The article analyzes the role of the personnel and the extent of their influence on the power system performance reliability in carrying out routine switching operations. The quality of these operations and, as a consequence, the number of process-related deviations from normal operation of the power system that entail the occurrence of accidents and personnel injuries are determined by how properly the maintenance of the equipment being operated is organized and what approach to work with the personnel is practiced. The main human errors committed in making routine switching operations are listed and classified. The factors causing commitment of errors are analyzed, and measures aimed at decreasing the commitment of erroneous actions and achieving more reliable power system performance are proposed.

Key words: routine switching operations, power system reliability.

For citation: Gerasimov V.S., Nasyrov R.R. Factors Degrading Power System Performance Reliability in Carrying out Routine Switching Operations. Bulletin of MPEI. 2019;4:18—21. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-4-18-21.

Введение

Надежность электроснабжения потребителей всегда являлась одной из центральных тем для исследований. Основной фокус работ в области надежности электроэнергетики сосредоточен на надежности оборудования. Однако надежность электроснабжения определяется не только безотказной службой оборудования, но и (во многом) персоналом, эксплуатирующим это оборудование, его способностью правильно и четко принимать решения как в условиях нормального функционирования энергосистемы, так и в при ликвидации нарушений нормального режима. В качестве примера можно привести аварию, произошедшую 29 мая 2017 г. на ПС 500 кВ «Означенное» (филиал ПАО «ФСК ЕЭС» – «МЭС Сибири»), где при выводе в ремонт системы шин 220 кВ в результате оперативной ошибки были обесточены 3 ПС 220 кВ, питающие Саяногорский и Хакасский алюминиевые заводы, на которых зафиксированы сбои технологического процесса. Также установлены превышения аварийно-допустимых перетоков в контролируемых сечениях [1]. Данный пример отчетливо показывает, что для полноценной и всеобъемлющей оценки надежности электроснабжения потребителей требуется учет влияния человеческого фактора.

Человеческий фактор и ошибки в электроэнергетической системе

Функционирование энергосистемы невозможно представить без участия человека, несмотря на развитие и активное внедрение интеллектуальных сетей, строительство новых цифровых подстанций и т. п. [2].

Человек работает в сложной эргатической системе, в которой взаимодействует с электрооборудованием. Очевидно, что надежность функционирования такой системы зависит от каждого ее компонента и взаимодействия между ними. Действия человека могут приводить как к аварийной ситуации и её усугублению или быть направлены на предотвращение развития аварии. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС, системная авария в Москве в 2005 г. служат тому примером.

Внедрение средств автоматизации повышает надежность функционирования энергосистемы, но это не дает повода вывести человека «за скобки», поскольку невозможно предугадать все возможные варианты развития событий и, следовательно, оперативный персонал вынужден оказывать корректирующие действия в нестандартных ситуациях.

Человеческие ошибки можно определить как любые действия человека, будь то когнитивные или физические, приводящие к отрицательному влиянию на работу всей системы. Важно отметить, что на сегодняшний день влияние человеческих ошибок на надежность функционирования энергосистемы России не учитывается, то есть отсутствует численная оценка влияния человеческого фактора как при проектировании новых объектов электроэнергетики, так и при оценке степени влияния оперативного персонала на работу энергосистемы в нормальных и аварийных условиях,

ввиду отсутствия нормативной базы и слабого развития методов для проведения подобной оценки [3, 4].

Хочется обратить внимание на то, что сбор статистики по нарушениям функционирования энергосистемы по вине оперативного персонала и расследование причин проводятся, однако они проходят по принципу «последней мили» и отражают только конечные действия, приведшие к нарушению. Никогда не учитываются первоначальные факторы и предшествующие события. На объективность статистики влияет и то, что при расследовании некоторые факты могут «утаиваться», что ведет к «затуманиванию» реальной картины произошедшего. Следовательно, нельзя, опираясь на подобную статистику, выявить первоисточник проблемы и решить проблему комплексно.

Диаметрально противоположная ситуация наблюдается в странах Европы и США, где работа по указанному вопросу ведется не один десяток лет [5 — 7].

Рассмотрено влияние человеческих ошибок при выполнении оперативных переключений, поскольку это один из основных и наиболее важных видов деятельности на этапе эксплуатации.

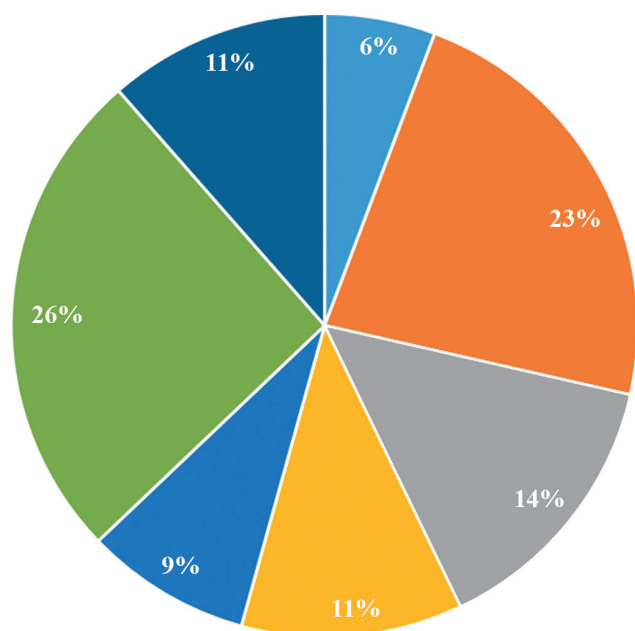
Классификация ошибочных действий оперативного персонала и их причины

Сообщения, приведенные Ситуационно-аналитическим центром Минэнерго России и Ростехнадзором показали, что ошибочные действия оперативного персонала во время переключений приводят к обесточиванию потребителей, а иногда и летальным исходам с персоналом. В результате проведенного анализа выделены основные ошибки, совершаемые оперативным персоналом:

- отключение разъединителей под нагрузкой;
- подача напряжения на заземленное оборудование;
- включение заземляющих ножей на оборудование, находящееся под напряжением;
- нарушение порядка проведения операций с блокировочными устройствами, их самовольное деблокирование;
- нарушение порядка выполнения переключений двумя лицами, ненадлежащий контроль за действиями лица, проводящего переключения, со стороны контролирующего лица;
- неправильные действия в цепях РЗА и вторичной коммутации;
- нарушение последовательности действий при составлении бланков переключений.

На рисунке представлено количественное распределение оперативных ошибок по их типам за 2016 — 2017 гг.

В качестве основных причин, приводящих к ошибкам, можно выделить недостаточную подготовку персонала, неэффективные меры по повышению качества подготовки, отступления от нормативных требований, конструктивные особенности систем оперативной блокировки, отсутствие понимания опасности электрического тока, личную недисциплинированность работников.



Распределение основных оперативных ошибок по типам:

■ — отключение разъединителя под нагрузкой; ■ — подача напряжения на заземленное оборудование; ■ — включение заземляющих ножей на оборудовании, находящемся под напряжением; ■ — нарушение порядка проведения операций с блокировочными устройствами; ■ — нарушение порядка производства оперативных переключений; ■ — неправильные действия в цепях РЗА и вторичной коммутации; ■ — нарушение последовательности действий при составлении бланков переключений

Одно из основных требований, предъявляемых к соискателю на должность оперативного персонала, — наличие среднего образования. Однако почти всегда отсутствует условие, чтобы оно было энергетического профиля. Таким образом, работодатель получает низкоквалифицированный персонал, у которого часто отсутствует понимание базовых принципов функционирования электроэнергетического оборудования и какую опасность несет электрический ток. Последующего обучения, проводимого перед допуском к самостоятельной деятельности, часто бывает недостаточно, так как формируются только механические навыки обращения с оборудованием, но не дается достаточно теоретической информации, необходимой для понимания цепочки действие – следствие. Этот факт в совокупности с недисциплинированностью работников приводит к слепому доверию надежности оборудования, сообщениям и действиям коллег, диспетчеров, неправильным действиям в цепях РЗА.

Ежегодные проверки знаний техники безопасности (ТБ) и руководящих инструкций, проводимые с персоналом электроэнергетических предприятий, направлены на повышение уровня знаний и напоминание об опасности электрического тока, но не всегда эффективны, поскольку знание правил и руководящих инструкций не гарантирует того, что человек реально понимает ту опасность, с которой он сталкивается при

выполнении рабочих обязанностей. В качестве примера можно привести тот факт, что каждый год в период технического обслуживания и ремонта оборудования, несмотря на то, что ведется постоянная работа с персоналом на «бумаге», все равно происходят несчастные случаи, что говорит либо о формальности данных мероприятий, либо о пренебрежении правилами техники безопасности рабочими вследствие непонимания опасности. Факт формальности проводимых мероприятий доказать почти невозможно, а вот факт пренебрежения техникой безопасности достаточно легко обосновать статистикой по несчастным случаям.

Специфическими особенностями работы в электроэнергетике являются однообразность деятельности и резкие переходы из нормального состояния в состояние аварии при достаточно длительной и монотонной работе оборудования в нормальном режиме. В первом случае возможна потеря бдительности при работе в монотонных условиях, что ведет к одной из ошибок, указанных ранее. В случае возникновения аварийной ситуации на персонал воздействует поток информации больший, чем может воспринимать человек для составления адекватного представления о сложившейся обстановке. [8]. В нем присутствует информация, как действительно важная в сложившейся ситуации, так и побочная. Это выливается в состояние запредельного торможения и ведет к потере возможности адекватно и своевременно ликвидировать последствия аварии.

Низкая надежность систем оперативной блокировки, призванных предотвращать ошибки при выполнении переключений, приводит к формированию устойчивого мнения у оперативного персонала, что данная система неработоспособна в принципе, и создает привычку ее игнорирования даже в случае верных сигналов. Согласно данным [9] проведено обследование систем оперативной блокировки на десяти подстанциях. В трех случаях обнаружены неисправности в логических цепях, неполная система блокировок была на двух подстанциях, а в семи случаях из десяти цепи оперативной блокировки находились без напряжения.

Заключение

Человеческий фактор значительно влияет на надежность функционирования энергосистемы. Однако на сегодняшний день это влияние не учитывается из-за отсутствия нормативной базы и способов оценки надежности человека, утвержденных на законодательном уровне. Для повышения надежности функционирования энергосистемы, помимо работ, направленных на повышение надежности оборудования, необходимо:

- разработать и внедрить способы оценки надежности персонала;
- увеличить уровень требований для вновь принимаемого персонала, причем основным требованием должно быть наличие образования энергетического профиля;
- повысить качество обучения и тренировок оперативного персонала для отработки самостоятельности действий в случае возникновения нестандартных ситу-

ций (в качестве примера можно предложить тренажер оперативных переключений на основе технологии виртуальной реальности, основное преимущество которого состоит в том, что будущее место работы полностью перенесено в виртуальность и позволяет отработать основные навыки при подготовке, увеличить эффект от

тренировок персонала, что в последствии ведет к снижению вероятности ошибки при реальных работах [10]);

- уделить дополнительное внимание вопросу оповещения оперативного персонала в случаях нарушения нормального режима при проектировании и строительстве новых объектов электроэнергетики.

Литература

1. ФГБУ «САЦ Минэнерго России» [Электрон. ресурс] <http://www.сацминэнерго.рф/> (дата обращения 24.03.18).
2. **Воропай Н.И. и др.** Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. М.: Энергия, 2013.
3. **Дьяков А.Ф.** Надежная работа персонала в электроэнергетике. М.: Изд-во МЭИ, 1991.
4. **Пантюхин А.И., Кузнецов А.Л., Баранов Ю.Н.** Количественная оценка надежности человека в системах «человек–машина» // Вестник ОрелГАУ. 2010. № 6 (27). С. 139—141.
5. **Bell J., Holroyd J.** Review of Human Reliability Assessment Methods. Buxton: HSE Books, 2009.
6. **Stojiljkovic E., Grozdanovic M., Stojiljkovic P.** Human Error Assessment in Electric Power Company of Serbia // Work. 2012. V. 41. No. 1. Pp. 3207—3212.
7. **Dehghanian P., Kezunovic M.** Probabilistic Decision Making for the Bulk Power System Optimal Topology Control // IEEE PES Innovative Smart Grid Techn. 2015. Pp. 1—11.
8. **Гвоздев Д.Б.** Разработка критерия оптимальной информационной нагрузки диспетчера ЦУС предприятия электрических сетей // Вестник МЭИ. 2013. № 2. С. 55—58.
9. **Борисов Р.К., Жуликов С.С., Уситвина А.А.** Результаты комплексной проверки работоспособности оперативных блокировок безопасности на электрических подстанциях // Вестник МЭИ. 2013. № 2. С. 59—64.
10. **Насыров Р.Р., Пилugin А.В., Марченков Д.В., Чуркин А.И., Сулейманов И.Р.** Виртуальный тренажер оперативных переключений // Электричество. 2016. № 3. С. 27—32.

Сведения об авторах:

Герасимов Валентин Сергеевич — аспирант кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: gerasimovval@yandex.ru

Насыров Ринат Ришатovich — кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетических систем НИУ «МЭИ», e-mail: nasirov.rinat@gmail.com

Information about authors:

Gerasimov Valentin S. — Ph.D.-student of Power Electrical Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: gerasimovval@yandex.ru

Nasyrov Rinat R. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Power Electrical Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: nasirov.rinat@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 09.11.2018

The article received to the editor: 09.11.2018

References

1. FGBU «SATS Minenergo Rossii» [Elektron. Resurs] <http://www.satsminenergo.rf/> (Data Obrashcheniya 24.03.18). (in Russian).
2. **Voropay N.I. i dr.** Kontsepsiya Obespecheniya Nadezhnosti v Elektroenergetike. M.: Energiya, 2013. (in Russian).
3. **D'yakov A.F.** Nadezhnaya Rabota Personala v Elektroenergetike. M.: Izd-vo MEI, 1991. (in Russian).
4. **Pantuyukhin A.I., Kuznetsov A.L., Baranov Yu.N.** Kolichestvennaya Otsenka Nadezhnosti Cheloveka v Sistemakh «Chelovek–mashina». Vestnik OrelGAU. 2010; 6 (27):139—141. (in Russian).
5. **Bell J., Holroyd J.** Review of Human Reliability Assessment Methods. Buxton: HSE Books, 2009.
6. **Stojiljkovic E., Grozdanovic M., Stojiljkovic P.** Human Error Assessment in Electric Power Company of Serbia. Work. 2012;41;1:3207—3212.
7. **Dehghanian P., Kezunovic M.** Probabilistic Decision Making for the Bulk Power System Optimal Topology Control. IEEE PES Innovative Smart Grid Techn. 2015:1—11.
8. **Gvozdev D.B.** Razrabotka Kriteriya Optimal'noy Informatsionnoy Nagruzki Dispetchera TSUS Predpriyatiya Elektricheskikh Setey. Vestnik MEI. 2013;2:55—58. (in Russian).
9. **Borisov R.K., Zhulikov S.S., Usitvina A.A.** Rezul'taty Kompleksnoy Proverki Rabotosposobnosti Operativnykh Blokirovok Bezopasnosti na Elektricheskikh Podstantsiyakh. Vestnik MEI. 2013;2:59—64. (in Russian).
10. **Nasyrov R.R., Pilyugin A.V., Marchenkov D.V., Churkin A.I., Suleymanov I.R.** Virtual'nyy Trenazher Operativnykh Pereklyucheniy. Elektrichestvo. 2016;3:27—32. (in Russian).