

История развития тренажеров диспетчерского персонала в электроэнергетике

П.С. Еременко, Е.К. Аксенова

Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина

Аннотация: Компьютерный тренинг является одним из наиболее эффективных инструментов снижения аварийности в электроэнергетике. В данной работе приведена история развития технологии тренажеров диспетчерского персонала, с авиационных тренажеров середины двадцатого века до традиционных тренажеров, окончательно оформившихся в конце 1990-х и развивающейся на сегодняшний день концепции интеллектуального тренажера. Рассмотрены основные вехи и этапы. Приведены актуальные проблемы тренажеростроения, являющиеся драйверами дальнейшего развития данной технологии.

Ключевые слова: тренажер диспетчерского персонала, режимный тренажер, тренировка персонала энергосистем, моделирование энергосистемы, компьютерный тренинг, система управления элементами сети.

Введение

На сегодняшний день электроэнергия является одним из важнейших элементов современной среды обитания людей и необходимым требованием для успешного функционирования и дальнейшего развития человеческого общества. Таким образом, в соответствии с концепцией обеспечения надежности в электроэнергетике от 2013 года (Воропай Н.И., Ковалёв Г.Ф., Дьяков А.Ф. и др.), основной целью функционирования энергетической отрасли является надежное и безопасное снабжение потребителей энергией требуемого качества.

В соответствии с данными Ростехнадзора [1], аварийность на опасных производственных объектах (в том числе на электростанциях и сетевых предприятиях) в более чем 70% случаев обусловлена так называемым «человеческим фактором».

Столь высокая степень реализации антропогенных угроз обусловлена ростом сложности и размера систем, а, соответственно, и повышенному уровню напряженности персонала, работающего с этими системами. Также

свою лепту вносит физическое и моральное устаревание используемого оборудования, что повышает требования к квалификации персонала. Таким образом развитие человеческой составляющей таких систем является одним из основных способов понижения аварийности и повышения надежности работы энергосистемы.

Одним из наиболее зарекомендовавших себя способов повышения квалификации персонала является компьютерный тренинг. Этот подход позволяет снизить количество ошибок, совершаемых из-за «человеческого фактора» за счет выработки навыков работы с системой в различных режимах и ситуациях.

Авиационные тренажеры

Потребность в обучающих тренажерах возникает в двух случаях. Во-первых, в случаях массовой подготовки специалистов для работы, либо на однотипном оборудовании, либо со схожими рабочими действиями (пример: тренажер водителя). Во-вторых, там, где при условии проведения обучения на реальном оборудовании цена ошибки будет слишком высокой, или где обучение на реальном объекте в принципе невозможно (пример: космические тренажеры).

Впервые тренажеры были разработаны для авиации. В данном случае имели место обе причины, т. к. и цена ошибки была достаточно высока, и имелась необходимость массового обучения.

Первый авиационный тренажер был построен в Англии в 1910 году французской компанией Antoinette. Его создатели, владелец завода Джулиус Гастамбайд и художник (и изобретатель восьмицилиндрового V-образного двигателя) Леон Левассер, дали ему название «Учебная бочка Антуанетта» [2].

Однако первым тренажер, эффективность которого стала общепризнанной, стал тренажер Эдварда А. Линка, разработанный в 1927

году для обучения военных летчиков США. Широкое распространение изобретение Линка получает лишь в 1934 году, в связи с открытием коммерческих авиалиний.

Тренажер Линка состоял из деревянного фюзеляжа с кабиной и специального пневматического механизма позволяющего имитировать крен, набор высоты и пикирование.

В СССР авиационные тренажеры появились в середине 30-х годов. В 1936 году старший лейтенант Панов А. Г. создал подвесную кабину, позволяющую отрабатывать пилотирование и отработку разворотов, виражей, пикирования и посадки. В то же время использовались тренажеры типа «журавль» и «штырь», действующие аналогичный принцип. В конце 30-х годов в СССР начал внедряться тренажер Линка. Дальнейшее развитие авиатренажеров СССР совпадало с зарубежным [3], т.к. изобретение Линка достаточно быстро стало основным применяемым тренажером в индустрии.

Поначалу использование тренажеров вызывало жаркие дискуссии в профессиональных кругах, по причине невозможности достижения высокой степени достоверности таких имитационных тренировок, ввиду несовершенства технологий тех времен. Обсуждалась эффективность подготовки пилотов без «ощущения полета». Но Вторая Мировая Война расставила все по местам касательно данных споров. Дело в том, что проведенные во время войны исследования показали, что большинство смертей военных летчиков произошло не из-за действий врага (попадания в самолет зенитных снарядов или воздушного боя), а от ошибок, допущенных самими пилотами в управлении самолетом.

Также во время Второй Мировой Войны были разработаны первые аналоговые компьютеры, сервосистемы и компоненты, что дали мощный толчок развитию тренажеростроения как таковому [4]. В результате чего в 50-е годы на основе уже аналоговой техники создаются первые тренажеры

ВВС США, способные на полноценную имитацию кабины самолета и управление полетом в реальных условиях.

Предпосылки создания тренажеров для электроэнергетики

Развитие цифровой электроники 60-х и 70-х годов привело к значительному прогрессу в части моделирующих систем. Что позволило значительно продвинуться в улучшении достоверности тренажеров в авиационной индустрии.

В 1958 году в США был принят закон “National Defense Education Act” («Закон об образовании для нужд национальной обороны»), что привело к созданию учебно-научных комплексов. В том числе, создания при научно-исследовательском энергетическом институте EPRI (Energy Power Research Institute, г. Шарлотт, штат Северная Каролина), направленного на удовлетворение потребностей электроэнергетической промышленности в профессиональных кадрах [3]. Одним из направлений деятельности EPRI, являлась подготовка оперативного, инструкторского и другого персонала электрических станций. Для этого при EPRI был создан центр неразрушающего контроля EPRI Nondestructive Examination (EPRI NDE).

Примерно в то же время при EPRI было создано объединение EPRI Nuclear Power Group (EPRI NPG), в которое вошли в том числе и тепловые электростанции.

Вышеописанные факторы, а также несколько масштабных аварий, как например северо-восточное отключение 1965, оставившее без электричества около 30 миллионов человек на более чем 13 часов, привели к экспансии тренажеров за пределы авиационной индустрии в конце 70-х годов.

70-е – 90-е годы. Классические тренажеры в электроэнергетике

В 1977 на конференции «IEEE 1977 Power Industry Computer Applications Conference» Латимер представляет концепцию тренажера

диспетчера [5]. Латимер описал систему компьютерного моделирования энергосистемы с целью обучения операторов. Акцент делался на возможность долгосрочного моделирования с возможностью диспетчерского управления и контроля генерации. Также система включала в себя распространенный по тем временам человеко-машинный интерфейс – отображение однолинейных диаграмм, сводных таблиц по генерации, а также отображение операций. Система включала в себя и интерфейс тренера, позволяющего запускать и управлять тренировочным процессом. Имитационная модель позволяла имитировать реакцию генератора и частотные характеристики системы с помощью численного моделирования. В том же году создается первый тренажер по его концепту.

В конце 70-х началось развитие отечественных тренажеров. Первоначально тренажеры начали разрабатываться для атомной энергетики (Нововоронежская АЭС). Затем перешли и к традиционной электроэнергетике (Трипольская ГРЭС). Первые работы начались в 1978 году. Так называемый, «тренажерный» проект под инициативой Мосэнерго начали проводить две организации [3]:

- Специализированное наладочное предприятие «СНП Мосэнергоналадка» (позднее ЗАО «ТРЭЛЕКС» и АО «ТЭСТ»). Руководитель проекта – С. И. Магид. Задача – разработка математических моделей оборудования и процессов для тренажеров и учебно-методическое обеспечение;
- Опытный завод автоматики и приборостроения «ОЗАП Мосэнерго». Руководитель проекта – С. С. Токаев. Задача – реализация тренажеров на цифровой и аналоговой вычислительной технике;

Однако стоит отметить, что никаких значительных отличительных от общемировых структурных или функциональных особенностей отечественные тренажеры не имели.

После этого, в 1982 году, EPRI начинает проект по разработке тренажера диспетчера нового поколения (RP1915) [6]. В рамках этого проекта исследуются многие аспекты применения тренажеров [7], обсуждается эффективность и экономическая выгода от использования тренажеров в электроэнергетике [8] и создаются тренажеры, основанные уже на новых технологиях. В результате тренажеры диспетчера стали активно внедряться по всему миру. Также начались активные исследования с целью улучшения качества моделирования и повышения достоверности тренировки.

Например, во Франции, начиная с 1988 года, использовался тренажер оператора, который представлял собой отдельную систему, способную имитировать национальный и региональный диспетчерские центры. Имитация была основана на долгосрочной динамической программе для нормальных условий и на упрощенной линейной программе переходной устойчивости и условий короткого замыкания [9]. Для расчета алгебраических уравнений использовался метод полной матрицы Якоби, а для дифференциальных уравнений – неявный метод трапеции. Моделируемая система имела около 370 ветвей, 115 электростанций, 180 нагрузок и 3500 коммутационных аппаратов, были представлены все имеющиеся автоматы защиты. По результатам пятилетнего использования заявлялось, что данный тренажер имел достаточный уровень реализма для эффективного обучения.

Также рассматриваются различные пути развития систем диспетчеризации, и тренажеров в том числе. Например, исследуется возможность применения технологий искусственного интеллекта, доступных в то время, таких как экспертные системы [10].

Заметной вехой в истории тренажеростроения для электроэнергетики стал тренажер Линча [11], представленный в 1989 году. Основной его особенностью стало использование того же самого интерфейса, что и в реальной эксплуатации. Тренировка происходила в той же комнате

управления [12], что использовалась для управления реальной системой. Тренажер мог работать на резервной части системы управления электрической сети (EMS) или же на отдельном оборудовании. Интерфейсы и рабочие процедуры были полностью идентичными тем, которые обучаемые используют в режиме реального времени. Таким образом, обучаемый мог вовсе не осознавать, что работает на тренажере. Это позволяло получить реалистичный опыт.

В 90-х годах технологии, разработанные для применения в тренажерах, начинают применяться в реальных системах [13].

В 1990 году проект EPRI RP1915 достигается своей цели, и разработанный тренажер устанавливается в Электрической компании Филадельфии (Philadelphia Electric Company) [14, 15].

Разработанный тренажер по сути является первым тренажером наиболее распространенного на момент написания данной работы типа. В отличие от его предшественников его можно было адаптировать под различные системы, что позволило значительно снизить стоимость внедрения тренажера для энергетических компаний.

Тренажер состоял из 4 подсистем:

- Системы моделирования электрической сети (Power System Modeling – PSM). Отвечала за имитацию компонентов системы, таких как генераторы, трансформаторы и др.;
- Системы моделирования центра управления (Control center modeling – CCM). Предназначалась для имитации функций управления реальной системой, таких, как диспетчерское управление, автоматическое управление генерацией. Эти функциональные модули были идентичные (с точки зрения пользователя), применяемым в реальной системе;

- Подсистемы обучения (Educational subsystem – ES). Предназначалась для создания и контроля сценариев обучения и для отслеживания и анализа пройденных обучаемыми сценариев.
- Интерфейс инструктора (Instructor Position – IP). Представляет собой человеко-машинный интерфейс, предназначенный для обеспечения доступа тренера к подсистеме обучения и системе моделирования.

Одним из требований при разработке была возможность интеграции тренажера с существующими системами управления электросетями (EMS). В результате выполнения этого требования интегрировать тренажер в систему можно было тремя способами:

- Подключить тренажер к резервному пульту центра управления;
- Подключить тренажер к компьютеру идентичному, используемому в реальном центре управления.
- Подключение в соответствии с необходимостью компании. Например, «иерархическое» подключение тренажеров для проведения совместных тренировок.

При разработке операторских и диспетчерских тренажеров начинают применяться современные технологии, такие, как динамическое моделирование и объектно-ориентированное программирование.

Разработчики тренажеров начинают использовать распространенные операционные системы, такие, как Unix [14] и MS DOS [16].

В 1994 году в тренажерах появляется актуальная на сегодняшний день функциональность [17]:

- События тренировки, срабатывающие по условию;
 - Использование New York Power Pool (NYPP) модели;
 - Создание снимка состояния тренировки в реальном времени;
 - Автоматическое создание базы данных для тренажера;
 - Воспроизведение записанного сеанса тренировки для просмотра;
-

- Построитель сценариев тренировки на основе эвристик (автоматическое создание сценариев).

Шаг моделирования для тренажеров того времени варьировался в диапазоне 1–2 секунды, что считалось достаточным для эффективной тренировки операторов и диспетчеров.

Примерно в то же время был разработан стандарт ANSI/ISA-77/20-1993 «Fossil Fuel Power Plant Simulators – Functional Requirements» [18] («Тренажеры для электростанций, работающих на ископаемом топливе – функциональные требования»).

Данный стандарт выделяет три типа тренажеров и устанавливает требования к их качественным характеристикам:

- Высокореалистичный тренажер с полной зоной применения. Точная копия щита управления. Характеристики оборудования полностью соответствуют реальной системе.
- Высокореалистичный тренажер с уменьшенной зоной применения. Копирует реальный щит управления примерно на 80%. Работа возможна в ограниченной зоне режимов. Использует упрощенную модель реальной системы.
- Тренажер общего применения. Не является точной копией щита управления. Используется упрощенная модель, позволяющая работать в ограниченном диапазоне режимов.

Разработка данного стандарта по своей сути стала завершающим этапом принципиального развития традиционных тренажеров диспетчера.

Двадцать первый век. Современные тренажеры

В двадцать первом веке традиционные тренажеры перестают удовлетворять современным требованиям индустрии.

На сегодняшний день тренажерам приходится сталкиваться с вопросами:

- Внедрения умных электрических сетей (Smart Grid);
- Повышения доли «зеленой» генерации (солнечные, ветро- и гидро-электростанции);
- Роста количества отслеживаемых параметров.

Для преодоления существующих проблем используются многие достижения в разных разделах науки и техники, таких, как веб- и облачные технологии [18], использование технологий искусственного интеллекта, применение агентного [19] и гибридного моделирования [20].

Для решения этой проблемы появилась концепция интеллектуального тренажера диспетчера (intelligent dispatcher training simulator - IDTS), основная идея которого состоит в совмещении технологий моделирования электрической сети с технологиями искусственного интеллекта для повышения эффективности и достоверности моделирования. Автором первого интеллектуального тренажера стал Нико Брозе в 2020 году [21]. Данный тренажер, насколько известно, еще не был введен в промышленную эксплуатацию и пока используется только для исследовательских целей.

По сути, структура такого тренажера ничем не отличается от традиционной. Основное отличие состоит во внедрении в каждый из элементов тренажера «интеллектуальной» части, что позволяет эффективнее использовать ресурсы аппаратных платформ и повысить качественные характеристики тренировки.

Для реализации «интеллектуальной» части тренажера предполагается использование экспертных систем, нейронных сетей, теорию нечетких множеств, облачные вычисления и эвристический поиск.

Предполагается, что такой тренажер со временем станет не просто инструментом, для передачи обучаемым имеющихся умений и навыков, но и

позволит генерировать новые знания, тем самым улучшая сам процесс диспетчеризации.

Заключение

В данной работе приведена краткая история развития технологии тренажеров оперативного и диспетчерского персонала, начинающаяся с авиационных тренажеров середины двадцатого века и заканчивая традиционными тренажерами середины 90-х годов.

Выделены наиболее значимые вехи развития тренажеров для электроэнергетики:

- Предложенная Латимером концепция тренажера в 1977;
- Основание EPRI и начало проекта по разработке тренажера диспетчера нового поколения RP1915 в 1982 году;
- Создание тренажера Линча в 1989 году;
- Разработка тренажера, соответствующего концепции RP1915 в 1990 году;
- Публикация стандарта тренажеров персонала для электростанций, работающих на ископаемом топливе в 1993;

Рассмотрено современное состояние тренажерных систем для электроэнергетики, приведен актуальный вектор развития на разработку «интеллектуального» тренажера диспетчера, включающего в себя современные достижения в различных областях науки и техники.

Литература

1. Пуликовский К.Б. Приоритет качеству подготовки, профессиональному обучению и аттестации работников организаций, поднадзорных Ростехнадзору. Безопасность труда в промышленности. 2006. №7. С. 2-8.

2. Ульрих В.Ф. История авиационного тренажеростроения. Часть 2. Форум. 2009. №1. С. 11-12.

3. Магид С.И., Архипова Е.Н. Тренажерная подготовка персонала энергетики. Москва. Издательство «Энергобезопасность». 2017. 158 с.
 4. Valverde H.H. A Review of Flight Simulator Transfer of Training Studies // Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. 1973. №6. Pp. 510-523.
 5. Latimer J.R. and Masiello R.D. Design of a Dispatcher Training Simulator. Proceedings of the IEEE 1977 Power Industry Computer Applications Conference. Toronto, ON, Canada. IEEE. 1977. pp. 87-92.
 6. Podmore R., Giri J.C., Gorenberg M.P., Britton J.P., Peterson N.M. An Advanced Dispatcher Training Simulator. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1982. №1. pp. 17-25.
 7. Bucciero J.M., Dodge J.A., Gillespie R.N., Hinkel R.O., Mann S.L. Dispatcher training simulators: lessons learned. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1991. T. 6. №2. pp. 594-604.
 8. Bose A. Computer simulation of power systems for operator training. Proceedings of the 24th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. Washington, DC, USA. IEEE. 1989. pp. 165-169.
 9. Macrez J. Training simulator within EDF. Proceedings of the 24th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. London, UK. IET, 1994. pp. 1-7.
 10. Wollenberg B.F., Sakaguchi T. Artificial intelligence in power system operations. Proceedings of the IEEE. 1987. T. 75. №12. pp. 1678-1685.
 11. Lynch C.A. A dispatcher training simulator. IEE Colloquium on Power System Simulation. London, UK. IET. 1989. pp. 1-4.
 12. Keerthivasan K., Sharmila D.V., Krishnaveni L., Jovitha J., Ramanujam R. Power simulators – a survey. Journal of Electrical and Electronic Systems Research (JEESR). 2012. №7. pp. 57-66.
-

13. Chu R.F., Dobrowolski E.J., Barr E.J., McGreehan J., Scheurer D., Nodehi K. The uses of an operator training simulator for system restoration. Proceedings of Conference Papers 1991 Power Industry Computer Application Conference. Baltimore, MD, USA. IEEE. 1991. pp. 171-177.
 14. Sigari P., Rafian-Naini M., Sluis K.J. Portable and affordable operator training simulators. IEEE Computer Applications in Power. 1993. №3. pp. 39-44.
 15. Waight J., Nodehi K., Rafian M., Van Meeteren H., Mokhtari S., Wasley R., Bose A., Stackfleth E. Operator training simulator. EPRI-EL-7244. T. 5. Plymouth, Minnesota. EMPROS SYSTEM INTERNATIONAL. 1991. 682 p.
 16. MacLean M., Hogg J., Newman H, Thompson H. The Point Lepreau Desktop Simulator. Proceedings of the 1997 CNA/CNS annual conference on powering Canada's future. Point Lepreau, New Brunswick, Canada. 1997. T. 2. C. 17.
 17. Rajagopal S., Rafian-Naini M., Lake J., Velo E., Turke A., Sigari P., Silverman S., Henry L., Hamlin R., Bednarik R.A. Workstation based advanced operator training simulator for Consolidated Edison. IEEE Transactions on Power Systems. 1994. №4. pp. 1980-1986.
 18. Lin J. Cloud Computing Based System Design for Power Grid Dispatching and Control Training Simulation. Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems. 2017. №14. pp. 164-170.
 19. Xiaolin Qi, Zhenyu Chen, Dapeng Li, Zhihong Li, Yunhao Huang, Yifei Yang, Linpeng Zhang, Xingyu Gao, Liyue Chen, Zhengping Chen. Model Management and Service Based Power Grid Multi-Agent Dispatcher Training Simulator. 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). Beijing. IEEE. 2018. pp. 1-9.
 20. Suvorov A., Gusev A., Ruban N., Andreev M., Askarov A., Stavitsky S. The Hybrid Real-Time Dispatcher Training Simulator: Basic Approach,
-

Software-Hardware Structure and Case Study. International Journal of Emerging Electric Power Systems. 2019. T. 20. №1. P. 0165.

21. Brose N., Amanpour S., Schwarz H., Janik P. Real-Time Dispatcher Training Simulation System for Future Requirements of Grid Operation. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow, Russia. IEEE. 2020. pp. 1-6.

References

1. Pulikovskiy K.B. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2006. №7. pp. 2-8.
 2. Ull'rikh V.F. Forum. 2009. №1. pp. 11-12.
 3. Magid S.I., Arkhipova YE.N. Trenazhernaya podgotovka personala energetiki [Simulator training for energy personnel]. Moskva. Izdatel'stvo «Energobezopasnost'». 2017. 158 p.
 4. Valverde H.H. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. 1973. №6. pp. 510-523.
 5. Latimer J.R. and Masiello R.D. Design of a Dispatcher Training Simulator. Proceedings of the IEEE 1977 Power Industry Computer Applications Conference. Toronto, ON, Cannada. IEEE. 1977. pp. 87-92.
 6. Podmore R., Giri J.C., Gorenberg M.P., Britton J.P., Peterson N.M. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1982. №1. pp. 17-25.
 7. Bucciero J.M., Dodge J.A., Gillespie R.N., Hinkel R.O., Mann S.L. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1991. T. 6. №2. pp. 594-604.
 8. Bose A. Computer simulation of power systems for operator training. Proceedings of the 24th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. Washington, DC, USA. IEEE. 1989. pp. 165-169.
 9. Macrez J. Training simulator within EDF. Proceedings of the 24th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. London, UK. IET, 1994. pp. 1-7.
-

10. Wollenberg B.F., Sakaguchi T. Proceedings of the IEEE. 1987. T. 75. №12. pp. 1678-1685.
11. Lynch C.A. A dispatcher training simulator. IEE Colloquium on Power System Simulation. London, UK. IET. 1989. pp. 1-4.
12. Keerthivasan K., Sharmila D.V., Krishnaveni L., Jovitha J., Ramanujam R. Journal of Electrical and Electronic Systems Research (JEESR). 2012. №7. pp. 57-66.
13. Chu R.F., Dobrowolski E.J., Barr E.J., McGreehan J., Scheurer D., Nodehi K. The uses of an operator training simulator for system restoration. Proceedings of Conference Papers 1991 Power Industry Computer Application Conference. Baltimore, MD, USA. IEEE. 1991. pp. 171-177.
14. Sigari P., Rafian-Naini M., Sluis K.J. Portable and affordable operator training simulators. IEEE Computer Applications in Power. 1993. №3. pp. 39-44.
15. Waight J., Nodehi K., Rafian M., Van Meeteren H., Mokhtari S., Wasley R., Bose A., Stackfleth E. Operator training simulator. EPRI-EL-7244. T. 5. Plymouth, Minnesota. EMPROS SYSTEM INTERNATIONAL. 1991. 682p.
16. MacLean M., Hogg J., Newman H, Thompson H. The Point Lepreau Desktop Simulator. Proceedings of the 1997 CNA/CNS annual conference on powering Canada's future. Point Lepreau, New Brunswick, Canada. 1997. T. 2. p. 17.
17. Rajagopal S., Rafian-Naini M., Lake J., Velo E., Turke A., Sigari P., Silverman S., Henry L., Hamlin R., Bednarik R.A. IEEE Transactions on Power Systems. 1994. №4. pp. 1980-1986.
18. Lin J. Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems. 2017. №14. pp. 164-170.
19. Xiaolin Qi, Zhenyu Chen, Dapeng Li, Zhihong Li, Yunhao Huang, Yifei Yang, Linpeng Zhang, Xingyu Gao, Liyue Chen, Zhengping Chen. Model Management and Service Based Power Grid Multi-Agent Dispatcher Training



Simulator. 2018 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2). Beijing. IEEE. 2018. pp. 1-9.

20. Suvorov A., Gusev A., Ruban N., Andreev M., Askarov A., Stavitsky S. International Journal of Emerging Electric Power Systems. 2019. T. 20. №1. P. 0165.

21. Brose N., Amanpour S., Schwarz H., Janik P. Real-Time Dispatcher Training Simulation System for Future Requirements of Grid Operation. 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow, Russia. IEEE. 2020. pp. 1-6.