

---

# ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

---

## *ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (МЭИ: люди и годы) (07.00.10)*

УДК 620.9:44.01.09

DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-125-130

### **В предчувствии SMART GRID: профессор В.А. Веников об энергетике будущего**

Н.С. Симонов

Проанализирована неизвестная работа выдающегося советского ученого-энергетика, профессора МЭИ В.А. Веникова, найденная автором в Российском государственном архиве экономики (РГАЭ). Она представляет собой служебную записку «О некоторых проблемах будущей энергетики» в Государственный экономический Совет СССР, датированную 1 ноября 1960 г.

Задолго до нынешних дискуссий о том, что такое «умные» электросети, профессор В.А. Веников в терминологии того времени высказал весьма прозорливые предположения об основных этапах и направлениях системной интеграции электроэнергетики, средствах автоматизации и вычислительной техники. Согласно его концепции, электрическая сеть из пассивного устройства транспорта и распределения электроэнергии должна превратиться в активный элемент, параметры и характеристики которого меняются в зависимости от режимов работы энергосистемы. Для этого все ее элементы: от генератора и трансформатора до токоприемника, — должны оснащаться специальными датчиками для передачи управляющих импульсов от вычислительных машин к сервомеханизмам системы, а затем, по мере совершенствования вычислительной техники — самонастраивающимися устройствами. Последние, в зависимости от условий работы системы, анализируемые вычислительной машиной, будут менять программу так, чтобы обеспечить наилучший технико-экономический эффект всей системы в целом. По сути, это записка — предвидение того, что в настоящее время принято называть элементами искусственного интеллекта, с которыми многие связывают, в том числе, возможность создания электроэнергетических систем следующего технологического поколения, обладающих неограниченной устойчивостью и предельно эффективной пропускной способностью.

*Ключевые слова:* структурные элементы электропередачи, эволюция электроэнергетических систем, умные сети электроснабжения.

*Для цитирования:* Симонов Н.С. В предчувствии SMART GRID: профессор В.А. Веников об энергетике будущего // Вестник МЭИ. 2020. № 2. С. 125—130. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-125-130.

### **In Anticipation of a SMART GRID: Professor V.A. Venikov about the Electric Power Industry of the Future**

N.S. Simonov

The unknown work of V.A. Venikov, an outstanding Soviet electric power scientist, Professor of the Moscow Power Engineering Institute (MEI), which was found by the author in the Russian State Archive of Economics, is analyzed. This work is the official note titled «On some problems of the future electric power industry» dated November 1, 1960, which was submitted to the Soviet Union's State Economic Council.

Using the terminology of that time, Venikov outspoken very farsighted conjectures about the main stages and lines of system integration of the electric power industry, automation and computer facilities, which was long before the current discussions about what should be understood under «Smart Grids». According to his concept, the electrical network should be transformed from a passive device for transporting and distributing electric power into an active system, the parameters and characteristics of which vary depending on the grid operation modes. To this end, all its elements from the generator and transformer to the electricity consumer should be equipped with special sensors for transmitting control pulses from computers to the system actuators, and then, with further improvement of the computer

technology, they should be equipped with self-adjusting devices. These latter will adapt the program so as to ensure the best technical and economic effect of the entire system, depending on the system operation conditions analyzed by the computer. In fact, this Venikov's official note was a prediction of what is nowadays called «artificial intelligence elements», components with which many engineers associate the possibility of developing electric power systems of the next technological generation with unlimited stability and extremely efficient throughput capacity.

*Key words:* power transmission structural elements, evolution of electric power systems, smart power supply networks.

*For citation:* Simonov N.S. In Anticipation of a SMART GRID: Professor V.A. Venikov about the Electric Power Industry of the Future. Bulletin of MPEI. 2020;2:125—130. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2020-2-125-130.

Сейчас, когда об экономических и научно-технических достижениях СССР больше принято умалчивать или говорить иронически снисходительно, трудно поверить в то, что был период, когда советская плановая экономика, наука и техника развивались вровень с передовыми капиталистическими странами. Речь в данном случае идет не о первых пятилетках, когда практически с нуля создавались новые отрасли производства, а о 1950-х гг. Рост ВВП в СССР в целом за весь период 1950-х гг. многократно превосходил уровень США и Великобритании, значительно опережал экономический рост во Франции, был выше, чем в ФРГ, и лишь незначительно уступал экономическому росту Японии. [1]

К числу несомненных успехов Советского Союза в области научно-технического прогресса относятся такие крупные события, как создание водородной бомбы, запуск первого искусственного спутника Земли, первый полет сверхзвукового пассажирского самолета, а также ряд других технических достижений, в которых СССР опередил США.

В 1961 г. в СССР на всенародное обсуждение поставлена программа построения коммунистического общества, в соответствии с которой «в ближайшее десятилетие (1961 — 1970 гг.) Советский Союз ... превзойдет по производству продукции на душу населения наиболее мощную и богатую страну капитализма — США...». [2]

Вера в «светлое будущее» опиралась на экстраполяции темпов развития промышленности (и электроэнергетики) за десятилетие: с 1951 по 1961 гг. — 11,8%, а сельского хозяйства за 1956 — 1960 гг. — 6,2%, на следующие два десятилетия. Таким образом, получены индикативные показатели количества и качества экономического роста, согласно которым уже в 1980 г., по словам Н.С. Хрущева: «...нынешнее поколение советских людей будет жить при коммунизме...» [3].

В разработке конкретных отраслевых и общеэкономических прогнозов развития народного хозяйства, а также науки и техники СССР на период до 1980 г. приняли участие десятки научно-исследовательских коллективов и сотни советских ученых. Патронировали эти работы две могущественные организации — Госплан СССР (председатель В.Н. Новиков) и Государственный экономический совет СССР (председатель А.Ф. Засядько).

Среди известных ученых, получивших ответственное задание партии и правительства, был и Валентин

Андреевич Веников, которому в 1958 г. за большой вклад в теоретические и экспериментальные исследования по созданию электропередачи 400 кВ «Куйбышевская ГЭС — Москва», была присуждена Ленинская премия.

Поводом для создания настоящей статьи стала его служебная записка в Государственный экономический Совет СССР «О некоторых проблемах будущей энергетики» от 1 ноября 1960 года. В ней, задолго до нынешних дискуссий о том, что такое «умные сети» и какими качествами они должны обладать, были высказаны весьма прозорливые, оправдавшиеся на все сто процентов, предположения об основных этапах и направлениях интеграции электроэнергетики, средств автоматики и вычислительной техники.

В научном наследии профессора В.А. Веникова (1912 — 1988), насчитывающем более двухсот работ, данная записка имеет исключительное значение, как по времени и условиям ее написания, так и по раритету (существует в двух экземплярах, один из которых хранится в Российском государственном архиве экономики в фонде Госэкономсовета СССР).

Общий объем документа — 14 листов машинописного текста формата А4. По структуре он состоит из двух основных разделов. В первом рассматриваются общие вопросы развития отечественной электроэнергетики:

- пути сплошной электрификации страны и создания ЕЭС;
- разработка энергетического оборудования для энергетических систем;
- проектирование электрооборудования;
- развитие энергостроительных работ.

Второй раздел посвящен вопросам кибернетики электрических систем применительно к задачам кибернетического управления. Под этим термином профессор В.А. Веников подразумевает такое управление электрическими системами посредством электронных вычислительных машин, «при котором последние могли бы проводить вычисление или сопоставление протекающего процесса к неким эталонным, и так направлять режим, чтобы он каждый раз был наилучшим из возможных» (РГАЭ. Ф.7. Оп.1. Д.516. Л.28).

В начале второго раздела он рассуждает о взаимодействии структурных элементов электропередачи: генератора, трансформатора, токоприемника, — от пункта приема до пункта отдачи, полагая, что уже на стадии проектирования каждый из них должен быть оптимально настроен друг под друга посредством специальных регулируемых устройств:

«Например, подход к проектированию генераторов, когда последние создаются без учета действия автоматических устройств, представляется в корне неправильным. Генератор и все его автоматические устройства должны проектироваться как единое целое, и, в соответствии с этим, параметры генератора должны серьезным образом измениться. Генератор и трансформатор должны быть включены в общую систему регулирования электропередачи. Вместе со специальными регулирующими устройствами (ионный компенсатор, регулируемые реакторы и др.) весь этот комплекс регулируемых устройств должен обеспечить создание настроенных линий переменного тока нового типа, включающих нагрузку, как элемент настройки» (там же. Л.31).

В то время специально регулируемые устройства вращающихся машин выглядели как простейшие автоматы, с помощью которых в стране на отдельных электростанциях начали применять «сильное регулирование» — автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) или частоты вращения синхронных генераторов (компенсаторов) по отклонению напряжения или частоты. «Сильное регулирование» непосредственно, а также по первым и вторым производным от тока ротора или статора, напряжения и других параметров режима работы электроэнергетических систем позволяло предвидеть ещё не наступившие изменения режима и предотвращать их.

Напомним, как «сильное регулирование» вошло в практику управления электроэнергетических систем.

На протяжении длительного времени в качестве возбудителя крупных синхронных машин использовались коллекторные генераторы постоянного тока. Они обычно размещались на общем валу с главной машиной. В послевоенные годы в СССР проводили пионерские работы по использованию управляемых вентилялей вместо механических коммутаторов-коллекторов. Сначала их испытывали в лабораторных условиях, а затем были созданы и проверены в эксплуатации опытно-промышленные образцы. В первых двух установках (Нижнесвирской ГЭС и ТЭЦ № 7 Мосэнерго) использовали ртутные вентиляли — игнитроны, а в третьей (Рыбинская ГЭС) — откачные ртутные вентиляли.

После проведения всесторонних испытаний и накопления опыта эксплуатации в 1957 г. была разработана система ионного возбуждения для гидрогенераторов двух Волжских ГЭС. В связи с отсутствием в то время тиристоров, выпрямители создавали на базе ртутных вентилялей производства завода «Уралэлектротяжмаш». Их номинальный ток составлял 500 А, а напряжение — 2500 В.

Широкое внедрение в электроэнергетику систем возбуждения с управляемыми преобразователями вместо электромашинных возбудителей было осуществлено впервые в мире в нашей стране. В дальнейшем переход на системы возбуждения с управляемыми вентилялями был сделан и в зарубежном электромашиностроении.

В своей служебной записке профессор В.А. Веников предвидел создание специальных устройств для регулирования скорости (числа оборотов) вращения турбин, что в настоящее время успешно реализовано в электронных системах управления турбоагрегатов. Используемые в этих системах микропроцессоры и микроконтроллеры регулируют скорость турбины практически во всех диапазонах, обеспечивают устойчивую работу оборудования во время переходных процессов и одновременно поставляют техническому персоналу подробную информацию о состоянии агрегата в режиме реального времени.

Приступая к изложению проблемы внедрения электронно-вычислительных машин в управление электропередачами, профессор В.А. Веников особо оговаривал, что рассматривает их «не как некоторый дополнительный элемент, присоединяемый к тем или иным элементам», а как единое целое, которое «позволит придать этим линиям новые свойства (в частности неограниченную устойчивость и большую пропускную способность)» (там же. Л.31).

Тут следует сделать еще одно отступление. В то время, когда В.А. Веников составлял свою служебную записку, генеральной линией развития отечественной электроэнергетики было создание Единой электроэнергетической системы (ЕЭС). Концепция ЕЭС разрабатывалась на протяжении десятилетий, начиная с плана ГОЭЛРО. Первоначально в основу ее была положена идея объединения энергосистем на переменном токе в одном из наиболее простых ее видов, который характеризовался инвариантностью к режимам энергосистемы (нормальному, утяжеленному, аварийному, послеаварийному) схемой коммутации сети. Этот выбор был обусловлен, наряду с другими факторами, ресурсными ограничениями коммутационной аппаратуры и недостаточностью структурной управляемости схем коммутации электрических сетей.

По мере приближения желанного события — начала объединения энергосистем посредством дальних линий электропередачи напряжением в полмиллиона вольт (500 кВ), стали учитывать и другие факторы:

- предрасположенность энергосистем к каскадному развитию аварий;
- снижение надежности электроснабжения потребителей при отсутствии у них резервных источников электропитания;
- чрезмерное возрастание сложности функциональных задач технологического и, особенно, противоаварийного управлений.

Для решения вопросов создания дальних электропередач большое значение имело изучение проблем перенапряжений и изоляции, и, в особенности, внутренних перенапряжений, достигающих опасных амплитуд при некоторых видах коммутаций или аварийных процессах. Непосредственно в ходе эксплуатации первых ЛЭП 400/500 кВ проявились новые электромагнитные

явления, в частности, резонансы на высшие и на низшие гармоники.

Значительно усложнились режимы работы электрических сетей. В первую очередь следует отметить рост потребности в источниках реактивной мощности ввиду технической невозможности значительной передачи реактивной мощности по линиям электропередачи на расстояние более 300 км.

Создание сетей, обладающих неограниченной устойчивостью и максимально возможной пропускной способностью, до сих пор является неразрешимой технической задачей, если речь идет о существующих сетях с их органически порочными схемами коммутации. Иное дело — электрические сети, все элементы которых (генераторы, трансформаторы, воздушно-кабельные линии, релейная защита и т.д.) заранее спроектированы под требования единой автоматизированной системы, которая в реальном времени контролирует режим работы всех участников процесса и может автоматически к ним подстраиваться. Вероятно, именно такие сети профессор В.А. Веников имел в виду, когда описывал эволюцию электроэнергетических систем в процессе их кибернетизации.

По его мнению, внедрение ЭВМ в ближайшее двадцатилетие будет развиваться в направлении от сбора и обработки информации о работе электроэнергетической системы для обслуживающего персонала, до создания полностью автоматизированных и самонастраивающихся линий электропередачи:

«При управлении в установившихся режимах можно различать применение вычислительных машин для выдачи обслуживающему персоналу характеристик работы системы. Это будет первая стадия применения вычислительных машин, в которой мы сейчас находимся.

Во второй стадии, требующей применения специальных датчиков и устройств для передачи управляющих импульсов от вычислительных машин к серво-механизмам системы, будет иметь место полная автоматизация режима системы.

Наконец, на третьей стадии управления системой последняя получит самонастраивающиеся устройства, которые в зависимости от условий работы системы, анализируемые вычислительной машиной, будут изменять программу так, чтобы обеспечивать наилучший технико-экономический эффект всей системы в целом» (там же. Л.27).

Затем он рассуждает об особенностях автоматизации управления электроэнергетических систем в аварийных, послеаварийных и в прочих, так называемых «переходных процессах»:

«Автоматизация управления системой в переходных процессах, как и упомянутая выше автоматизация установившихся режимов, должна будет иметь три стадии. Первая стадия характеризуется введением регулирующих устройств, вмешивающихся в режим системы после того, как происходит то или иное отклонение

параметров этого режима от заданных. Это первая, начальная стадия автоматизации, к которой относится применение таких устройств, как регулирование скорости турбин, современные регуляторы частоты и регуляторы возбуждения электронного типа.

Следующая стадия применения регулирования в системах характеризуется применением сильного регулирования, то есть такого регулирования, при котором осуществляется воздействие на параметры режима не только в зависимости от отклонения этих параметров, но и в зависимости от скорости их изменения, а также от второй производной этих изменяющихся параметров» (там же).

Заканчивается служебная записка рассуждениями о «кибернетике электрических систем», как о перспективной научной дисциплине, состоящей из трех разделов: «Первый раздел должен быть посвящен взаимодействию элементов, составляющих электрическую систему. Вторым разделом должны быть вопросы разработки теории получения и передачи информации о режиме системы. Третьим разделом должно быть развитие теории электрических систем применительно к задачам кибернетического управления или, для чего должны разрабатываться теория применения логических элементов вычислительных машин, преобразующих информацию» (там же. Л.30).

В.А. Веников обращается к Госэкономсовету СССР с просьбой «пересмотреть план научно-исследовательских работ в области энергетики» с учетом расширения возможностей применения ЭВМ. Новый план, по его мнению, «должен предусматривать по этапам внедрение автоматики и вычислительной техники в проектируемые и существующие энергосистемы. Это внедрение автоматики и вычислительной техники должно переходить в кибернетику электрических систем, решающую указанные выше задачи перехода к полностью автоматическому управлению энергетической системой» (там же. Л.31 — 32).

Он также просит Госэкономсовет включить в разряд приоритетных научно-исследовательских тем передачу электроэнергии на расстояние, а именно: «исследования режимов, методов проектирования и сооружения»:

а) электропередачи переменного тока, методы повышения их пропускной способности, методы улучшения защиты от перенапряжений, методов проектирования и сооружения;

б) электропередачи постоянного тока со специальным вопросом отбора и присоединения промежуточных систем;

в) разработку методов наиболее целесообразного развития городских, фабрично-заводских, сельскохозяйственных сетей и сетей специального назначения;

г) передачу энергии от специальных установок, непосредственно преобразующих энергию «топлива» в электрическую» (там же. Л.21).

Даже при ближайшем изучении служебная записка профессора В.А. Веникова не утратила актуальности, не-

смотря на то, что за прошедшие десятилетия язык науки, описывающей технологические процессы управления электростанциями и электросетевыми комплексами, претерпел большие изменения. Например, как-то незаметно вышел из употребления термин «кибернетика», под которым В.А. Веников и ученые его поколения подразумевали «науку о целенаправленном, оптимальном управлении сложными, развивающимися системами» [4].

Наиболее употребительными терминами, характеризующими особенности современного этапа развития вычислительной техники, в научной и учебной литературе стали «информатика» и «информационно-коммуникационные технологии» (ИКТ). Сейчас уже никто не выражается такими словами, как «кибернетическая электрическая система». Все больше говорят о SMART GRID, что в буквальном переводе означает «умная» или «интеллектуальная» сеть.

Однако до настоящего времени термин «Smart Grid» четко не определен и используется различными авторами по-разному. Для одних это — принципы построения и особенности конфигурации электрических сетей, для других — организация каналов связи и принципы передачи информации о состоянии электроэнергетических систем. Третьи озабочены проблемами изменения климата на Земле и возможностью его сохранения за счет перехода на альтернативные (неуглеродные) источники энергии. Такой разброс мнений неудивителен, поскольку сам термин возник и внедрился в научный оборот довольно спонтанно.

Первоначально «Smart Grid», как устойчивое словосочетание с самостоятельной семантикой, обозначало эффективный мониторинг электрической системы в устойчивых режимах. В данном смысле оно использовано в опубликованной в 1997 г. группой ученых из Института инженеров электротехники и электроники (IEEE) статье [5].

М. Барр в [6] использует словосочетание «Smart Grid» при анализе ситуации, сложившейся после тяжелой аварии в энергосистемах США и Канады. В частности, он отмечает, что многие операторы, работавшие над устранением последствий аварии, признали: больше возможностей «умного» мониторинга сети помогли бы найти источник сбоя и восстановить энергосистему значительно быстрее [6].

В заголовке статьи «Smart Grid» впервые появляется в 2005 г. в публикации Массуда Амина и Брюса Волленберга [7].

Проходит два года, и в 2007 г. «Smart Grid» получает официальное признание в Законодательном акте США об энергетической независимости и безопасности. После этого «Smart Grid» становится термином, обозначающим объект правового регулирования — совокупность технологий модернизации национальной электроэнергетической системы с целью защиты, контроля и оптимизации энергопотребления всех элементов и участников сети [8].

В настоящее время Департамент энергетики США дает «Smart Grid» следующее определение:

«Интеллектуальная электросеть — это система доставки электроэнергии от генерирующих энергию предприятий до потребителей, интегрированная с коммуникационными и информационными технологиями и обеспечивающая улучшенную прозрачность функционирования энергосистемы, качественное обслуживание заказчиков и предоставляющая экологические преимущества» [9].

Таким образом, в американской версии суть электроэнергетической системы, построенной на принципах «Smart Grid», состоит в том, что она передает не только энергию, но и информацию, которая, так или иначе, затрагивает интересы потребителя. Для потребителя, оснащенного персональным компьютером или смартфоном, подключенными к интернету, удобство заключается в том, что, помимо электроэнергии, он получает ряд возможностей по взаимодействию с обслуживающей энергетической компанией, в частности, более гибкий выбор тарифов, планирование своего энергопотребления и, как следствие, снижение затрат.

Пока «Smart Grid» воспринимается научно-технической общественностью больше как рекламный трюк, чем совокупность технологий, которые реально обеспечивают и гарантируют функционирование электроэнергетической системы на качественно новом уровне. Все достоинства реализованных до настоящего времени в США и в некоторых странах Евросоюза проектов много энергопотребления состоят в том, что в часы пиковых нагрузок вместо ввода в действие резервных мощностей по сигналам из управляющего центра в распределительных сетях происходит кратковременное отключение мощных потребителей, например специально оснащенных кондиционеров и промышленных холодильников.

За последние 10 лет во всем мире построены сотни цифровых подстанций, но когда и в какой энергосистеме были достигнуты предсказанные в 1960 г. профессором В.А. Вениковым неограниченная устойчивость и предельно эффективная пропускная способность хотя бы одной электропередачи?

При отсутствии общественно значимых технологических прорывов в области производства и передачи электроэнергии термин «Smart Grid» продолжает трансформироваться и уже слабо отражает первоначальный смысл. Он распространяется сегодня практически на всю электроэнергетику: системы генерации, структуру и конфигурацию электрических сетей, учет электроэнергии, информационно-измерительные системы, автоматические системы управления, связь между объектами электроэнергетики, релейную защиту и т.д. Но, как и предсказывал профессор В.А. Веников, простое накопление средств автоматического регулирования и вычислительных устройств электроэнергетической системы не обеспечивает переход электроэнергетики на качественно новый уровень развития, если сама система в целом не изменится конструктивно.

## Литература

1. **Ханин Г.И.** Десятилетие триумфа советской экономики. Годы пятидесятые // Свободная мысль — XXI. 2002. № 5. С. 72—85.
2. **Материалы XXII съезда КПСС.** М.: Госполитиздат, 1962.
3. **Хрушев С.Н.** Никита Хрущев. Реформатор. М.: Время, 2010.
4. **Электрические системы.** Кибернетика электрических систем. М.: Высшая школа, 1974. С. 7.
5. **Vu K., Begovic M.M., Novosel D.** Grids Get Smart Protection and Control. Computer Applications in Power [Электрон. ресурс] <http://www.cs.ucsb.edu/~chong/290N-W10/smart-grid-alg> (дата обращения 17.03.2019).
6. **Burr M.T.** Reliability Demands Drive Automation Investments. Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor Department [Электрон. ресурс]. <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor> (дата обращения 12.03.2019).
7. **Amin S.M., Wollenberg B.F.** Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21<sup>st</sup> Century // Power and Energy Magazine. 2005. V. 3 (5). Pp. 34—41.
8. **Семенов В.** Технология Smart Grid и будущее мировой электроэнергетики // Электрик. 2013. № 12. С. 16—20.
9. **Типс Б., Тафт Д.** Концепция Cisco Smart Grid: Решения по автоматизации подстанций для диспетчерских служб [Электрон. ресурс] [http://www.akvalis.ru/files/project\\_193/product\\_catalogue/koncepcija\\_smartgrid.pdf](http://www.akvalis.ru/files/project_193/product_catalogue/koncepcija_smartgrid.pdf) (дата обращения 15.03.2019).

## Сведения об авторе:

**Симонов Николай Сергеевич** — доктор исторических наук, ведущий инженер ПАО «ФСК ЕЭС», e-mail: [SimonovNS@mes-centra.ru](mailto:SimonovNS@mes-centra.ru)

## Information about author:

**Simonov Nikolay S.** — Dr.Sci. (Historical), Leading Engineer of JSC «FGC UES», e-mail: [SimonovNS@mes-centra.ru](mailto:SimonovNS@mes-centra.ru)

Статья поступила в редакцию: 21.03.2018

The article received to the editor: 21.03.2018

## References

1. **Khanin G.I.** Desyatiletie Triumfa Sovetskoy Ekonomiki. Gody Pyatidesyatye. Svobodnaya Mysl' — XXI. 2002;5:72—85. (in Russian).
2. **Materialy XXII Syezda KPSS.** M.: Gospolitizdat, 1962. (in Russian).
3. **Khrushchev S.N.** Nikita Khrushchev. Reformatore. M.: Vremya, 2010. (in Russian).
4. **Elektricheskie Sistemy.** Kibernetika Elektricheskikh Sistem. M.: Vysshaya Shkola, 1974:7. (in Russian).
5. **Vu K., Begovic M.M., Novosel D.** Grids Get Smart Protection and Control. Computer Applications in Power [Elektron. Resurs] <http://www.cs.ucsb.edu/~chong/290N-W10/smart-grid-alg> (Data Obrashcheniya 17.03.2019).
6. **Burr M.T.** Reliability Demands Drive Automation Investments. Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor Department [Elektron. Resurs]. <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor> (Data Obrashcheniya 12.03.2019).
7. **Amin S.M., Wollenberg B.F.** Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21<sup>st</sup> Century. Power and Energy Magazine. 2005;3 (5):34—41.
8. **Semenov V.** Tekhnologiya Smart Grid i Budushchee Mirovoy Elektroenergetiki. Elektrik. 2013;12:16—20. (in Russian).
9. **Tips B., Taft D.** Kontseptsiya Cisco Smart Grid: Resheniya po Avtomatizatsii Podstantsiy dlya Dispetcherskikh Sluzhb [Elektron. Resurs] [http://www.akvalis.ru/files/project\\_193/product\\_catalogue/koncepcija\\_smart-grid.pdf](http://www.akvalis.ru/files/project_193/product_catalogue/koncepcija_smart-grid.pdf) (Data Obrashcheniya 15.03.2019). (in Russian).