

## От плана ГОЭЛРО к глобальному электроэнергетическому интернету

ВОРОПАЙ Н.И.

ИСЭМ СО РАН, Иркутск, Россия

*Дана краткая характеристика принятого 100 лет назад плана ГОЭЛРО, обоснованы важность и необходимость его принятия в условиях послереволюционной разрухи и иностранной интервенции. Отмечается, что масштабы современной электроэнергетики несоизмеримы с той, о которой мечтали создатели плана. Говорится о формировании крупных государственных, межгосударственных и межконтинентальных электроэнергетических систем и объединений, позволяющих полезно использовать системные эффекты, выгодные всем участникам объединений. Сообщается о радикальном изменении технологии производства, передачи, распределения хранения и потребления энергии, а также трансформации структуры и свойств систем. Цифровизация систем подразумевает повышение эффективности технологических процессов, разработку нового программного продукта для управления подстанциями, районными сетями и т.д. Будущие электроэнергетические системы приобретут облик развитых интеллектуальных кибер-физических систем, работающих на принципах электроэнергетического интернета.*

**Ключевые слова:** итоги плана ГОЭЛРО, масштабы современной электроэнергетики, крупные энергетические объединения, трансформация структуры и свойств систем, интеллектуальные кибер-физические системы

С точки зрения истории российской энергетики, пожалуй, не найти документа, на который бы в научной, производственной и политической литературе ссылались чаще, чем на план ГОЭЛРО – Государственный план электрификации России. План ГОЭЛРО был одобрен VIII Всероссийским Съездом Советов в декабре 1920 г. [1, 2].

Государственная Комиссия по электрификации России начала свою работу в феврале 1920 г. в труднейших условиях не закончившейся еще иностранной интервенции и продолжения гражданской войны. Как писал Г.М. Кржижановский в предисловии ко второму изданию (1955 г.) Доклада Государственной Комиссии по электрификации России VIII Съезду Советов [1], «в этих условиях работники ГОЭЛРО создавали свой коллективный научный труд, содержащий в себе план возрождения и переустройства народного хозяйства Советской России на новых началах. Это был первый опыт разработки целостного, единого государственного хозяйственного плана, рассчитанного на перспективу в 10–15 лет. Программа электростроительства, разработанная в плане ГОЭЛРО на 10–15 лет, по масштабам 1955 г. представляется, конечно, весьма скромной. Было запроектировано три десятка электрических станций общей мощностью в 1,5 млн кВт, что с имеющейся тогда наличностью электростанций в 250 тыс. кВт составило бы всего 1750 тыс. кВт. Но стоит только при-

помнить громадную хозяйственную разруху, в которой страна находилась в 1920 г., чтобы дать себе ясный отчет о том, насколько выдвинутый ГОЭЛРО план электростроительства по тогдашним ресурсам был дерзостно смелым. В самом деле, планом ГОЭЛРО предусмотрено было увеличение мощности районных электростанций почти в 10 раз против уровня 1913 г.».

«Единственный путь для выхода из хозяйственной разрухи, – подчеркивалось в плане ГОЭЛРО, – это подъем в возможно более короткий срок производительности народного труда с расходом минимума трудовых единиц и материальных ресурсов страны, что может быть обеспечено наиболее надежным способом на базе электрификации народного хозяйства» [1].

В предисловии к своему труду, трезво оценивая его, разработчики ГОЭЛРО писали: «За нами придут другие люди, которые в более спокойное время с более совершенным запасом сил и средств смогут продолжить наш научный анализ, исправить наши ошибки и развернуть более широкие перспективы».

Подытоживая весьма фрагментарный экскурс в историю плана ГОЭЛРО, необходимо подчеркнуть, что это был план мечтателей «сделать Россию электрической». На базе глубокой электрификации

планировалась коренная перестройка и развитие промышленности, транспорта, сельского хозяйства. Некоторые предложения казались фантастическими и оказались нереализованными по объективным причинам (например, электрический плуг), но это никак не умаляет заслуг Комиссии ГОЭЛРО в разработке этого плана. В результате его реализации при интенсивной работе уже к середине 1930-х годов страна имела достаточно мощный индустриальный задел, продолжая ускоренное промышленное развитие.

Прошло ровно 100 лет после принятия плана ГОЭЛРО. Что же мы имеем сейчас?

Масштабы электроэнергетики страны несоизмеримо увеличились по сравнению с той электроэнергетикой, о которой мечтали разработчики плана ГОЭЛРО. Сейчас немыслимо себе представить, что где-то есть уголки, в которых люди живут при свечах и керосиновых лампах. Мы привыкли и принимаем как должное, что у нас в розетке всегда есть электроэнергия, а перерывы в электроснабжении, если и случаются, то на очень короткое время. Многие современные технологии в промышленности и быту случаи пониженного уровня напряжения и нестабильности частоты воспринимают как совершенно исключительные и недопустимые.

За 100 прошедших лет электроэнергетика изменилась совершенно радикальным образом. Сформированы крупные государственные, межгосударственные и межконтинентальные электроэнергетические системы и объединения, дающие возможность полезно использовать так называемые системные эффекты, выгодные всем участникам такого объединения. Неспециалисту даже невозможно представить, что на обширной территории, охватываемой Единой энергетической системой (ЕЭС) России от Улан-Батора до Бреста, десятки тысяч роторов генераторов электростанций в нормальном режиме вращаются с одинаковой (синхронной) угловой скоростью. Более того, оказывается, что существуют электромагнитные силы, которые удерживают роторы генераторов в этом синхронном режиме вращения. При возмущениях синхронная работа генераторов нарушается, что может привести к серьезной аварийной ситуации; этому противодействует система управления, без которой нормальная работа современной электроэнергетической системы невозможна [3].

За 100 лет радикально изменились и стали существенно более эффективными и разнообразными технологии производства, передачи, распределения, хранения и потребления электроэнергии. Нас не удивляют нынешние масштабы электро-

энергетических объектов (агрегатов электростанций, линий электропередачи, трансформаторов), измеряемых миллионами и десятками миллионов киловатт единичной мощности. А ведь разработчики плана ГОЭЛРО 100 лет назад дерзнули на казавшиеся тогда фантастическими 1,5 млн кВт суммарной мощности электростанций. Но, оказывается, есть ниша не только для гигантов электроэнергетической индустрии, но и для малых генерирующих агрегатов.

В последние 10–20 лет мы наблюдаем очень динамичные изменения в электроэнергетике. Под влиянием инновационных электроэнергетических технологий, а также ряда внешних факторов происходит радикальная трансформация структуры и свойств современных электроэнергетических систем. При этом инновационные электроэнергетические технологии, с одной стороны, часто ухудшают свойства электроэнергетических систем. Например, большая доля малых генерирующих агрегатов с малыми постоянными инерции роторов создает проблемы устойчивости систем; большая доля генерации на основе возобновляемых источников энергии со случайно флуктуирующей выдачей мощности приводит к недопустимым отклонениям параметров режима системы и др. Однако, с другой стороны, появляются возможности существенного повышения управляемости электроэнергетических систем за счет использования эффективных систем управления накопителями электроэнергии, устройствами *FACTS* и др. [4].

Главный внешний фактор – принципиально возросшие требования потребителей к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии вследствие распространения и развития «тонких» производственных технологий, массовой цифровизации и интеллектуализации технологических процессов промышленных и бытовых потребителей. Этому способствует рост инфраструктурной роли электроэнергетических систем, в которых в связи с интенсивным развитием цифровых информационных технологий и методов мониторинга и управления силовая (физическая) и информационно-коммуникационная подсистемы становятся сопоставимыми по важности и ответственности за надежное и качественное электроснабжение потребителей. Будущие электроэнергетические системы превращаются в кибер-физические системы [4].

Цифровизация электроэнергетических систем подразумевает не только ускорение сбора, обработки, передачи и использования информации в цифровом виде, но и повышение эффективности технологических процессов в электроэнергетических системах с применением инновационного силового

оборудования нового поколения, разработку нового программного обеспечения для управления вновь создаваемыми цифровыми подстанциями, районными электрическими сетями и др. В этих условиях информационно-коммуникационная система может работать неадекватно вследствие внутренних дефектов (ошибки в алгоритмах и т.п.), а также может быть подвержена несанкционированным внешним воздействием – кибератакам [5].

Роль управления уже современными, а тем более будущими электроэнергетическими системами, исключительно велика, без эффективного управления нормальная работа этих сложных территориально распределенных объектов управления немислима. При этом, как отмечал У. Росс Эшби, сложность системы управления с точки зрения ее эффективности должна быть не меньшей сложности управляемого объекта и происходящих в нем процессов [6].

Анализ событий в процессе развития каскадных системных аварий в электроэнергетических системах различных стран [7 и др.] показывает наличие взаимного влияния отказов и возмущений в физической и информационно-коммуникационной подсистемах. Недостоверность информации о текущем состоянии системы или ее потеря вследствие внутренних дефектов цифровых устройств или внешних кибератак на информационно-коммуникационную подсистему могут быть причиной выработки и реализации неправильных управляющих воздействий и развития аварийного процесса в физической подсистеме.

В свою очередь, отказ или авария элемента физической подсистемы может привести не только к аварийному состоянию этой подсистемы, но и способствовать выходу из строя составляющих информационно-коммуникационной подсистемы.

Таким образом, развитие электроэнергетических систем на базе инновационных технологий и средств в физической и информационно-коммуникационной подсистемах в условиях цифровизации и интеллектуализации функционирования этих систем и управления их режимами приведет к существенной трансформации структуры и свойств рассматриваемых сложных систем. В результате будущие электроэнергетические системы приобретут облик развитых интеллектуальных кибер-физических систем, радикально отличающихся от нынешних систем и работающих на принципах электроэнергетического интернета, аналогичных принципам действующего интернета: высокая доступность предоставляемых услуг; высочайшая надежность их предоставления; высокое качество обслуживания

клиентов. Собственно говоря, эти принципы не новы для электроэнергетических систем, речь идет о радикальном повышении уровня соответствующих требований.

Перечисленные достаточно фрагментарно тенденции радикальной трансформации структуры и свойств электроэнергетических систем требуют серьезного их анализа с целью, в конечном счете, разработки эффективных принципов и методов управления этими сложными системами. Заявленное в заголовке статьи движение развития современных электроэнергетических систем к электроэнергетическому интернету реально имеет место. Динамично развивающиеся и постоянно трансформирующиеся электроэнергетические системы оказываются интересными, в большинстве случаев новыми в части структуры и свойств, объектами для исследований и управления. При этом новые свойства трансформирующихся электроэнергетических систем часто оказываются неожиданными, что требует использования нестандартных методов исследования таких систем и управления ими. Указанный фактор повышает исследовательский интерес к изучаемым системам и делает процесс исследований творческим.

Создатели плана ГОЭЛРО мечтали «сделать Россию электрической». Последующие поколения специалистов-электроэнергетиков успешно реализовали эту мечту и активно развивают ее. Нынешним молодым электроэнергетикам, только что пришедшим с вузовской скамьи, и будущим молодым специалистам предстоит работать в этой динамично трансформирующейся интересной сфере человеческой деятельности – «электрическом мире», развивая его на принципах электроэнергетического интернета. И мечтать прикоснуться к этому процессу, внести свой, пусть пока небольшой, вклад в его развитие – достойнейшая цель для будущих поколений специалистов-электроэнергетиков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Энергетика России: 1920–2020** гг. Т. 1. План ГОЭЛРО. М.: ИД «Энергия», 2006, 1067 с.
2. **Бушуев В.В., Воропай Н.И.** 100-летие плана ГОЭЛРО – итоги и уроки. – Энергетическая политика, 2020, вып. 4, с. 30–38.
3. **Воропай Н.И., Ершевич В.В., Лугинский Я.Н. и др.** Управление мощными энергообъединениями/Под ред. С.А. Совалова. М.: Энергоатомиздат, 1986, 296 с.
4. **Воропай Н.И.** Направления и проблемы трансформации электроэнергетических систем. – Электричество, 2020, № 7, с. 12–21.
5. **Воропай Н.И., Губко М.В., Ковалев С.П. и др.** Проблемы развития цифровой энергетики в России. – Проблемы управления, 2019, № 1, с. 2–14.

6. Росс Эшби У. Введение в кибернетику: / Пер. с англ. под ред. В.А. Успенского, изд. 2-е. М.: КомКнига, 2005, 432 с.

7. Besanger Y., Eremia M., Voropai N. Major grid blackouts: Analysis, Classification and prevention. Handbook of Electrical Power System Dynamics: Modeling, Stability, and Control. Hoboken, IEEE Press-Wiley, 2013, pp. 789–863.

[29.10.2020]



*А в т о р: Воропай Николай Иванович – член-корреспондент РАН, доктор техн. наук, профессор, научный руководитель Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, докторскую диссертацию защитил в 1990 г.*

*Electrichestvo*, 2020, No. 12, pp. 10–13

DOI:10.24160/0013-5380-2020-12-10-13

## From the GOELRO Plan to the Global Electric Power Internet

**VOROPAY Nikolay I.** (*Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), Irkutsk, Russia*) – Scientific Advisor, Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Eng.)

*The GOELRO Plan adopted 100 years ago is briefly characterized, and the importance and necessity of its adoption under the conditions of post-revolution devastation and foreign intervention are substantiated. It is pointed out that the scales of the modern electric power industry are incommensurable with those the plan developers imagined in their dreams. The article tells about the establishment of large state, interstate, and intercontinental electric power systems and pools that make it possible to usefully utilize the system effects, which are profitable to all participants of the pools. It is pointed out that radical changes have occurred in the technology of energy generation, transmission, distribution, storage, and consumption, and also that transformations have occurred in the structure and properties of the systems. Digitalization of the systems implies improvement in the efficiency of production processes and development of new software products to perform control of substations, regional networks, etc. The future electric power systems will acquire the response of well-developed intelligent cyber-physical systems operating on the principles of electric power internet.*

**Key words:** *results of the GOELRO Plan, scales of modern electric power industry, large power pools, transformation of the structure and properties of systems, intelligent cyber-physical systems*

### REFERENCES

1. **Energetika Rossii: 1920–2020 gg. T. 1. Plan GOELRO** (Energy of Russia: 1920–2020 T. 1. GOELRO plan). M.: ID «Energiya», 2006, 1067 p.

2. **Bushuyev V.V., Voropay N.I.** *Energeticheskaya politika – in Russ. (Energy Policy)*, 2020, iss. 4, pp. 30–38.

3. **Voropay N.I., Yershevich V.V., Luginskiy YA.N.** *Upravleniye moshchnymi energoob'yedineniyami/Pod red. S.A. Sovalova* (Management of powerful energy networks / Ed. S.A. Sovalov). M.: Energoatomizdat, 1986, 296 pp.

4. **Voropay N.I.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2020, No. 7, pp. 12–21.

5. **Voropay N.I., Gubko M.V., Kovalev S.P.** *Problemy upravleniya – in Russ. (Problems of Management)*, 2019, No. 1, pp. 2–14.

6. **Ross Eshbi U.** *Vvedeniye v kibernetiku: Per. s angl. / Pod red. V.A. Uspenskogo, izd. 2-ye* (Introduction to Cybernetics / Per. from English. / Ed. V.A. Uspensky, ed. 2nd). M.: KomKniga, 2005, 432 p.

7. **Besanger Y., Eremia M., Voropai N.** Major grid blackouts: Analysis, Classification and prevention. Handbook of Electrical Power System Dynamics: Modeling, Stability, and Control. Hoboken, IEEE Press-Wiley, 2013, pp. 789–863.

[29.10.2020]