

В. В. БУШУЕВ, Н. И. ВОРОПАЙ  
V.V. BUSHUEV, N.I. VOROPAY

УДК 621.311.1

## ПЛАН ГОЭЛРО: ИТОГИ И УРОКИ

**Виталий Васильевич БУШУЕВ** – генеральный директор Института энергетической стратегии, д. т. н., профессор, e-mail: vital@df.ru

**Vitaly V. BUSHUEV** – Director General with Institute for Energy Strategy, President of the Laboratory «Energy Initiative», professor, Doctor of Engineering, e-mail: vital@df.ru



**Николай Иванович ВОРОПАЙ** – научный руководитель Института систем энергетики им. Л.А.Мелентьева СО РАН, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, e-mail: voropai@isem.irk.ru

**Nicolay Ivanovich VOROPAY** – academic adviser, Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, D.Eng.Sc, Professor, e-mail: voropai@isem.irk.ru



## GOELRO PLAN: RESULTS AND LESSONS

### Общие положения

**Аннотация.** Рассматриваются условия разработки плана ГОЭЛРО как комплексной программы развития народного хозяйства России на базе электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Обсуждаются три фактора, которые легли в основу плана ГОЭЛРО: целенаправленность – максимальный результат при минимальных усилиях; электрификация – движущая сила развития экономики страны; масштабы плана – необходимость и возможность. Анализируются основные положения комплексно-энергетического метода Г. М. Кржижановского, которые использовались при разработке плана ГОЭЛРО и на основе которых в последующем было сформулировано научное направление системных исследований в энергетике.

**Ключевые слова:** план ГОЭЛРО, электрификация, комплексно-энергетический метод, системные исследования в энергетике.

Применительно к российской энергетике, по-видимому, нет документа, на который бы в научной, производственной и политической литературе ссылались чаще, чем на план ГОЭЛРО – государственный план электрификации России. План ГОЭЛРО был одобрен в декабре 1920 года VIII Всероссийским съездом Советов.

Однако этот документ не был простой политической декларацией. Вслед за политическим одобрением съездом Советов, план ГОЭЛРО в октябре 1921 года был детально рассмотрен на VIII Электротехническом съезде, а в декабре 1921 года – принят постановлением Совета народных комиссаров и утвержден IX Всероссийским съездом Советов. Это придало плану необходимую силу закона.

Такое внимание руководства страны к плану ГОЭЛРО было обусловлено тем, что это был план развития не только энергетики и даже не просто общеэкономический народно-хозяйственный план. Это был «план создания материальной основы социализма в нашей стране на базе электрификации, первый государственный план восстановления и реконструкции народного хозяйства Советской России на высшей технической основе», – писал позже Г. М. Кржижановский, руководитель комиссии по разработке плана ГОЭЛРО.

По плану ГОЭЛРО за 10 лет необходимо было построить 30 районных электростанций с суммарной мощностью 1,75 млн кВт

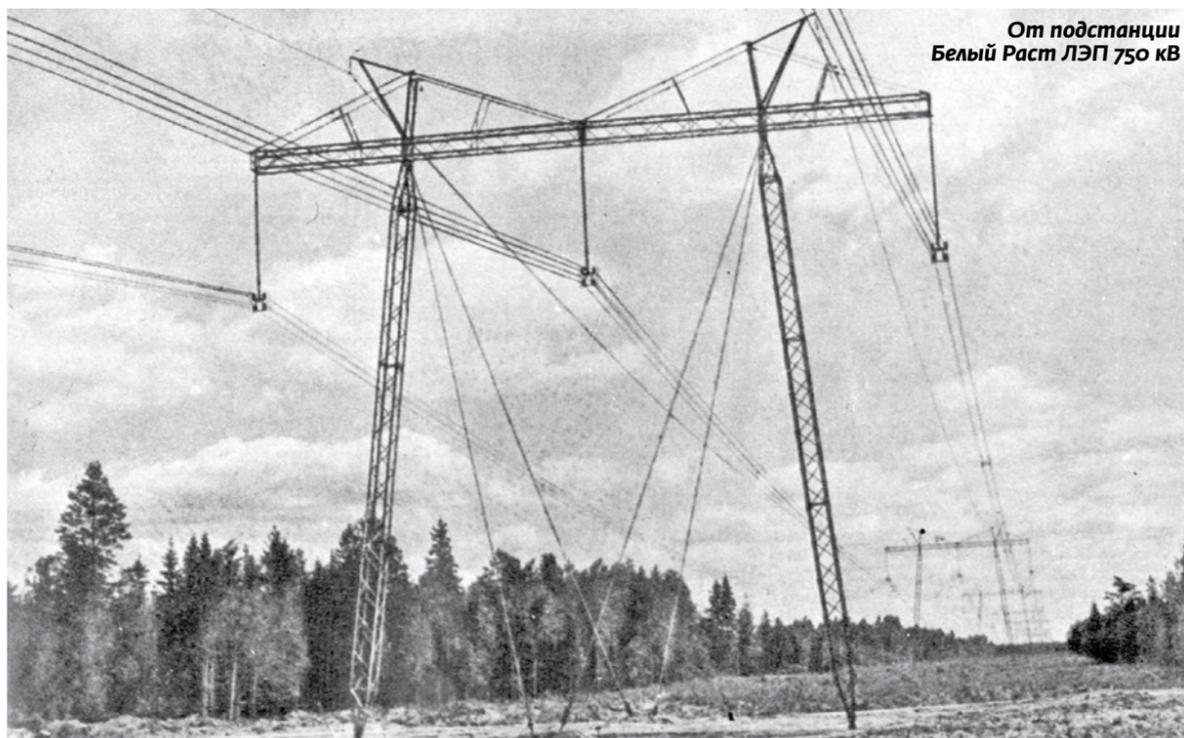
Понаслышке о плане ГОЭЛРО в большей или меньшей мере знают многие, но, к сожалению, читали сводный том плана немногие (650 страниц текста с картами и схемами). В 1920 году план был напечатан и роздан делегатам Съезда весьма ограниченным тиражом из-за элементарной нехватки бумаги, а переиздан только через 35 лет – в 1955 году. Третье издание плана ГОЭЛРО вышло в свет еще через 50 с лишним лет – в 2006 году [1]. Последнее издание дает возможность современному читателю обратиться к первоисточнику, который является не отраслевой программой, а одновременно стратегией и планом переустройства России как социально ориентированной индустриальной державы, планом (говоря современным языком) ее «модернизации» и «инновационного развития».

В то время именно электрификация была тем принципиально новым фундаментом, который обеспечивал переход страны на рельсы индустриализации и коллективизации как основы передовой для того времени системы хозяйствования. В отличие от «плана» Троцкого (тезисы 1919 года) «хозяйственного возрождения России на основе массового применения к обломкам довоенной промышленности труда неквалифицированной крестьянско-рабочей массы (трудармии)» план ГОЭЛРО был комплексным техническим, финансовым и социальным планом качественного возрождения России.

**Abstract.** Taking into account the conditions in considered period of 1920th, GOELRO plan was as the comprehensive program of Russian economy development based on electrification of industry, transport and agricultural sector. Three factors are discussed, which were accepted as the basis of GOELRO plan: targetness – maximum of results in minimum activity; electrification as the motive force of development of the country economy; scales of plan – necessity and possibility. There are under analysis main points of G. M. Krzhizhansky' comprehensive energy method, which were used during GOELRO plan creation and based on which scientific problem of system research in energy was formed during next period.

**Keywords:** GOELRO plan, electrification, comprehensive energy method, system research in energy.

Очень важно сейчас проследить преемственность и исторический генезис (развитие) энергетической политики России и бывшего СССР, которая со временем все меньше представлялась социально ориентированной государственной политикой, становясь все в большей мере отраслевым набором документов. Нельзя сказать, что энергетика утратила свою фундаментальную роль в социально-экономическом развитии страны.



От подстанции Белый Раст ЛЭП 750 кВ

Наоборот, за последние годы существенно возросла доля топливно-энергетического комплекса в формировании макроэкономических показателей (бюджет страны, экспорт и внутренний валовой продукт). Но при этом, за «лесом» общегосударственных цифр перестали просматриваться «деревья» показателей, определяющих блага конкретному человеку. А между тем, социально-ориентированный характер энергетики как инфраструктурной отрасли экономики приобретает все большее значение в качестве современной парадигмы развития и функционирования топливно-энергетического комплекса и его составляющих систем энергетики. Актуализации этой парадигмы способствуют цифровизация и интеллектуализация отраслей экономики и социальной сферы, существенно

В связи с этим, целесообразно вернуться к анализу той социальной направленности плана, которая и формировала требования к соответствующему развитию энергетики.

### Три ключевых фактора как основа плана ГОЭЛРО [2]

*Целенаправленность: максимальный результат при минимальных усилиях.* Авторы документа писали в 1920 году: «Целью всякой хозяйственной деятельности является достижение наибольших результатов при наименьших усилиях, то есть максимальная ее производительность». Это очень созвучно нынешним призывам власти к повышению эффективности

экономики (системы хозяйствования) за счет снижения затрат (энерго- и ресурсосбережение).

В плане ГОЭЛРО подчеркивается, что производительность (сейчас – эффективность) достигается, во-первых, за счет интенсификации труда (ныне это забыто); во-вторых,

путем механизации и электрификации; в-третьих, посредством рационализации и организации труда (сегодня – использования инноваций и структурных реформ на межкорпоративном и внутрикорпоративном уровнях).

Как видим, новое – это хорошо забытое старое. И формируя новые предложения к модернизации экономики страны, полезно понять, как это предла-

План ГОЭЛРО является не только отраслевой программой, но и стратегией переустройства России как социально ориентированной индустриальной державы, планом ее модернизации и инновационного развития

повышая требования к надежности энергоснабжения потребителей и качеству поставляемой им энергии. Однако реально современные энергетические стратегии до 2010, 2020 и 2030-х годов, утвержденные в свое время правительством Российской Федерации, как и ранее принятые энергетические программы СССР, не стали общенациональным достоянием, как это было в отношении плана ГОЭЛРО.

гали делать 100 лет назад на базе электрификации, оценить, что из этого опыта можно и нужно взять на вооружение сегодня.

*Электрификация – движущая сила развития экономики страны.* В начале индустриализации России электрификация была текущим и перспективным средством решения задачи создания новой экономики и нового общества. «Составить проект электрификации России – это означает ... построить основные леса для реализации единого государственного плана народного хозяйства» – писали авторы плана ГОЭЛРО. Взамен «восстановления главных элементов нашей прошлой экономики» план ГОЭЛРО предлагал ее полное переустройство, масштабное наращивание электрического хозяйства страны преимущественно за счет крупных для того времени тепловых и гидроэлектростанций.

По плану ГОЭЛРО за 10 лет необходимо было построить 30 районных электростанций с суммарной установленной мощностью 1,75 млн кВт. Для сравнения, в 1916 году (до разрухи, вызванной Октябрьской революцией и Гражданской войной) в России насчитывалось около 250 электростанций общего пользования и около 6000 частных фабрично-заводских электростанций общей установленной мощностью 1,5 млн кВт, то есть требовалось не только удвоить установленную мощность, а сделать это за счет резкого роста единичной мощности агрегатов и электрических станций. Если действовавшие в то время электростанции имели среднюю единичную мощность 200–250 кВт, то новые – 60 тысяч кВт. Это был гигантский количественный скачок, создающий качественно

новый эффект за счет концентрации мощностей электрических станций.

Но главное, названные цифры не были придуманы «кремлевскими мечтателями», они основывались на том, что может и должна дать электрификация всех экономических районов России и всех отраслей промышленности и транспорта. Предполагалось электрифицировать до 90% всей промышленности, масштабы которой росли быстрыми темпами вследствие перехода на рельсы индустриализации страны.

Для каждого из восьми экономических районов были приняты направления и масштабы промышленного производства, требующие соответствующего уровня электрификации. Так, главнейшим богатством Уральского экономического района, определяющим его роль в народно-хозяйственной жизни страны, были признаны его полезные ископаемые; для Южного экономического района – добыча угля и производство чугуна; для Центрально-промышленного района – добыча железной руды, торфа и развитие текстильной промышленности на базе местного льна и привозного хлопка; для Се-

Предполагалось электрифицировать до 90% всей промышленности России, масштабы которой росли очень быстрыми темпами вследствие перехода на рельсы индустриализации страны



Электрификация



Установка электростолбов в деревне. 1927 год

верного экономического района – лесное хозяйство; для Кавказского экономического района – горное дело и сельское хозяйство.

Одновременно для каждого экономического района был намечен план его не только промышленного, транспортного, сельскохозяйственного, но и социального развития. Например, был план строительства и электрификации основных железных дорог. «Электрическая сверхмагистраль

обращается в широкую культурную полосу, по оси которой движется мощный поток товаров, что позволяет в 2,5–3 раза повысить экономическое благополучие страны, а рядом – формировать новые поселения и предприятия». Рассматривались также перевозки по водным путям с учетом особенностей грузовых потоков. Так, к железным дорогам тяготеют хлеб и каменный уголь, к водным путям – лес и нефть. И уже тогда встал вопрос о развитии автомобильного транспорта и нефтепроводов.

Электрификация железнодорожного транспорта требовала не только развития электрических мощностей, но и создания принципиально нового оборудования – электровозов, гидроэлектрических силовых установок, электрических погрузочных кранов, дизелей.

Для каждого из обрабатывающих производств в текстильной, бумажной, химической, лесоперерабатывающей промышленности были определены не только необходимые объемы электрификации, высвобождающие рабочие руки для развития новых отраслей, но и дана схема размещения этих производств и соответствующих объектов электроснабжения – источников электроэнергии, линий электропередачи, оборудования подстанций.

Много внимания разработчики плана ГОЭЛРО уделили развитию и электрификации сельского хозяйства. Был проведен детальный анализ плюсов



и минусов российского земледелия с учетом климата, плодородия почв, структуры посевов, на основании которого авторы убедительно показывают, что именно «электрификация является надежным орудием концентрации ... в применении к крупным производственным единицам». «Электричество может сослужить колоссальную работу по быстрейшему изживанию зияющего противоречия между новым городом и новой деревней».

Для электроснабжения всех потребителей по каждому из экономических районов были разработаны планы развития энергетических мощностей, их топливообеспечения, либо оценены запасы водных ресурсов, а также составлены карты электрических связей между электростанциями и потребителями. Для большинства районов были приведены детальные пообъектные характеристики как оборудования электростанций, так и силовых установок потребителей: котлов и питательных насосов, паропроводов и турбогенераторов, трансформаторов, электрических столбов и меди для проводов, тракторов и лампочек, электровозов и водопроводных установок.

Сегодня такую детализацию: сколько, где и каких построить электростанций и подстанций, железных дорог и водных каналов; сколько на это потребуются материалов, рабочих рук и денег – трудно даже себе представить. Конечно, масштабы

сейчас совершенно другие. Но подобной детализации нет не только в энергетической стратегии и генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики, но и в местных энергетических программах и даже в сводных проектных материалах. А тогда это было сделано менее чем за год силами экспертов комиссии по разработке плана ГОЭЛРО, в состав которой входили 20 человек, а привлечено к работе было свыше 200 представителей науки и техники.

*Планов «громадь» – необходимость и возможность.* Для реализации намеченных задач развития экономики страны нужно было колоссальное по тому времени развитие новых энергетических источни-

развитие гидроэнергетики. Авторы плана, проведя кадастр всех имеющихся отечественных гидроресурсов, предложили объемную программу строительства гидроэлектростанций общей мощностью 1 млн кВт (ДнепроГЭС мощностью 558 тысяч кВт; Волховской ГЭС с первой очередью 60 тысяч кВт; каскад Свирских ГЭС – 200 тысяч кВт; и др.).

Суммарная мощность районных тепловых электростанций по плану ГОЭЛРО должна была составить 1,75 млн кВт, однако достигла 3 млн кВт. К началу Великой Отечественной войны общая мощность всех электростанций страны составляла 11,2 млн кВт, а годовое производство электроэнергии превышало 48 млрд кВт·ч. В конце 1941 года



ков. И план ГОЭЛРО основывался на максимально возможном использовании всех имеющихся энергетических ресурсов: воды и угля, торфа и дров, нефти и горючих газов. При этом первостепенное внимание уделялось местным ресурсам и региональной (районной) энергетике, а также необходимому развитию энергомашиностроения и электротехнической промышленности, находящихся в то время в сильной зависимости от зарубежных поставок.

В 1916 году основой топливообеспечения России были дрова, покрывавшие 60% потребления, и донецкий уголь, обеспечивавший 26% общих потребностей. План ГОЭЛРО сделал ставку на интенсивное

почти половина всех действующих мощностей была выведена из строя, тем не менее к маю 1945 года энергетический потенциал страны был восстановлен полностью, а к 1952 году – удвоен.

Темпы энергетического строительства, заложенные в плане ГОЭЛРО, сохранились и в дальнейшем. Так, суммарная мощность всех электростанций Советского Союза на конец 1990 года составила 341 млн кВт, в том числе в Российской Федерации – 213,3 млн кВт; было выработано электроэнергии 1,19 трлн кВт·ч и 1,08 трлн кВт·ч соответственно.

Вследствие общего экономического спада и падения спроса потребление электроэнергии к 2000 году снизилось до 862 млрд кВт·ч (на 20%

по сравнению с 1990 годом). И даже сегодня по оценкам на 2018 год электропотребление, равное 1090 млрд кВт·ч, едва достигает уровня 1990 года.

Именно сейчас в условиях, когда темпы развития электроэнергетики, с одной стороны, резко снизились, а с другой стороны, спрос диктует экономика, опыт ГОЭЛРО особенно важен, и скорее не как оценка «громдья» планов, которая была необходима в тот исторический отрезок времени, а как документ комплексного сбалансированного развития энергетики и всего народного хозяйства. В тот период именно электрификация всех отраслей экономики и социальной сферы была единственно верным стержнем модернизации страны. Сейчас таким стержнем могла бы стать цифровизация производственных процессов в промышленности, на транспорте, в сфере обслуживания и в быту, которая уже активно внедряется и формирует существенно повышенные требования к надежности электроснабжения «цифровых» потребителей и качеству поставляемой им электроэнергии. Очевидно, что этих «цифровых» потребителей должна обслуживать «цифровая» электроэнергетика.

В 20-х годах прошлого века электрификация была базой индустриального возрождения России, при этом план ГОЭЛРО исходил из того, что можно и нужно сделать для развития промышленности и сельского хозяйства на качественно новой основе – повышения электровооруженности и производитель-

ности труда. Принципиальное отличие нынешнего времени от прошлого периода заключается в том, что сегодня базовой установкой развития электроэнергетики является повышение благосостояния людей, т. е. электроэнергетика приобретает потреби-

тельски ориентированный смысл. Но дело не в простом наращивании объемов производства электроэнергии, а в повышении эффективности ее использования. Электроэнергетика хотя и является инфраструктурной базой экономического и социального развития страны, но это не механическое увеличение душевого энергопотребления. Не дефицит мощностей, а энергорасточительство является угрозой номер один. Поэтому предстоит одновременно решать две отчасти противоречивые задачи.

Во-первых, обеспечивать энергетическую безопасность России и ее регионов, понимая под этим

ресурсную достаточность поставок и надежность электроснабжения, экономическую доступность таких поставок для потребителей и технологическую (в том числе экологическую) допустимость производства электроэнергии.

Во-вторых, заботиться об энергетической эффективности, имея в виду при этом энергосбережение, снижение инвестиционной нагрузки и модернизацию электроэнергетики не в количественном, а в качественном выражении – на базе инновационных технологий построения «интеллектуальной» энергетики.

**К началу Великой Отечественной войны общая мощность всех электростанций страны составляла 11,2 млн кВт, а годовое производство электроэнергии превышало 48 млрд кВт·ч**



**Северодвинская ТЭЦ. Пробный пуск эстакады. 1926 год**

### Комплексно-энергетический метод Г. М. Кржижановского и его развитие

Методический аппарат, заложенный в плане ГОЭЛРО, как и сам план, был уникальным для того времени и развивался в последующие десятилетия. Его основу составил комплексно-энергетический метод, разработанный Г. М. Кржижановским и его школой. Основные признаки комплексно-энергетического метода в плане ГОЭЛРО заключаются в следующем [3]:

- 1) из всего многообразия плановых задач внимание сконцентрировано на одной, решение которой обещало наибольший экономический эффект, позволяло объединить все звенья экономической цепи, – на задаче электрификации страны;
- 2) в отношении конечной цели сформулированы конкретные уровни ее достижения – программы А и Б;
- 3) введен критерий экономической эффективности при формировании и реализации названных программ: «... с минимумом затрат, с наиболее точным учетом расходуемой энергии ... оплодотворять ею все подразделения народного хозяйства»;
- 4) тщательно разработан комплекс мероприятий по реконструкции производства на базе электрификации, по развитию отраслей экономики и внешних экономических связей, необходимых для реализации намеченных программ.

Суть этого метода состоит в рассмотрении энергетики как единого целого – «... от источников энергетических ресурсов до приемников энергии включительно». Для обеспечения пропорциональности развития энергетики этот метод использовал достаточно сложную систему балансовых таблиц, охватывающих основные звенья энергетического хозяйства и разные уровни иерархии – от энергетических балансов установок и предприятий до топливно-энергетических балансов районов и страны в целом.

Вторым важным элементом комплексно-энергетического метода послужила разработанная в тот же период методика экономического сравнения вариантных решений, позволяющая обеспечить если не оптимальность, то по крайней мере рациональность развития энергетики. Эта методика давала, во-первых, системные правила приведения вариантов к сопоставимому виду посредством применения категории замыкающего энергетического объекта. Во-вторых, она регламентировала соотношение с экономических позиций единовременных (капитальных) и текущих издержек – посредством нормативов сначала срока окупаемости, а затем коэффициента эффективности капиталовложений. Позднее эта методика была развита в направлении

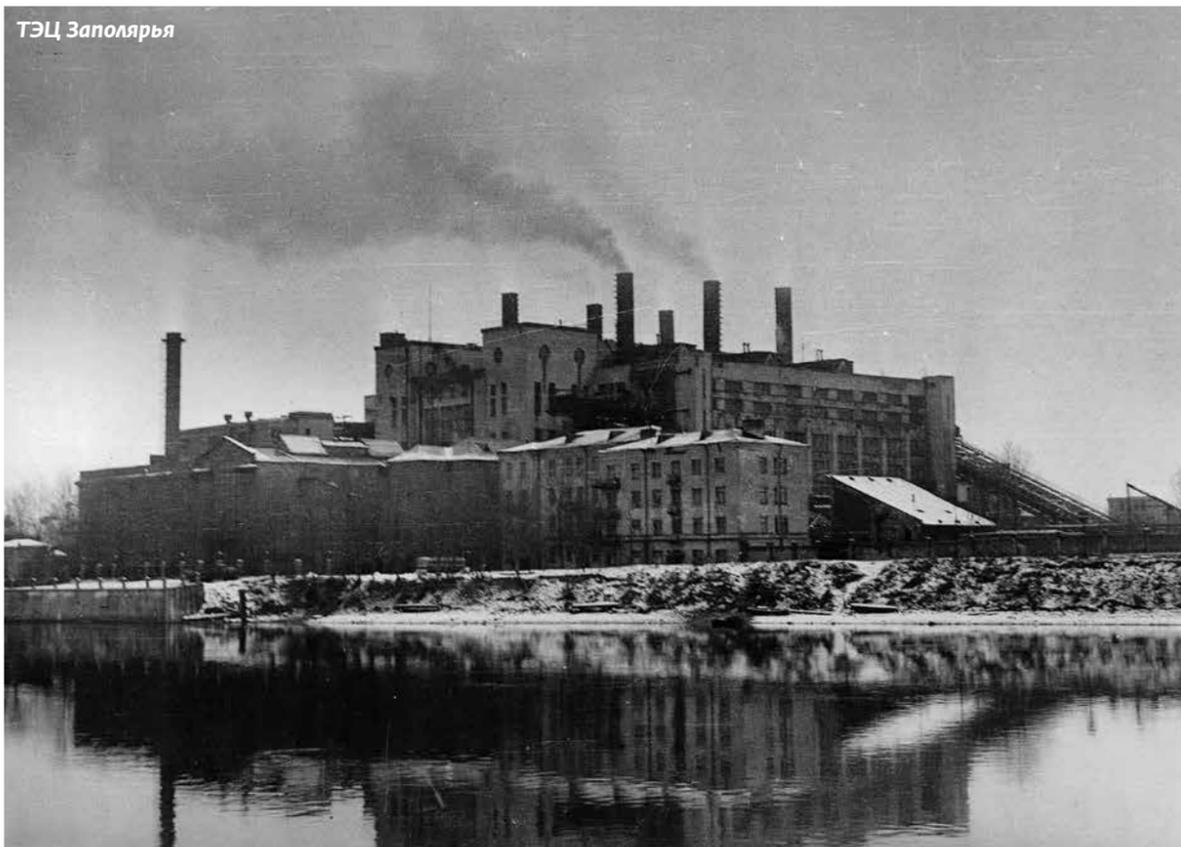
учета разновременных затрат с введением нормативного коэффициента реновации (приведения затрат во времени).

Балансовый метод в сочетании с комплексно-энергетическим подходом, подкрепленный методами экономического сравнения вариантов (оценки экономической эффективности капиталовложений) служил мощным средством системного анализа энергетики в течение всего периода некомпьютерной обработки информации.



**Электрик, Биробиджанский район, колхоз Рюитэ Сопкэ, 1935 год**

ТЭЦ Заполярья



Массовое использование электронных вычислительных машин (ЭВМ) и сопутствовавшее этому широкое применение численных математических методов (прежде всего математического программирования) дали рассматриваемому подходу более адекватный инструментарий – методы математического моделирования и имитации обосновываемых решений на ЭВМ. Помимо очевидных выгод, связанных с автоматизацией вычислительной работы, это позволило придать подходу новые качества (помимо четырех, описанных выше при характеристике комплексно-энергетического метода) и послужило основой сформулированного Л. А. Мелентьевым научного направления системных исследований в энергетике, базирующихся на методологии системного подхода и использующих аппарат системного анализа [4]:

- непосредственное описание (в виде соответствующих математических моделей) и учет в исследованиях известных (познанных) причинно-следственных связей рассматриваемой системы или явления;
- структуризация исследуемой проблемы в виде определенной иерархии подпроблем и соответствующей иерархии моделей с установлением четких взаимосвязей между ними;
- необходимость создания достаточно полной и унифицированной (методически

совместимой) информационной базы, также упорядоченной по иерархическому принципу;

- непосредственный учет фактора неоднозначности исходной информации, т. е. разработка соответствующих методов обоснования решений в условиях неопределенности;
- возможность организации благодаря «проигрыванию» на компьютере творческого осмысливания специалистами разных аспектов изучаемой проблемы (вариантов принимаемого решения) и тем самым органичной интеграции опыта специалиста и возможностей компьютера.

В США и других странах для обоснования развития электроэнергетики был разработан и активно использовался во второй половине XX века подход, аналогичный системным исследованиям в энерге-

Суммарная мощность районных тепловых электростанций по плану ГОЭЛРО должна была составить 1,75 млн кВт, однако достигла 3 млн кВт

тике и названный интегрированным планированием ресурсов [5 и др.]. Принципиальной целью интегрированного планирования ресурсов является минимизация долгосрочных общественных затрат на удовлетворение потребности в электроэнергии. Использование термина «интегрированное»

План ГОЭЛРО сделал ставку на развитие гидроэнергетики. Авторы плана предложили программу строительства ГЭС общей мощностью 1 млн кВт

выделяет ориентацию подхода на комплексный анализ и сопоставление на равноправной основе всех доступных вариантов решения проблемы электроснабжения региона, обслуживаемого энергокомпанией, с учетом всех видов ресурсов и эффектов их использования, не ограничиваясь ресурсами самой компании по наращиванию производства электроэнергии. В результате либерализации и дерегулирования электроэнергетики, как методология системных исследований в энергетике в России, так и основные идеи интегрированного планирования ресурсов в США и других странах, были незаслуженно забыты лицами, принимающими решения. И на уровне энергетических компаний, и при рассмотрении межотраслевых проблем развития энергетики, очень часто у нас в стране выпускаемые материалы включают бессистемный набор предлагаемых мероприятий.

Учитывая эти обстоятельства, пользующийся мировой известностью Electric Power Research Institute (EPRI) в США предложил идеологию холистического планирования [6]. «Холистический» означает «цельный», рассматривающий объект (систему) как единое целое, с комплексных позиций, а не по частям. Приведенные в [6] основные принципы холистического планирования развития ЭЭС очень созвучны базовым идеям интегрированного планирования ресурсов, но с учетом особенностей структурных и институциональных преобразований в электроэнергетике.

#### Использованные источники

1. Энергетика России: 1920–2020 гг. Том 1: план ГОЭЛРО. М.: ИД «Энергия», 2006. – 1067 с.
2. Бушуев В. В. От плана ГОЭЛРО – к энергетической стратегии России / Инновационная электроэнергетика – 2.0 / Отв. ред. В. М. Батенин, В. В. Бушуев, Н. И. Воропай. М.: ИД «Энергия». С. 11–18.
3. Кржижановский Г. М., Вейц В. И., Русаковский В. А. Топливо-энергетический баланс // Вестник статистики, 1932, № 7. С. 1–8.

В этом плане методические принципы системных исследований в энергетике оказались более гибкими и могут быть применены с незначительными корректировками к современному либерализованному и дерегулированному ЭЭС и к энергетике в целом. Соответствующие компьютерные средства разработаны и продолжают развиваться, однако спрос на них пока очень ограничен.

#### Выводы

1. Учиться у наших предшественников-энергетиков, разработавших и осуществивших план ГОЭЛРО, надо, но не букве и цифре долгосрочного планирования, а органичной комплексности и сбалансированности всех аспектов подхода к той или иной проблеме прогнозирования.
2. Системный подход и системный анализ комплексного долгосрочного развития электроэнергетики с учетом других отраслей топливно-энергетического комплекса, трансформируясь в деталях под влиянием новых факторов структурного, технологического, институционального и др. характера, на всех этапах формирования и развития электроэнергетики оставался эффективной методологией обоснования развития этой важной инфраструктурной отрасли экономики.
3. В настоящее время с учетом трансформации электроэнергетики и ЭЭС под влиянием массового использования инновационных «силовых» и информационно-управляющих технологий назрела необходимость систематического применения модернизированной системной методологии обоснования соответствующих перспективных решений и использования такого обновленного комплексного подхода при формировании документов, определяющих облик будущих ЭЭС.

Работа выполнена частично по проекту № III.17.4.2 программы государственного задания фундаментальных исследований СО РАН.

4. Мелентьев Л. А. Системные исследования в энергетике. М.: Наука, 1983. – 456 с.
5. Neelakanta P.S., Arsalı M. H. Integrated resource planning using segmentation method based on dynamic programming // IEEE Transactions on Power Systems, 1999, Vol. 14, No. 1, pp. 375–385.
6. Lee S. T. Holistic planning of an electric power system for reliability, economic efficiencies and acceptable environmental impact // IEEE Power and Energy Magazine, 2007, Vol. 5, No. 5, pp. 24–35.