О НОВЫХ ПРИОРИТЕТАХ И ЭЛЕМЕНТАХ ЭНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ ГОРОДОВ БУДУЩЕГО

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергетическая трансформация, «смарт-сити», безуглеродность, техническая политика, энергосбережение, энергетическая эффективность, риски энергетической безопасности, надежность энергоснабжения, энергетическая стратегия

Е. Г. Гашо, доктор техн. наук, профессор НИУ «МЭИ», Москва

Первоначальные представления об энергетическом переходе и энергетической трансформации как о концепции, предполагающей полный отказ от органического топлива и масштабное внедрение возобновляемых источников энергии, начали уступать пониманию того, что, прежде чем торопливо принимать не всегда продуманные решения, необходимо взвешенно проанализировать все за и против. Рассмотрим особенности трансформации энергетического комплекса городов в увязке с энергосбережением и повышением энергоэффективности экономики страны в целом, оценим резервы динамичного и устойчивого развития России в свете совершенствования энергетической инфраструктуры, сравним ключевые показатели абсолютного и удельного энергопотребления, мощности энергоисточников крупнейших мегаполисов мира, а также приведем краткие итоги реализации в разных странах амбициозных проектов типа «смарт-сити».

В качестве примеров, демонстрирующих сложность осуществления разноплановых и междисциплинарных подходов, можно привести энергоресурсосбережение и климатическую политику. За более чем 15 лет реализации новейшей государственной стратегии повышения энергоэффективности, если отсчитывать от даты принятия указа президента РФ № 889 и федерального закона № 261-ФЗ[1], энергетическая отрасль и ее государственное регулирование прошли немалый путь. Проблему повышения энергоэффективности промышленности и ЖКХ не удается решить с налету, заимствуя чужой опыт и применяя точечные механизмы. Похожая картина складывается и с климатической политикой – здесь тоже нет простых решений. А как подобные междисциплинарные задачи решались в нашей стране в прошлом?

Краткий исторический экскурс

Обратимся к опыту наших предшественников: энергосистема СССР была уникальна по размеру, эффективности и способности к развитию страны, мобилизации, послевоенному восстановлению по причине наличия масштабных взаимосвязанных энергетических проектов и объектов:

• крупных ГЭС и АЭС, их совместной работы в европейской, поволжской и сибирской частях страны;

• промышленных ТЭЦ, использующих в том числе вторичные энергетические ресурсы;

Таблица 1 Ключевые компоненты единой интегрированной энергетической системы СССР

Комплексное использование ресурсов, энерготехнологическое комбинирование, использование вторичных энергоресурсов ВЭР в ТПК (ЭПЦ) – (экономия до 45 млн т у. т./год)	Возможность маневрирования мощностью электростанций до 35–40 ГВт в ЕЭС на протяжении 5–6 часовых поясов
Сооружение крупных ГЭС Волжского каскада и в Сибири (экономия топлива до 90 млн т у. т./год и выбросов)	Сооружение и функционирование промышленных ТЭЦ и ТЭЦ общего пользования (экономия до 35 млн т у. т./год)

• значительного увеличения количества ТЭЦ общего пользования (около 500 теплофикационных энергоблоков за 10 лет);

• интеграции всех энергоисточников в единую энергосистему.

Совокупно это привело к годовой экономии в 45–60 млн т у. т. и сберегало 11–13 ГВт мощностей, что позволяло активно маневрировать мощностью и не строить лишнего (табл. 1).

Создание крупных энергетических систем жизнеобеспечения мегаполисов

Рост и развитие городов и промышленного комплекса страны требовали создания крупных энергетических систем жизнеобеспечения. И сегодня совокупная мощность (и выработка тепла) систем теплоснабжения России практически равна показателям подобных систем всего остального мира (при доле населения около 1,8 % и потреблении чуть менее 5 % мировых топливно-энергетических ресурсов, ТЭР). С чем связан такой дисбаланс? В первую очередь непосредственно с продолжительным холодным периодом и низкими температурами в зимние месяцы, высокими значениями ГСОП (градусо-суток отопительного периода), а также со значительными сезонными колебаниями тепловых нагрузок (примерно в 7–9 раз), чего нет ни в какой другой стране мира. То есть с климатической точки зрения подавляющее большинство российских городов изначально обладают мощными и довольно эффективными (свыше 550 когенерационных источников – ТЭЦ) системами защиты от климатических воздействий [1].

Более того, эти системы находятся непосредственно в городах ввиду необходимости подачи тепла большому числу потребителей, что в определенной степени исключает возможность развития аварий по техасскому сценарию энергетического кризиса 2021 года. Высокую энергетическую и экологическую эффективность систем климатической адаптации, то есть систем жизнеобеспечения мегаполисов, обеспечивает наличие в городах сотен ТЭЦ разной мощности – когенерационных источников, вырабатывающих одновременно тепло и электроэнергию. Такое решение экономит до трети топлива (и пропорционально снижает выбросы в атмосферу) по сравнению с раздельной выработкой энергии, дает значительную экономию по расходам воды, капитальным вложениям, людскому труду.

---

[1] Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 года № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» и Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Таблица 2 Сравнительные параметры потребления энергоресурсов мегаполисами и странами мира с сопоставимой численностью населения*

Город, страна, штат	Население города (агломерации), млн чел.	Годовое потребление электроэнергии**, млрд кВт•ч	Суммарное потребление ТЭР, млн т у. т.	Плотность населения, тыс. чел./км^2	Удельное потребление** энергии, ГДж/чел.	Удельное потребление** энергии, т у. т./чел.
Москва	13–14	49,0	39,0	15 300 (5 300)	85–95	3,5
Москва + область	22–23	107,0	73,0	490	–	–
Токио	14,2 (37,0)	140,0	–	6 400	–	–
Пекин	21,8	80,7	–	5 977	70	–
Нью-Йорк	8,9	59,0	–	10 996	135	7,5
Лондон	8,9	46,0	–	5 671	88	3,5
Париж	2,2 (19,7)	68,0	–	20 781	63	–
Торонто	2,7 (6,5)	157,0	–	4 344	–	–
Берлин	3,6 (6,1)	14,5	9,5	4 088	81	2,5
Бельгия	11,0	85,0	97,0	390	195	8,8
Израиль	9,0	70,0	45,0	403	145	5,0
ОАЭ	10,5	130,0	55,0	127	–	12,4
Техас	26,0	490,0	–	43	–	–

* Расчеты авторов на основании открытых источников статистики, энергетических компаний, исследовательских фондов.

** Необходимо осознавать неизбежные искажения полученных данных ввиду условности границ мегаполисов («сити» и «большого Лондона» или «большого Токио»), разницы плотности населения в Москве в старых границах и с учетом ТиНАО, отсутствия подробных и достоверных энергетических балансов большинства мировых столиц и др.

Три кита энергетической трансформации

Соответственно, три ключевые стадии, три кита энергетической трансформации самой большой и холодной страны мира – государственный план развития электроэнергетической отрасли (ГОЭЛРО); создание территориально-производственных комплексов (ТПК) на основе базовых энерго-производственных циклов (ЭПЦ); промышленная и коммунальная масштабная теплофикация – были во многом уникальными и непревзойденными никем впоследствии механизмами, обеспечившими масштабную индустриализацию, послевоенное восстановление и развитие страны на восток.

Сегодня западный мир наконец-то обратился к решениям, реализованным в СССР свыше 60–70 лет назад, переименовав их под модные лозунги «**Environment, Social, Governance** (ESG)» и «circular economy», навязывая свои не вполне пригодные для российской энергетики подходы и приоритеты «энергоперехода». Возникает вопрос: в чем для нас состоит целесообразность заимствования нашего же опыта в чужой упаковке [2]?

Понятно, что практически все резервы и механизмы развития энергетики прошлого века в настоящее время нивелированы, приватизированы и растворены, использовать их впрямую крайне затруднительно. В энергетическом комплексе произошли важные трансформации, которые привели, помимо прочего, к тому, что значительная доля оборудования энергоисточников и энергосистем переходит в нерасчетные и неоптимальные режимы эксплуатации (что ведет к росту аварийности и неэффективной работе оборудования). На эти факторы накладываются износ оборудования, исчерпание ресурса котлов и турбоагрегатов разного типа, недостаток ремонтных средств и амортизации оборудования.

Как развиваться дальше? Какие резервы дальнейшей энергетической трансформации можно выделить в новых условиях? Для понимания различных возможностей использования зарубежного опыта попробуем кратко сравнить ситуацию в энергообеспечении (и эффективности) ряда крупнейших мегаполисов мира по самым базовым параметрам – располагаемой мощности, общему и удельному энергопотреблению (табл. 2). При этом надо осознавать неизбежную условность таких сравнений с точки зрения разнообразия климата, плотности населения, соотношения показателей именно «сити» и макромегаполисов [3].

Таблица 3 Сравнительные параметры главных реализованных проектов «смарт-сити»

Город (страна)	Количество жителей, тыс. чел.		Затраты, млрд долл. США	Год начала реализации проекта
	Планы	Факт		
Масдар (ОАЭ)	40	1,1	22	2008
Сонгдо (Корея)	100	~25,0	35	2001
Лусаил (Катар)	250	~75,0	45	2003

Проекты «смарт-сити» – что в итоге?

Широко разрекламированные, или, точнее, декларированные образы и преимущества «смарт-сити» подверглись за истекшие полтора-два десятилетия существенной коррекции. Определенные элементы и решения встраиваются и реализуются в тех или иных городских проектах разных мегаполисов мира, но создание супергорода с нуля (табл. 3) оказалось

недостижимой задачей: потрачены десятки миллиардов долларов, а степень реализации задуманных идей не превышает 20–30 %.

Ряд городов значительно трансформировали первоначальные весьма привлекательные «супер-IT»-концепции смарт-городов в сторону био- и эко-социумов, свернута самая масштабная в мире программа создания 100 умных городов в Индии. Спросим себя: какая базовая концепция должна лежать в основе «смартизации» городского пространства, инфраструктур и общественной жизни городов – эффективность, обратные связи, экологическая гармония, сбалансированность, устойчивость?

«Идея [умных городов] в целом остается обескураживающе бедной в плане конкретики, …а выгода очевидна только для производителей цифрового оборудования, которые получают гигантские и "вечные" муниципальные контракты», – замечает известный урбанист и автор книг «Радикальные технологии» и «Против умного города» А. Гринфильд [5].

Опыт энергетического перехода Москвы

Москва входит в число крупнейших мегаполисов мира (по численности населения занимает 24-е место), обладает развитой промышленностью и мощной энергетической системой. Вместе с тем Москва – один из самых холодных городов планеты (с населением более 10 млн чел.), в результате чего потребность столицы в тепловой энергии ровно вдвое больше, чем в электрической (около 100 млн Гкал против ~50 млрд кВт•ч).

Теплопотребление столицы

Гигантское теплопотребление Москвы определяет жесткую необходимость размещения энергоисточников (ТЭЦ и котельных) именно на городской территории, что является довольно уникальным фактором – подавляющее большинство зарубежных мегаполисов имеют на своей территории только 20–40 % необходимых энергомощностей, успешно получая остальные энергетические потоки из-за пределов города[2]. Суммарная тепловая мощность системы теплоснабжения Москвы составляет около 60 ГВт (т) и настолько велика, что может обеспечить тепловой энергией все столицы Скандинавских стран, десяток самых крупных городов Канады, и еще останется запас для отопления Варшавы или Вены. А резерва теплоисточников Москвы хватит, чтобы почти полностью покрыть теплоснабжение второй столицы России, Санкт-Петербурга. Объем потребления ТЭР в столице соизмерим с потреблением энергии таких государств, как Чехия, Чили или Кувейт, в два раза больше, чем у Португалии или Новой Зеландии, и в несколько раз превышает потребление большинства регионов России.

Вместе с тем и заложенные более полувека назад, и современные решения трансформации столичного энергетического хозяйства в комплексе дали выдающиеся результаты (табл. 4). Москва демонстрирует достаточно высокую эффективность использования имеющихся топливно-энергетических ресурсов на фоне весьма умеренного электропотребления и недостаточной (в сравнении с городами подобного размера) мощности энергоисточников (табл. 2).

Результаты энергетической трансформации столицы

Выделим три основных результата так называемой энергетической трансформации столицы:

• **во-первых,** при значительном росте экономики города и росте количества недвижимости в последние 13–14 лет примерно на четверть суммарный расход топлива на энергетические нужды не вырос, а сократился на 4–5 %. Соответственно, снизились выбросы вредных веществ и парниковых газов;

[2] Даже в похожем на Москву по климату Берлине из 14 млрд кВт•ч энергопотребления городские ТЭЦ выработали около половины (https://www.cleanenergywire.org/factsheets/energy-use-city-berlin).

Таблица 4 Показатели энергетической трансформации Москвы в 2011–2021 годах

Энергоисточники и сети	Сектор	Потребители
Эксплуатация паротурбинных энергоблоков ТЭЦ	Особенности оборудования и решений	Повышение тепловой защиты зданий
Газотурбинные блоки (~27 % мощности)	Ключевые меры по энергосбережению	Проведение капитальных ремонтов и реконструкции зданий
Перекладка тепловых сетей, модернизация ЦТП и подстанций, ЛЭП	Модернизация оборудования	Снижение тепловых нагрузок зданий и рост электрических пиков
Экономия топлива на энергетические нужды города ~26–27 %	Общие результаты экономии ТЭР	Экономия воды и тепла в результате установки приборов учета
«Безуглеродность» свыше четверти города (~3 млн чел.)	Результаты в терминах «энергетического перехода»	Возможность подключения к сетям свыше 85 млн м^2 жилой и общественной недвижимости

• **во-вторых,** за истекшие 12–13 лет город ввел в строй и подключил к сетям теплоэнергоснабжения, по разным оценкам, свыше 85 млн м^2 разной недвижимости (что превышает совокупно ориентировочно Воронеж и Нижний Новгород, вместе взятые) – практически без роста теплопотребления;

• **в-третьих,** за полную или частичную «безуглеродность» активно борются Берлин, Копенгаген и Лондон, как и ряд других городов, а Москва в настоящее время является на четверть «безуглеродной» («четверть Москвы» – это практически Берлин полностью или чуть больше, чем все скандинавские столицы, вместе взятые).

Еще раз подчеркнем – не вполне заметная чиновникам разных уровней и экспертам-неэнергетикам комплексная трансформация энергохозяйства столичного мегаполиса в последнее десятилетие практически повторила результаты «энергопереходов» СССР более чем полувековой давности – обеспечила возможность устойчивого роста городской агломерации со всеми сопутствующими эффектами роста эффективности и экологичности энергоисточников [4].

При этом необходимо отметить, что разнообразные зарубежные подходы и методики анализа энергоемкости и углеродоемкости экономики мегаполисов из года в год не замечают этих существенных результатов и не могут в полной мере служить механизмами выявления и реализации резервов дальнейшего повышения энергетической и экологической эффективности Московской энергосистемы. Сейчас становится модным апеллировать к восточному опыту, намекая на динамику масштабного роста мощностей ВИЭ в КНР [5], но надо помнить, что практически 2/3 гигантского потребления электроэнергии (уже свыше 9 трлн кВт•ч) производится на ТЭС (работающих по большей степени на угле), и эти пропорции достаточно консервативны, несмотря на рост мощностей ВИЭ и АЭС [6].

Заключение

Три кита энергетической трансформации энергохозяйства СССР (план ГОЭЛРО, последующее создание крупных ТПК на основе энергопроизводственных циклов, широкомасштабная промышленная и коммунальная теплофикация) были во многом уникальными и непревзойденными впоследствии механизмами роста эффективности и надежности энергосистемы. Но основные резервы и механизмы развития энергетики прошлого века в настоящее время практически не применимы, использовать их впрямую крайне затруднительно, необходимо динамично выявлять и активно использовать новые резервы развития и повышения эффективности сложных и распределенных технических систем.

Интересен опыт последних 15 лет Москвы, энергетическая трансформация которой сочетает в себе взаимоувязку мер как отраслевого – технологического характера (источники – сети – потребители), так и более широко трактуемых – сопряжение энергоэффективности с экологическими эффектами и НДТ, разноплановыми мерами климатической адаптации городского хозяйства [7]. Но на данном этапе основные резервы эффективности энергохозяйства столицы также практически исчерпаны.

Комплекс социально-экономических и технологических перемен последних десятилетий требует внимательного анализа и мониторинга динамики и эффективности процессов энергоиспользования у потребителей разных категорий и групп, отслеживания возможных дисбалансов роста городов без увязки с соответствующей перестройкой и совершенствованием их энергетической инфраструктуры. Назрела острая необходимость формирования новых специальностей и профилей энергетики городов, энергетической урбанистики, учитывающих ключевые особенности развития энергетических комплексов городов разного размера и климатических зон.

Литература

1. Гашо Е. Г. Энергетический переход и энергосбережение: актуальность и реальные приоритеты развития страны. М.: Издательство МЭИ, 2023.

2. Белобородов С. С., Гашо Е. Г. Энергопереход: достижение цели любым путем? // Нефтегазовая вертикаль. 2022. № 6. С. 23–28.

3. Федюхин А. В., Гашо Е. Г. Методические подходы к анализу энергоэкологического метаболизма городов // Глобальная энергия. 2024. Т. 30, № 1. С. 91–107.

4. Гашо Е. Г. Энергетическая и климатическая стратегия Москвы. Поиск разумного симбиоза // Энергосбережение. 2018. № 2. С. 4–10.

5. Новый путь: китайская стратегия «низкий углеродный след+». СПб.: Team Book, ИГ «Лениздат», 2022.

6. Гринфильд А. Радикальные технологии. Устройство повседневной жизни. М.: Дело, 2019.

7. Экология, энергетика, энергосбережение. Вып. 1. Предпосылки и приоритеты климатической адаптации Москвы. 2024. ■