

Департамент топливно-энергетического хозяйства
Правительства города Москвы

ЗАО «ГУ Институт энергетической стратегии»

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕГАПОЛИС
– SMART CITY «НОВАЯ МОСКВА»**

(под ред. В.В. Бушуева, П.А. Ливинского)

Москва
2015

УДК 001(620.9:338:504.75)(470.311)

ББК 31.19

Энергоэффективный мегаполис – Smart City
«Новая Москва»/под ред. В.В. Бушуева, П.А. Ливинского
– М.: ИД «Энергия», 2015 г., 76 стр.

ISBN 978-5-98908-398-5

Данная публикация основана на результатах анализа большого числа работ, выполненных по данной тематике, и является попыткой представить обобщенную Концепцию формирования энергетической инфраструктуры «умного» города. Ключевой особенностью такой Концепции является ориентация на Человека, который является и основным объектом клиентоориентированной системы энергоснабжения и «активным» субъектом своего энергожизнеобеспечения. Тем самым очевидной становится необходимость перехода к интеллектуальной инфраструктурной системе Smart Grid.

Формирование этой системы в новом энергонасыщенном мире (с глубокой электрификацией производства и быта граждан) определяет приоритеты социальной эффективности развития энергетики «Новой Москвы».

С учетом присоединенных территорий с неравномерной плотностью нагрузки полноправно рассматриваются и энергетические комплексы и распределенная генерация, централизованные, децентрализованные и автономные системы энергоснабжения. Показаны возможные и уже проектируемые системы энергообеспечения на уровне «умного» дома, «умного» квартала, «умного» района и «умного» города. Предполагается, что эти подходы найдут широкое применение при разработке Энергетической стратегии города Москвы в практике формирования новой социально ориентированной энергетики мегаполиса.

УДК 001(620.9:338:504.75)(470.311)

ББК 31.19

© Департамент топливно-энергетического хозяйства
Правительства города Москвы, 2015
© ЗАО «ГУ Институт энергетической стратегии», 2015

ISBN 978-5-98908-398-5

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРОДСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА.....	7
1.1. Структура энергетического сектора мегаполиса.....	7
1.2. Генеральные схемы энергоснабжения города Москвы.....	10
1.3. Реализация программы энергосбережения в городе Москве.....	22
1.4. Организационная структура управления топливно-энергетическим хозяйством города.....	24
РАЗДЕЛ 2. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МЕГАПОЛИСА.....	27
2.1. Новые проблемы развития энергетики мегаполиса с учетом присоединенных территорий.....	27
2.2. Ключевые задачи и показатели энергоэффективного мегаполиса.....	30
2.3. На пути к «электрическому миру» энергопотребления.....	34
2.4. Новая структура энергоснабжения эффективного мегаполиса.....	39
РАЗДЕЛ 3. SMART GRID КАК ИННОВАЦИОННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКОЙ МЕГАПОЛИСА.....	46
3.1. Smart Grid как элемент «умного» города – Smart City.....	46
3.2. Международный опыт создания Smart Grid мегаполисов.....	50
3.3. Территориально-инфраструктурная модель энергетического хозяйства мегаполиса.....	53
3.4. Организация интеллектуального управления Smart Grid мегаполиса.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	73

ВВЕДЕНИЕ

Москва – столица Российской Федерации. И это накладывает особые требования к развитию мегаполиса не только как геополитического, финансового, научного и культурного центра страны, но и как города с высоким качеством жизни.

Качество жизни – это высокий материальный уровень обеспеченности населения, безопасность и удобство среды обитания, развитая инфраструктура (социальная, коммуникационная, транспортно-энергетическая).

С присоединением новых территорий и общими тенденциями в экономике «Новая Москва» значительно видоизменяет свой производственный, в первую очередь, промышленный облик.

Крупные индустриальные предприятия в черте города уступают место инновационным бизнес-центрам, энергоемкие и экологически опасные предприятия перепрофилируются на производство наукоемкой продукции, в новых районах возникают локальные комплексы (кластеры) по переработке сырья и производству потребительских товаров.

Рассредоточенность и диверсификация производства меняют общую тенденцию развития инфраструктуры. На смену централизованным комплексам энергоснабжения от крупных ТЭЦ активно развиваются децентрализованные и локальные системы энергоснабжения. Энергетическая система Москвы меняется по форме и по существу. Если ранее на первом плане была экономика производства и надежность внешнего энергоснабжения города, то новая тенденция развития городского хозяйства ориентирована на социальную эффективность жизнеобеспечения столицы, на экологическую безопасность, на расширение качества предоставляемых энергетических услуг, на энергетическое самообеспечение территорий, повышение роли местных, в том числе, возобновляемых источников энергии, развитие «активно-го» потребителя.

Социальная эффективность энергетики мегаполиса включает:

- надежность и качество (расширяющийся ассортимент, удобство и безопасность использования) предоставляемых энергетических услуг;
- их экономическую доступность;

- возможность самостоятельно контролировать и управлять собственным энергообеспечением.

Социальная эффективность энергетики – это:

- переход к интегрированным схемам энергоснабжения, когда отдельные схемы энерго-, тепло-, газо- и водоснабжения формируют общую «систему систем» (System of System – SoS), нацеленную на конечный результат – обеспечить комфорт и качество энергоснабжения в быту, на транспорте и на производстве;
- глубокая электрификация за счет расширения сферы применения электрической энергии как наиболее *универсального, удобного и управляемого* (три «У») вида энергии;
- новое энергетическое мышление и переход от энергетической системы жизнеобеспечения к новому «электрическому миру», где человек станет не только объектом энергоснабжения, но и активным субъектом энергетической системы жизнедеятельности – он не только получает пакет энергетических услуг и платит за них, но и принимает решение, какой должна быть среда его обитания.

Новые задачи требуют не просто технико-экономической модернизации городского энергетического хозяйства, но и развития новой организационно-хозяйственной схемы управления энергетикой мегаполиса, ориентированной на частно-государственное партнерство власти и бизнеса и активную роль потребителя.

«Умный» потребитель неминуемо приведет к тому, что вся схема энергоснабжения мегаполиса будет формироваться на принципах «интеллектуального городского хозяйства» – Smart City. И этот новый облик мегаполиса – уже не в мечтах фантастов-утопистов, он – в современных проектах, в новых системах энергоинформационного управления инфраструктурой города.

«Умная» энергетика – это не самоцель. Так же как и активное энергосбережение, при всей значимости борьбы с энергорасточительством, – это тоже не самоцель.

Цель развития энергетики – повысить социальную эффективность городской инфраструктуры, ориентированной на растущие потребности человека и его возможности, стимулирующей качество жизни населения и рост производительности труда, обеспечивающей устойчивое развитие мегаполиса в интересах нынешнего и будущего поколений.

На это нацелены все энергетические программы развития систем электро-, тепло- и газоснабжения и других инфраструктурных систем города, в том числе и актуализация Энергетической стратегии города Москвы с учетом присоединенных территорий.

В данной работе сделана попытка не просто обобщить все эти программные документы, а сформировать целевое видение перспективного развития энергетического сектора мегаполиса – «Новой Москвы» и показать основные пути достижения главной цели – сделать наш город, наш Дом теплым и светлым, чистым и уютным, удобным и привлекательным для работы и для жизни.

РАЗДЕЛ 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРОДСКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА

1.1. Структура энергетического сектора мегаполиса

С учетом изменения территориальных границ между Московской и Московской областью (с 01.07.2012 г.) территория мегаполиса выросла в 2,4 раза (со 107 до 255 тыс. га), а численность населения увеличилась с 11,8 до 12,1 млн человек.

Характерная особенность структуры ВРП, связанная не только с новыми территориями, а с общими изменениями в экономике страны и ее столицы – высокая доля торговых (38,5%) и финансово-посреднических услуг (21,8%), тогда как промышленность занимает 3-е место (17%). Москва остается крупнейшим транспортным узлом страны, концентрирующим как международные, так и внутренние связи. Плотность железнодорожных путей в Москве (с учетом области) в 11 раз, а автомобильных дорог с твердым покрытием – в 15 раз выше, чем в среднем по стране. Несмотря на посткризисное состояние строительного комплекса, в основном за счет ускоренной застройки новых территорий – Новомосковского и Троицкого административного округа (АО) общий прирост ввода жилья за эти годы увеличился на 28% (3,1 млн м² в 2013 г.). На фоне общего падения инвестиций в стране в Москве наблюдался их рост (на 9,2% в 2013 г.).

В целом для города характерна тенденция сокращения крупной энергоемкой промышленности с большим уклоном в сторону развития наукоемких производств. Что в перспективе может способствовать более активному развитию сферы высоких технологий как для инновационного развития обрабатывающей промышленности и ВПК, так и для комбыта, а также для сектора социальных услуг. Использование этих технологий позволит повысить эффективность и инновационных систем городского управления.

Естественно, что эти структурные изменения экономики города приводят к изменению систем жизнеобеспечения мегаполиса. И изменения носят, в основном, не количественный, а качественный характер.

Так, динамика энергопотребления «Новой Москвы» (с учетом присоединенной территории) выросла несущественно (на 3-4%): газа – с 26,0 до 27,5 млрд куб. м, тепла – с 91 до 93,6 млрд Гкал, электроэнергии – с 50,3 до 52,3 млрд кВт·ч (с учетом данных всех сбытовых организаций, действующих на территории города).

В структуре электропотребления, как главного конечного потребительского продукта системы энергоснабжения города, происходят качественные изменения. Доля промышленного электропотребления в столице за последние годы снизилась с 21,3 до 19,6%, а доля транспорта (метро) и связи – выросла с 6,4 до 7,15%. Выросла в структуре электропотребления и доля домашних хозяйств и сферы услуг – с 54 до 57%.

Расширение границ города Москвы привело к появлению нового для столичного региона потребительского сектора – сельскохозяйственного производства, перерабатывающих предприятий и хранилищ готовой продукции и утилизации отходов.

Энергоснабжение всех потребителей города Москвы осуществляется, в основном, за счет собственных газовых ТЭЦ и ГРЭС (рис. 1.1) (90% производства электроэнергии и 98% тепла), и лишь частично – за счет перетоков из ОЭС Центра (рис. 1.2).

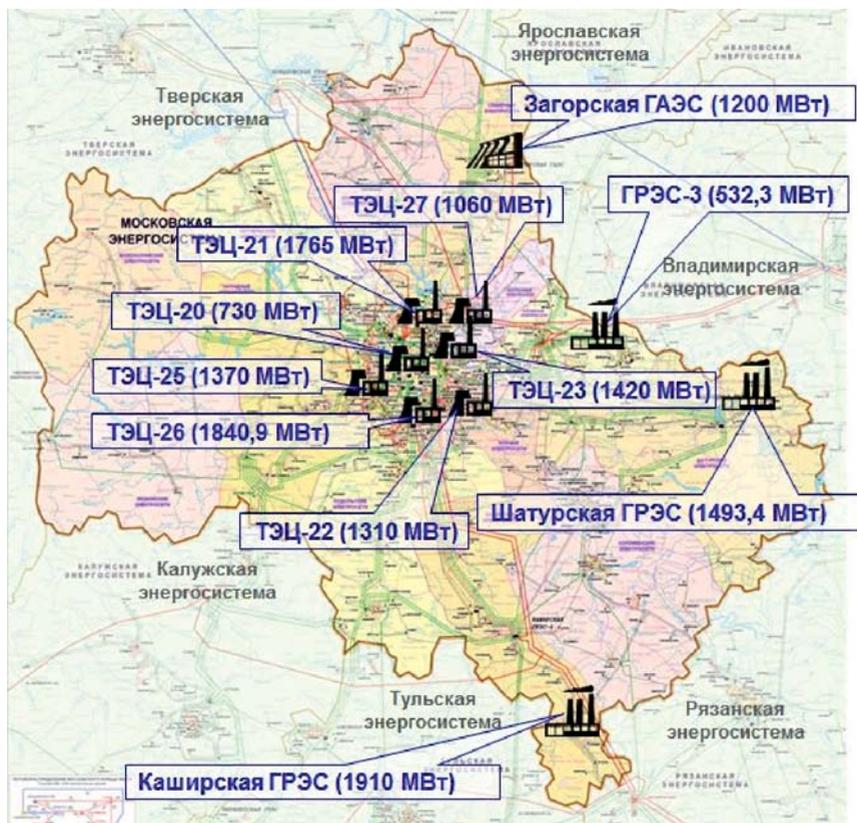
Помимо ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» крупным производителем тепла является ОАО «МОЭК» (180 тепловых станций), а также около 800 ведомственных котельных. Протяженность тепловых сетей составляет 16,5 тыс. км.

Фактический объем потребления тепла составляет свыше 100 млн Гкал, из них 82% приходится на жилой сектор и сферу обслуживания населения.

Установленная мощность источников тепла составляет свыше 60 тыс. Гкал/ч, а мощность собственных электрических источников – свыше 10 ГВт (при мощности электростанций ОАО «Мосэнерго» почти 20 млн кВт). Суммарная протяженность питающих ВЛ 110-220 кВ Московского региона составляет 11 тыс. км, в т.ч. в самой Москве – свыше 1 тыс. км, а протяженность распределительных, в том числе кабельных сетей – около 100 тыс. км.

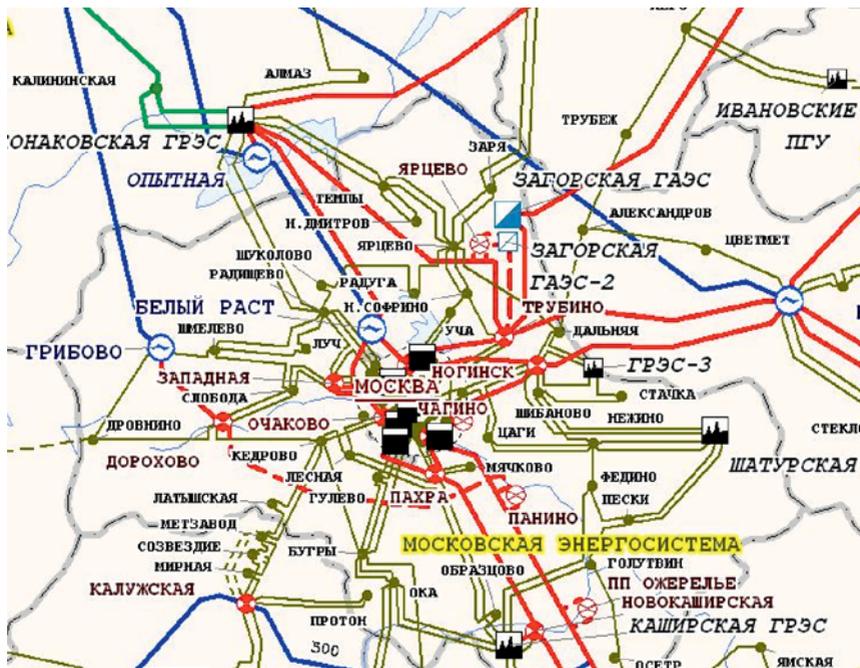
Свыше 98% топливоснабжения энергетических источников энергоснабжения мегаполиса осуществляется за счет газа, поступающего по коридорам Единой системы газоснабжения (ЕСГ)

страны от месторождений ЯНАО. Газоснабжение потребителей города обеспечивается от двухниточного *кольцевого газопровода Московской области* (КГМО) диаметром 820 и 1120 мм общей протяженностью 470 км. Общая протяженность газораспределительных сетей ОАО «Мосгаз» составляет почти 7,5 тыс. км.



Источник: Энергетическая стратегия г. Москвы до 2025 г.

Рис. 1.1. Схема энергоисточников Московской энергосистемы



Источник: ОАО "Мосэнерго".

Рис. 1.2. Схема электрических связей Московской энергосистемы с ОЭС Центра

1.2. Генеральные схемы энергоснабжения города Москвы

Анализ фактического состояния энергетического хозяйства города на основе регулярного мониторинга Энергетической стратегии города Москвы (утвержденной в 2008 г.) и актуализации действующих генеральных схем электро-, тепло- и газоснабжения, проводимый Департаментом топливно-энергетического хозяйства города Москвы, позволяет своевременно вскрывать проблемы и принимать необходимые меры по обеспечению надежности и эффективности энергообеспечения растущих (количественно и качественно) потребностей города.

При этом первоочередное внимание уделяется проблемам энергоснабжения социальной сферы (домашних хозяйств и сферы услуг), составляющих в структуре электропотребления города свыше 50%. В то же время сравнительный анализ душевого энерго- (и электро-) потребления и эффективности систем энергоснабжения со столицами других стран мира позволяет своевременно выявить «узкие» места и тенденции развития крупных мегаполисов. Так, душевое энергопотребление в Москве (менее 7 т у.т./чел.) в 2 раза ниже, чем в Будапеште и Токио и в 3-4 раза ниже, чем в Нью-Йорке и Торонто. Это связано с меньшим количеством автомобилей. Но и по уровню электропотребления (5 кВт·ч/чел.) Москва в 1,5 раза уступает Нью-Йорку и Токио и более чем в 2 раза – Торонто.

В то же время электроемкость ВРП в Москве в 2 раза выше, чем в других мегаполисах. Это свидетельствует, с одной стороны, о недостаточном количественном энергообеспечении жителей нашей столицы, а с другой, о низкой эффективности использования систем энерго- и электроснабжения.

Поэтому планы и программы перспективного развития энергетического хозяйства города нацелены как на активное энергосбережение, так и на дальнейшее энерго- (и в первую очередь, электро-) обеспечение потребителей (населения) Москвы.

Базовый вариант электропотребления на основе инновационного сценария экономики страны и города Москвы (с учетом заявок и технических условий для присоединения потребителей) представлен на рис. 1.3.

На расчетный 2020 г. электропотребление города Москвы в новых границах достигнет 64 млрд кВт·ч (рис. 1.4). В этот период в Москве будет иметь место дефицит собственного производства (рис. 1.5) и потребуются усиление связей с ОЭС Центра.

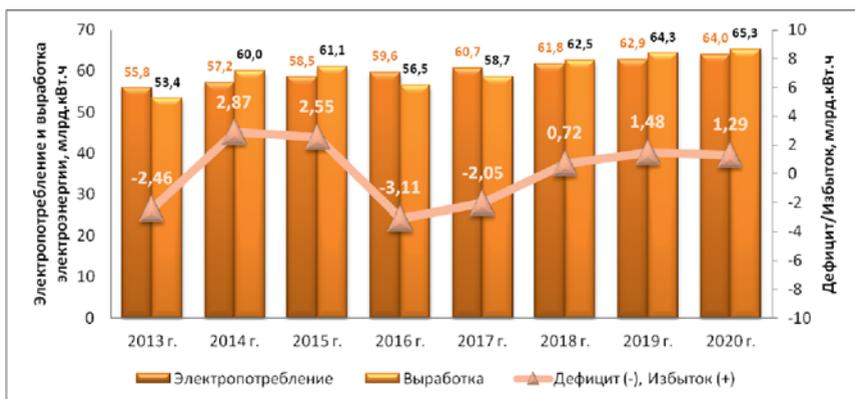
Для этого в новых границах намечается строительство 3-х подстанций 500 кВ, 21-й подстанции 220 кВ и 1-й подстанции 110 кВ и ввод новых мощностей на п/с 35 кВ (с общим объемом 15 тыс. МВА).

Помимо нового ввода и демонтажа морально устаревшего оборудования *Генеральная схема развития электроэнергетики на период до 2020 г.* предусматривает решение ряда задач повышения надежности, качества и экономичности энергоснабжения потребителей.



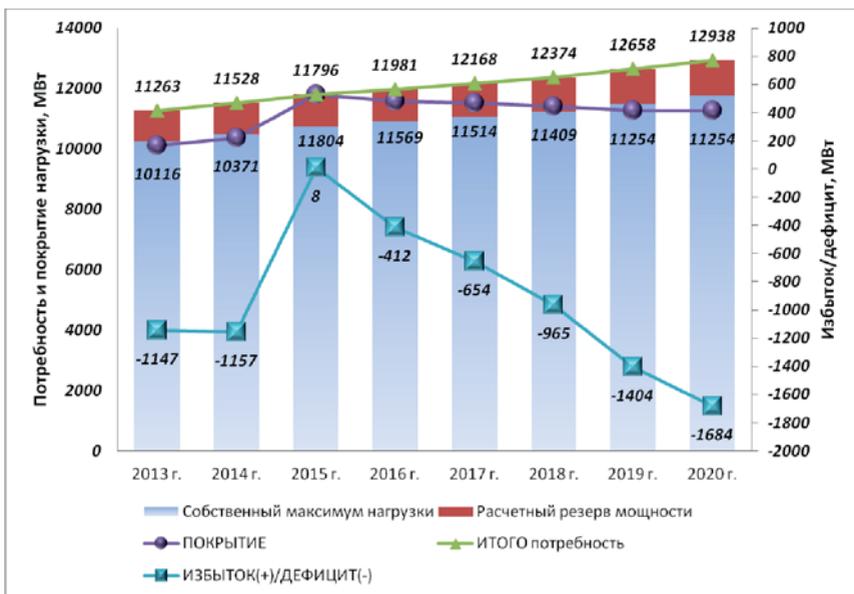
Источник: Данные ЭСП и ИЭС.

Рис. 1.3. Изменение электропотребления города Москвы на перспективу до 2020 года



Источник: Данные ЭСП и ИЭС.

Рис. 1.4. Намечаемый баланс электрической энергии города Москвы в новых границах до 2020 года



Источник: Данные ЭСП и ИЭС.

Рис. 1.5. Намечаемый баланс мощности города Москвы в новых границах до 2020 года (включая ТЭЦ-22 и ТЭЦ-27, находящиеся на территории МО)

При этом предусматривается отказ от развития электрических сетей 110 кВ, как системообразующих, с приоритетным развитием сетей 220 кВ, а в распределительных сетях – с развитием схем на 20 кВ. Предусматривается использование кабельных сетей и закрытых подстанций (ПС) с элегазовым оборудованием, различных токоограничивающих устройств и системных мероприятий, в частности, гибкое секционирование сети, использование вставок постоянного тока (ВПТ) и системных накопителей энергии.

К концу периода предполагается активное развитие малой (распределенной) генерации с локальными источниками до 100 МВт для покрытия нагрузки в новых районах Москвы. К тому же времени в силу повышенных требований к безотказности энергоснабжения инновационных технологических центров, бизнес- и финансовых центров намечается широкое использова-

ние автономного (дублирующего) питания и массовое использование аккумуляторов (накопителей) в послеаварийных режимах работы общей питающей сети.

Впоследствии (за 2020 г.) предполагается проведение в Москве углубленной электрификации ЖКХ за счет ввода нового эффективного оборудования электроотопления и климат-контроля, электроосвещения и электрифицированного транспорта коллективного и личного пользования, электрификации перерабатывающих производств сельскохозяйственного сектора, складских и офисных помещений, широкого использования электрооборудования медицинского назначения, учебных и культурных предприятий. Все это потребует активного внедрения новых технологических интеллектуальных систем и систем Smart Grid как инфраструктуры будущей системы Smart City – города высокой эффективности и культуры.

Генеральная схема теплоснабжения исходит из условий растущего прироста тепловых нагрузок в жилых и общественных зданиях, составляющих до 80% общей потребности города в тепле, тогда как промышленное теплоснабжение растет значительно медленнее.

Суммарный прирост тепловых нагрузок в горячей воде зданий, с учетом перехода стройиндустрии на новые нормы по тепловой защите ограждающих конструкций зданий, на расчетный 2020 г., составляет чуть более 4,5 тыс. Гкал/ч, в том числе для жилых зданий – 2,1 тыс. Гкал/ч. При этом за счет мер по теплоэнергосбережению годовая теплоснабжаемость зданий может быть снижена на 30%. Ожидаемые тепловые нагрузки города Москвы (в существующих границах) на перспективу до 2020 г. приведены в табл. 1.1.

Прирост тепловых нагрузок на новых территориях города составит на перспективу до 2020 г. порядка 6,75 млн Гкал. На расчетный период сводная годовая потребность в тепле (горячая вода и пар) города Москвы в новых границах составит 109 млн Гкал, в т.ч. в горячей воде – 104,7 млн Гкал (рис. 1.6).

Определенной текущей и перспективной проблемой теплоснабжения является завышение заявок (почти в 2 раза) на теплоснабжение по сравнению с фактическими нагрузками. Это приводит не просто к простоям оборудования, но и к увеличению

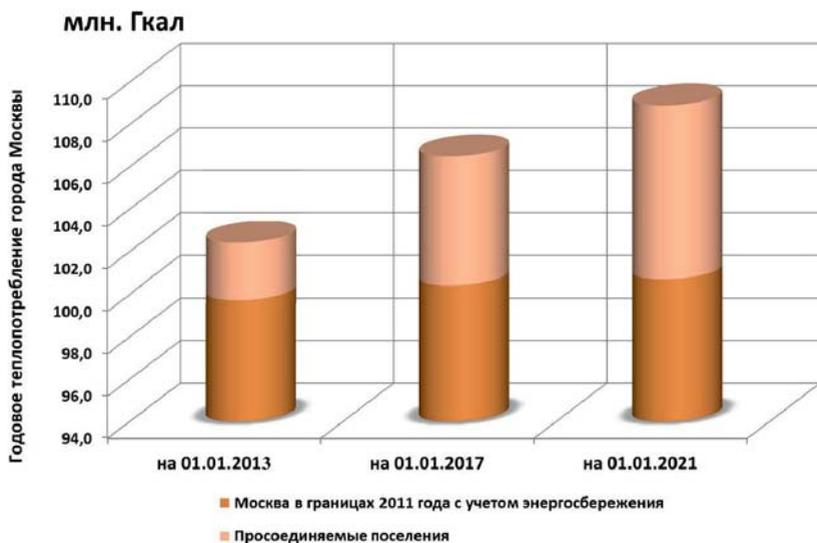
условно постоянных затрат и удорожанию эксплуатации теплоэнергосточников. Необходим более объективный и оперативный учет заявок потребителей.

Другой важной структурной проблемой является относительно высокая стоимость транспорта тепла от централизованных источников к распределенным потребителям. Радиус действия крупных ТЭЦ составляет 25 км. В результате растут потери, а транспортная составляющая в тарифе на тепло составляет порядка 50%.

Таблица 1.1. Тепловые нагрузки города Москвы в существующих границах на перспективу до 2020 года

Наименование	На 01.01.2017 г.		На 01.01.2021 г.	
	пар, т/ч	горячая вода, Гкал/ч	пар, т/ч	горячая вода, Гкал/ч
Город Москва, всего:	1 455,6	33 467,2	1 376,6	33 565,3
В том числе:				
технологии	1 455,6	130,0	1 376,6	130,0
отопление	0,0	19 185,5	0,0	19 275,6
вентиляция,				
кондиционирование	0,0	8 604,6	0,0	8 709,5
горячее водоснабжение	0,0	5 547,0	0,0	5 449,8
Промышленность, всего	1 455,6	5 082,7	1 376,6	5 086,1
ЖКС, всего:	0,0	28 384,5	0,0	28 479,2
В том числе:				
жилые здания	0,0	14 984,3	0,0	15 321,6
общественные здания	0,0	13 400,3	0,0	13 157,6

Поэтому среднесуточный тариф в городе Москве превышает 1,5 тыс. руб. за 1 Гкал, что почти в 1,5 раза выше среднероссийского тарифа (не считая систем теплоснабжения Дальнего Востока и Крайнего Севера). Неурегулированной остается система распределения затрат на выработку тепла и электрической энергии на ТЭЦ. К тому же привлечение ТЭЦ к покрытию полупи-



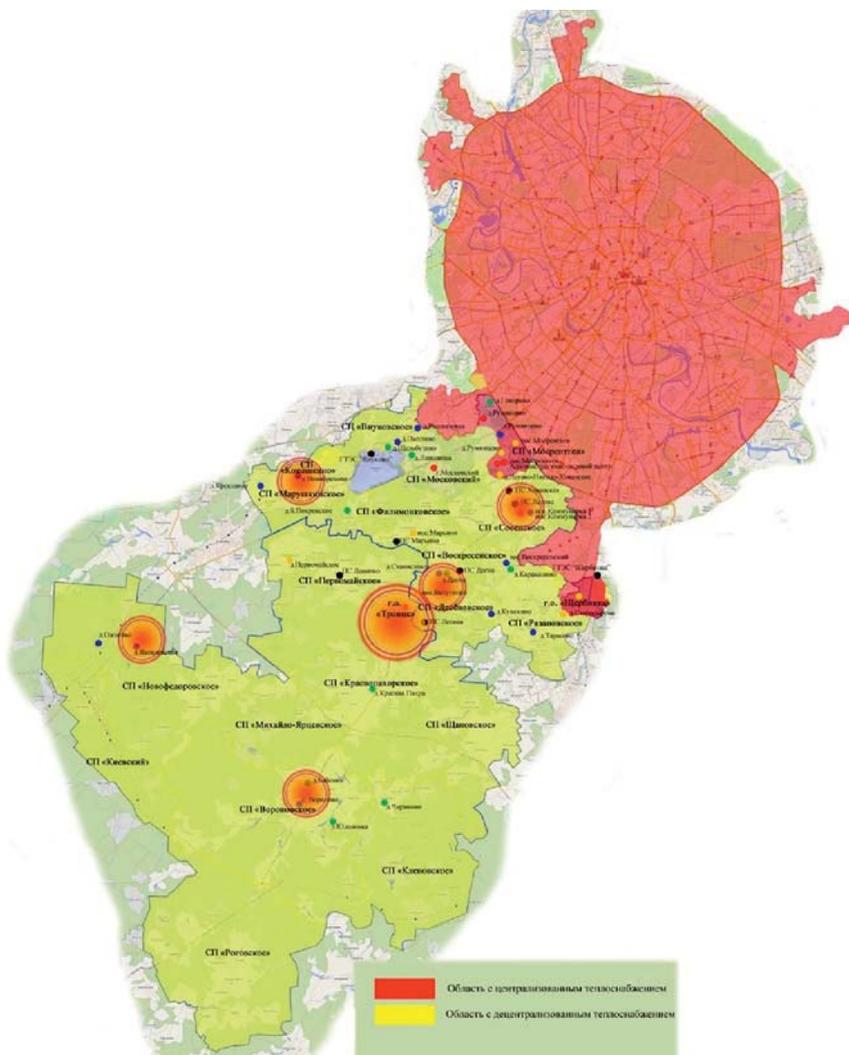
Источник: Схема теплоснабжения г. Москвы до 2025 г.

Рис. 1.6. Прогноз теплопотребления города Москвы в новых границах (теплоноситель горячая вода и пар) на перспективу до 2020 года

ковых электрических нагрузок сопровождается передачей тепловых нагрузок на водогрейные котлы (доля которых в отпуске тепла увеличилась более чем в 1,5 раза). Это приводит к снижению эффективности когенерации и дальнейшему росту затрат на теплоснабжение. Доля затрат на теплоснабжение в общей доле энергетических затрат потребителей в городе Москве достигает почти 50%. И это требует радикальных структурных изменений в Генеральной схеме энергоснабжения «Новой Москвы».

Новая схема (рис. 1.7) предусматривает создание 17 центров локального теплоснабжения и комбинированного производства тепло- и электроэнергии (энергокомплексов) на установках средней и малой мощности (ПГУ, ГТУ с водогрейными котлами-утилизаторами) с гибким переключением потребителей к различным локальным энергоэффективным энергокомплексам.

Большой объем работ предполагается и по развитию тепловых сетей.



Источник: ИЭС и ЭТС-проект.

Рис. 1.7. Предполагаемая структура развития систем централизованного энергоснабжения на территориях Троицкого и Новомосковского административных округов (ТиНАО) к 2025 году

Система теплоснабжения на перспективу сохраняется преимущественно закрытой, а тепловые сети должны быть двухтрубными, кольцевыми. Необходимо выполнить перекладку существующих теплопроводов общей протяженностью 325 км со средним диаметром 125 мм и новое строительство протяженностью 680 км со средним диаметром 100 мм. Прокладка новых тепловых трубопроводов предусматривается бесканально в пенополиуретановой изоляции.

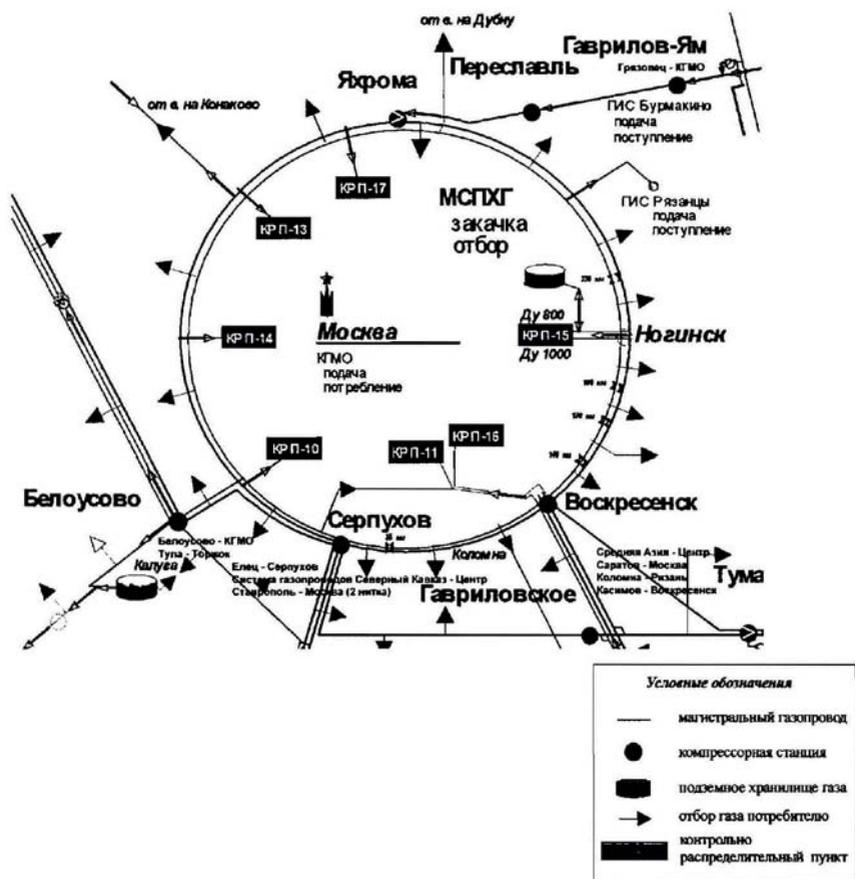
В будущем предстоит более глубокая модернизация общих систем электро- и теплоснабжения. Несмотря на определенное (кажущееся) удорожание внедрения систем электротеплоснабжения, они могут получить более широкое распространение в мегаполисе за счет сокращения дорогостоящих и неэффективных тепловых распределительных сетей, снижения сроков и стоимости их ремонта и других эксплуатационных затрат. А главное, за счет гораздо больших удобств по комплексному обеспечению потребителя общими климатическими системами, включая электроотопление, вентиляцию, обеспечение влажности и других параметров комфортного жилья.

Существующая система теплообеспечения жилья за счет горячего водоснабжения и традиционных радиаторных батарей не дают возможности индивидуального регулирования температурных и других показателей комфортности обеспечения, тем более, что действующая система отапливает всю кубатуру помещений, а не локальное место обитания жильца. Регулирование теплового и других режимов помещений значительно менее эффективно, чем регулирование использования электрической энергии для этих же целей.

Поэтому необходимо совершенствование (как структурное, так и технологическое) системы теплоснабжения, в том числе путем ее интеграции с системой электроснабжения в общую систему. Единая энергоснабжающая система представляет собой пример интегрированной «системы систем» (System of System – SoS). Ее ориентация на общий потребительский эффект позволит за счет снижения долевого расхода семейного бюджета на теплообеспечение с 50% до 40% при некотором увеличении доли расходов потребителя на электроснабжение с нынешних 17% до 23% снизить общую долевую нагрузку на энергообеспечение в жилом секторе с 67% до 63% и обеспечить снижение на 1/3 общих энергетических затрат семейного бюджета.

Перспективы развития системы газоснабжения города Москвы

Системы газоснабжения города Москвы и Московской области (рис. 1.8) технологически представляют собой единое целое в виде двухниточной кольцевой системы КГМО, отводов от КГМО до контрольно-распределительных пунктов (КРП), распределительных газоотводов от КРП до кольцевого газопровода Москвы (КГМ), а от них – до конкретных потребителей.



Источник: ОАО "Мосгаз".

Рис. 1.8. Схема газоснабжения Московского региона

Поставку газа от ЕСГ (от ЯНАО) в КГМО осуществляют три компрессорных станции (Воскресенская, Серпухов, Яхрома), обеспечивающие внешнее газоснабжение по трем основным направлениям.

Кроме того, для надежности сезонного газоснабжения функционируют 4 ПХГ (Касимовское, Увязовское, Калужское и Щелковское). Основным потребителем газа являются объекты электро- и теплоэнергетики (17,5 млрд куб. м), тогда как потребление газа промышленностью и населением не превышают 4% общего объема. Только в ведении ОАО «Мосгаз» находится 7500 км газовых сетей и более 1,2 тыс. газораспределительных пунктов (ГРП). Поставляемые объемы газа достаточны для надежного обеспечения спроса на котельно-печное топливо (КПТ), однако по соображениям безопасности практически 100%-я монополия газа в структуре КПТ представляет собой достаточно высокие риски.

Поэтому на перспективу необходимо комплексное решение вопросов безопасности энергоснабжения Московского региона путем интеграции систем газо-, электро- и теплоснабжения в единый энергетический комплекс мегаполиса (System of System).

Это также определяется и тем, что необходимо согласование новых объектов энергоснабжения (газовые коммуникации, питающие и распределительные электрические и тепловые сети) с единым генеральным планом развития территорий мегаполиса и Московской области. Раздельное проектирование этих коммуникаций вызывает дополнительные трудности по землеотводу, по построению взаимоувязанного размещения энергокомплексов в «Новой Москве», по исключению дублирования этих систем и по балансовой и режимной оптимизации их работы.

Особой проблемой для газоснабжения является обеспечение пикового спроса на газ, который длится не более 10 дней в году, но требует соответствующего резерва мощностей с низким коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ), что дополнительно увеличивает тариф на газ для потребителей.

Эффективным направлением решения проблемы является диверсификация системы внешнего газоснабжения.

Внешние поставки газа с трех независимых направлений повышают балансовую надежность газовых поставок, однако требуют согласования потоков (по объемам и давлениям), что вно-

сит дополнительные трудности и требует совершенствования управления системой газоснабжения (с использованием новых принципов и структур).

Структура перспективного спроса на газ по группам потребителей представлена в табл. 1.2. Отсутствие необходимости в существенном увеличении новых поставок объясняется как активным газознергосбережением, так и замещением газовой энергетики на внешние поставки электроэнергии.

При реальном проектировании новых источников и сетей необходимо учитывать не только общие объемы спроса, но и географическую привязку потребителей к возможным источникам газоснабжения.

Таблица 1.2. Структура перспективного потребления природного газа (млн м³) по категориям потребления Москвы по отраслям народного хозяйства на период 2015-2020 гг.

Категория потребителей	2015 г.	2020 г.
Население	521,7	508,2
Промышленные потребители (на технологические нужды)	378,0	378,0
Коммунально-бытовые потребители	268,7	281,5
Все энергоисточники	29564	28404,4
Итого	30730	29572,1

Примечание. Приведенные перспективные объемы рассчитаны на основе действующих нормативных документов, в т.ч. с учетом средней нормативной температуры отопительного периода, которая существенно ниже фактической температуры отопительного периода последних лет. В данном случае они задают верхнюю границу оценки перспективного спроса на газ, а реальный объем потребления может быть меньше.

В связи с созданием территориальных энергокомплексов с мини-ТЭЦ и сокращением газораспределительных коммуникаций к отдельным потребителям необходимо увеличение пропускной способности как подводящих газопроводов, так и питающих сетей, а также производительности самих КРП. Для формирования резервных мощностей необходимо создание криогенных хранилищ сжиженного природного газа, обеспечивающих пиковый спрос на газ и электроэнергию.

1.3. Реализация программы энергосбережения в городе Москве

Как уже отмечалось, по уровню энергоемкости ВРП столичный регион в 2 раза превышает показатели других мегаполисов.

Это частично объясняется рядом объективных условий (холодный климат, большая территория и потери в протяженных коммуникациях, до недавнего времени производственная структура энергоемкой экономики). Но большая часть причин низкой энергоэффективности обусловлена внутренними структурными, производственно-хозяйственными, экономическими, технологическими и организационными недостатками в развитии и функционировании энергетического сектора мегаполиса.

Поэтому наряду с программами развития отдельных систем энергоснабжения и в текущем режиме и на перспективу особого внимания заслуживает Программа энергосбережения города Москвы, первый вариант которой был разработан и утвержден еще в 2001 году. Городская программа сыграла определенную роль в борьбе с энергорасточительством, что позволило к 2004 г. достичь экономии почти в 1 млн т у.т., а за период 2004-2010 гг. обеспечить экономию ТЭР в 16 млн т у.т.

На первых этапах реализации Программы основное внимание было уделено развитию систем учета потребляемых энергоресурсов и ликвидации потерь в подводящих сетях и у потребителя. Были проведены энергетические обследования более 500 предприятий, инвентаризация парка приборов и установка новых средств учета на 2000 объектах, создана единая *интегрированная автоматизационная информационная система мониторинга и управления энергоэффективностью* города Москвы (ИАИС ЭЭ).

На цели энергосбережения в соответствии с Городской программой за 2011-2014 гг. выделено 156 млрд руб., а эффект реализации программных мероприятий превысил эту величину практически в 2 раза. Только в 2013 г. сэкономлено 1 млрд кВт·ч электрической и 1,6 млн Гкал тепловой энергии; почти 1 млрд куб. м газа, 18 млн куб. м воды, что составляет примерно 10% общего объема потребления энергоносителей. На 1,3 млн т сократился выброс вредных веществ в атмосферу.

В то же время следует учесть, что присоединение к Москве новых территорий привело к увеличению энергетического спроса без заметного роста ВРП региона.

Поэтому государственная целевая программа «Энергосбережение в городе Москве» включает в себя задания и на период до 2020 года. Намечается реализовать до 44% имеющегося потенциала энергосбережения, в том числе на 18% снизить первоначально запланированный объем потребления электроэнергии, на 14% – тепла, на 11% – газа. В результате энергоемкость ВРП города Москвы снизится на 40% по сравнению с 2010 г., а выбросы вредных веществ в атмосферу практически не вырастут. Это сделает нашу столицу одним из наиболее чистых и энергоэффективных мегаполисов мира.

Энергосбережение, хотя и не является самоцелью, но крайне необходимо в связи с дальнейшим ростом энергопотребления и производства тепла и электроэнергии для повышения электровооруженности в промышленности, на транспорте и для повышения качества жизни населения мегаполиса.

Основной акцент в реализации Программы энергосбережения должен быть сделан на технологических инновациях во всех сферах производства, распределения и потребления конечных энергоносителей, на качестве энергетических услуг.

На объектах когенерации тепла и электрической энергии предусматривается повышение термодинамических параметров, в основном, через использование парогазового цикла. Для повышения эффективности электросетевого комплекса столицы предусматривается модернизация и полная замена выработавших свой ресурс трансформаторов 35-220 кВ, увеличение пропускной способности ЛЭП ВН, перевод на более высокий класс напряжения распределительной сети 20 кВ, внедрение устройств регулирования перетоков и ограничения токов короткого замыкания (КЗ).

Существенный эффект в «Новой Москве» с учетом присоединенных территорий предполагается достичь за счет структурной оптимизации энергоснабжения: сокращение радиуса действий централизованных источников энергии, широкое развитие территориальных энергокомплексов для энергоснабжения потребителей кластерного типа, внедрение распределенной генерации

для мелких потребителей, интеграция разрозненных систем электро-, тепло- и газоснабжения в единую «систему систем» (System of System – SoS) с ориентацией на обеспечение энергетических услуг наиболее качественными видами энергоносителей.

В перспективе существенный эффект энергосбережения будет достигнут за счет перехода от «розеточного» способа электроснабжения к питанию потребителя через аккумуляторы-накопители, развитие Micro-Grid и Smart Grid для сетевой интеграции производителей и потребителей в общую интеллектуальную энергоинформационную систему с возросшей ролью в управлении функционированием и развитием SoS «активного» потребителя.

Программы энергосбережения будут нацелены не на экономию как таковую, а на повышение эффективности энергоснабжения за счет оптимизации затрат на новое развитие энергетического хозяйства мегаполиса для удовлетворения растущего спроса и на модернизацию действующих систем. Модернизация – это не только замена устаревших объектов новыми, а и качественное технологическое обновление всего парка оборудования для повышения технологических, режимных характеристик, а также новая инфраструктура интеграции всех объектов в общую SoS с дополнительным системным эффектом надежности и управляемости всего энергетического комплекса мегаполиса.

1.4. Организационная структура управления топливно-энергетическим хозяйством города

Энергетика мегаполиса, с одной стороны, является прерогативой Правительства Москвы и его Департамента топливно-энергетического хозяйства; с другой стороны, является важнейшим объектом общего ТЭК страны, деятельность которого, помимо крупных бизнес-структур ОАО «Газпром» и ОАО «Федеральная сетевая компания», координируется федеральными органами государственной власти – Минэнерго России, ФАС, Федеральной службой по тарифам, Ростехнадзором и др.

Кроме того, соответствующие решения, принимаемые Департаментом топливно-энергетического хозяйства Правительства Москвы согласуются и координируются с федеральными организациями – ОАО «Системный оператор ЕЭС», НП «Совет рынка».

Практическая реализация управления топливно-энергетическим хозяйством города осуществляется ОАО «Мосэнерго», ОАО «МОЭК», ГУП «Мосгаз», влияющими в целом на общегородскую систему электро-, тепло- и газоснабжения мегаполиса, а также другими хозяйствующими субъектами, владеющими отдельными энергетическими источниками и объектами распределительных сетей.

Так, в области электроснабжения, помимо 11 ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» и ТЭЦ-22, 27, находящихся вне черты города, действуют 12 малых генерирующих компаний и 55 регулируемых территориальных электросетевых организаций.

В области теплоснабжения ОАО «МОЭК» эксплуатирует 222 энергоисточника, 43 квартальные тепловые станции (КТС) и 135 малых котельных, включая объекты, расположенные на присоединенной территории города Москвы – в Новомосковском и Троицком административных округах. На новых территориях действуют еще 8 самостоятельных электросетевых компаний.

В системе газоснабжения помимо ГУП «Мосгаз», осуществляющего поставки газа непосредственно потребителям города Москвы, действуют структуры «Газпромрегионгаза» и «Газпром-трансгаза», обеспечивающие поставки газа из ЕСГ в кольцевой газопровод, а также ГУП «Мособлгаз», поставляющих газ потребителям города Москвы от своих систем газораспределения. А лимиты на использование газа согласуются с ООО «Мосрегионгаз».

К бытовым компаниям относится ОАО «Мосэнергосбыт», являющийся гарантирующим поставщиком, работающим на территории города, и ООО «Энергосбытхолдинг».

Достаточно большое количество действующих хозяйственных структур – стейкхолдеров в системе комплексного энергоснабжения мегаполиса, несомненно, затрудняет организацию их взаимодействия с Департаментом топливно-энергетического хозяйства, являющимся центром ответственности в энергетической структуре мегаполиса.

Появление новых задач, связанных с энергоснабжением присоединенных территорий и появлением локальных (территориальных) энергокомплексов, а также с реализацией задач интеграции различных ведомственных и отраслевых задач электро-,

тепло- и газоснабжения и развитием многоуровневых систем интеллектуального управления (от «жилого дома» до района и мегаполиса в целом) требуют построения новой системы прямого управления энергетическими объектами и координации деятельности отдельных стейкхолдеров.

Функции оперативного хозяйственного и организационно-финансового управления, закрепляемые за отдельными стейкхолдерами, требуют разграничения функций и зон их ответственности за надежное и эффективное энергоснабжение потребителей. Особого внимания требуют вопросы согласованного инвестиционного развития энергетического хозяйства города как с точки зрения формирования новых энергокомплексов, так и развития общей энергетической структуры мегаполиса.

РАЗДЕЛ 2. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МЕГАПОЛИСА

2.1. Новые проблемы развития энергетики мегаполиса с учетом присоединенных территорий

Новая Москва с присоединенными территориями становится качественно новым объектом, к которому уже неприменимы традиционные схемы централизованного энергоснабжения. Хотя количественный прирост населения, а, следовательно, и потребления всех видов энергетических носителей при этом составил всего 2-4%, существенно изменилась концентрация и плотность нагрузок энергопотребления.

Если в старых границах города плотность населения составила 9600 человек на 1 кв. км, то на новых территориях эта плотность всего 160 человек на 1 кв. км, а в среднем по «Новой Москве» с учетом присоединенных территорий – 4700 человек на 1 кв. км. Ясно, что такая неравномерная плотность населения требует иного подхода к энергосбережению потребителей в старых границах и на присоединенных территориях.

Качественно нового подхода к развитию энергетики города требует изменение структуры экономики и социальной сферы.

Финансово-экономический кризис 2008 г. привел к тому, что промышленный сектор существенно снизил свое производство (-12% к докризисному объему) и составляет всего 16,5% в структуре ВРП, из которых 13% приходится на обрабатывающие сферы деятельности.

В то же время в Москве доминирует сфера торговли (38% ВРП), из которых почти 30% приходится на оптовую торговлю. Сюда входит и торговая инфраструктура (склады, перевалочная база, предпродажная подготовка товаров). Свыше 20% ВРП создается операциями с недвижимостью, услугами городского хозяйства, банковским сектором (рис. 2.1).

Появление значительного числа финансовых структур, информационных и инновационных технологических центров резко повышает требования к надежности их энергоснабжения, ибо даже малейшие сбои в энергопитании этих объектов чреваты многомиллиардными убытками.



Источник: Данные Департамента экономической политики и развития города Москвы за 2013 г.

Рис. 2.1. Структура ВРП города Москвы

Важное место в структуре ВРП имеет транспорт, накладывая свои особенности на формирование распределенной инфраструктуры «Новой Москвы».

Еще одной отличительной особенностью энергоснабжения Москвы является доминанта домашних хозяйств. Если в 2010 г. этот сектор потреблял 54% всей электроэнергии по городу Москве, то в 2013 г. его доля выросла до 57,6%. Структурные изменения электропотребления в г. Москве за период 2010-2013 гг. представлены на рис. 2.2.

В целом «Новая Москва» – *территория опережающего развития* (ТОР), центр финансового и государственного управления, инновационный производственный центр, центр высокого качества жизни.

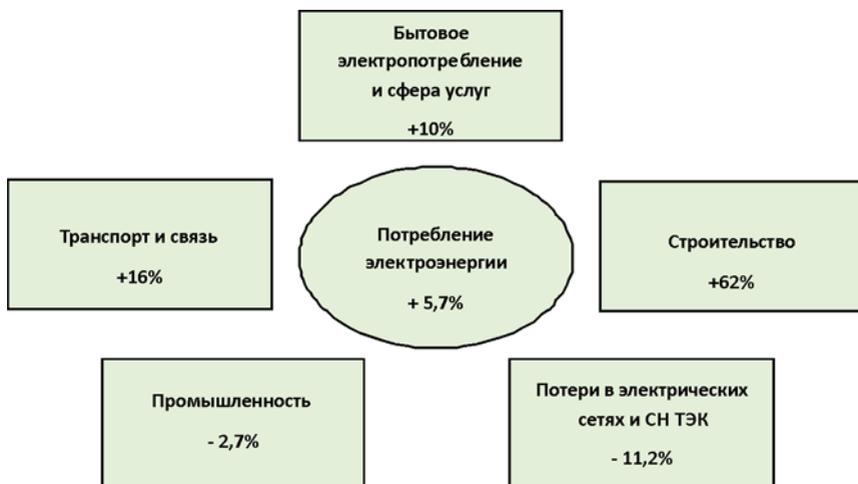
Поэтому требования к системе энергоснабжения мегаполиса определяются тремя главными условиями:

- обеспечение энергетической безопасности (достаточность энергетических мощностей, надежность систем энергоснабжения, экономическая доступность предоставления энергетических услуг);

- инфраструктурное стимулирование комплексного развития территории;
- расширение состава и повышение качества энергетических услуг, в первую очередь, населения города и присоединенных территорий.

Выполнение этих требований определяет необходимость не только качественного, а, главное, качественного пересмотра подходов к развитию систем энергоснабжения в мегаполисе – территории опережающего социального и инновационного развития.

Целью формирования такой системы является создание энергоэффективности мегаполиса – «Новой Москвы».



Источник: данные Росстата.

Рис. 2.2. Динамика изменения электропотребления города Москвы за 2010-2013 гг.

2.2. Ключевые задачи и показатели энергоэффективного мегаполиса

Энергоэффективность – достаточно емкое, комплексное и, к сожалению, неоднозначно воспринимаемое понятие. Применительно к какой-либо технологической установке энергоэффективность – это ее коэффициент полезного действия, т.е. отношение полезно совершаемой работы к общему расходу подведенной энергии (потенциала).

Для экономической системы (страны, региона) – под энергоэффективностью понимается отношение валового продукта (ВВП или ВРП) к суммарным затратам энергии (в физическом или стоимостном виде):

$$K_{\text{эф}} = \text{ВВП (ВРП)} / \text{Э}_{\text{затраты}}$$

Обратная величина характеризует энергоемкость экономики системы (произведенного валового продукта). Если в затратах учитывается только расход электрической энергии, то этот показатель отражает электроемкость ВВП (ВРП).

Как уже отмечалось, по объективным внешним причинам, а также в связи с недостаточно активной работой всех субъектов общей системы энергоснабжения, и энергоемкость и электроемкость экономики города, хотя и лучше большинства крупных городов России, но существенно (в 2-3 раза) превышает показатели других столиц.

Следует также учитывать, что показатели энергоемкости лишь обезличенно характеризуют макроэкономическую эффективность, а с точки зрения социальной эффективности необходимо использование новых показателей, характеризующих влияние структуры и уровня электропотребления (электрооборуженности труда и быта) на качество жизни населения.

Достаточно сказать, что у многих развивающихся стран удельная энергоемкость ВВП (ВРП) ниже (т.е. по этому показателю энергоэффективность выше, чем, например, у США), в т.ч. у Кубы – в 2 раза, Турции – в 1,7 раза, Индии – в 1,3 раза. Однако из этого не следует, что социальная энергоэффективность в этих странах лучше. Поэтому необходимо проводить сравнение уровня энергоэффективности не по показателям энергоемкости ВРП, а по удельному использованию энергии на тот или иной социаль-

но значимый индикатор. Например, по электрооснащению быта, расходу энергии на транспорт, в социальной сфере (сфере образования, культуры, здравоохранения, на городских территориях).

Несмотря на отсутствие детально проработанной системы таких показателей, применительно к особенностям города Москвы как мегаполиса высокого качества жизни населения и уровня социальной ориентированности энергетической инфраструктуры, можно сформулировать ряд задач социальной энергоэффективности и индикаторов их решения:

1. Уровень душевого электропотребления по городу в целом и, особенно, по группе домашних хозяйств и сферы услуг.

Этот уровень составляет по Москве 57% от общего объема электропотребления 55 млрд кВт·ч и душевого электропотребления 4,6 тыс. кВт·ч, в т.ч. в сфере услуг и домашних хозяйств 2,6 тыс. кВт·ч.

Непосредственно в сфере домашнего хозяйства душевое электропотребление значительно ниже и составляет всего 1,1 тыс. кВт·ч. Хотя по этому показателю город Москва занимает 5-е место среди субъектов РФ, но в 1,7 раза отстает от других столиц мира – Нью-Йорка, Токио и Торонто.

2. Уровень оснащенности домашних хозяйств электробытовыми приборами, электрическими плитами и электроустановками, обеспечивающими комфорт в жилищах (электроотопление, кондиционирование, системы климат-контроля).

За последние годы этот уровень значительно вырос. Так, в 2000 г. в быту населения города Москвы (в среднем) использовалось не более 30 видов электроустановок, тогда как в Японии и США применялось более 200 разновидностей установок. В 2013 г. Москва по ассортименту электробытовых приборов уступала другим столицам мира не более чем в 1,3÷1,5 раза.

В то же время во многих северных столицах (Торонто, Стокгольм, Осло) уровень оснащенности жилищ сплит-системами в 3-4 раза превышает показатели города Москвы. А с учетом присоединенных территорий эта разница становится еще больше.

Среди индикаторов социальной эффективности энергоснабжения значимы показатели удельного веса жилой площади, обеспеченной электроэнергией, горячим водоснабжением и центральным отоплением, напольными электроплитами.

В этом вопросе ситуация в Москве существенно отличается от других городов мира. Центральным отоплением и горячим водоснабжением от централизованных теплоисточников оборудовано свыше 98% всего жилого фонда «старой» Москвы и 95% жилья в «Новой Москве». А напольными электроплитами обеспечено 70% жилого фонда столицы. В большинстве же мировых столиц внешними источниками обеспечено электроснабжение жилого фонда, а теплообеспечение решается за счет индивидуальных газокотельных установок, а газовыми плитами для пищеприготовления оборудовано до 50% жилого фонда. Причем последний показатель сильно дифференцирован в зависимости от развитости систем газоснабжения.

Так, в Скандинавии соотношение газовых и электрических плит в домах составляет 0,1:0,9, тогда как в США и Канаде – в малых городах оно 0,7:0,3, а в мегаполисах 0,2:0,8.

В целом же по Москве также отчетливо просматривается курс на снижение доли газа непосредственно в жилом фонде за счет роста уровня электропотребления, с помощью которого решаются и задачи пищеприготовления и комфортного обустройства квартир, а в будущем и электроотопления в зданиях с высокой плотностью населения.

3. Требования надежности и безопасности энергоснабжения становятся одними из главных в вопросах социальной энергоэффективности. Проведенные в ряде районов города Москвы социологические опросы населения показали, что именно вопросы качества энергетического обслуживания, в т.ч. надежность и бесперебойность энергоснабжения, являются наиболее значимыми в предпочтениях граждан.

Перерывы в электроосвещении, аварийность лифтового хозяйства, сбои в работе метро, водоснабжения и теплоснабжения уходят в прошлое, но тем более даже эпизодические случаи воспринимаются населением как чрезвычайно опасные ситуации.

В будущем развитие информационных центров с высокими требованиями по надежности электропитания делают эту проблему высокозначимой, ибо нарушения в системе обработки данных приводят к дезорганизации государственного и финансового управления, к огромному экономическому ущербу для

всего народного хозяйства города, являющегося к тому же столицей и управляющим центром всей страны.

Бесперебойность электроснабжения в городе Москве обусловлена не только низкой аварийностью генерирующего и сетевого оборудования, а, главным образом, схемным резервированием, позволяющим оперативно подключать потребителя к общей системе при локальных авариях.

В силу высокой монополизации газоснабжения всех энергетических источников схема кольцевания и дублирования обеспечивает необходимый уровень надежности. В то же время участвовавшие случаи аварий в газовых домовых и распределительных сетях свидетельствуют о необходимости пересмотра ранее принятых норм по схемам газоснабжения потребителей и, возможно, сокращения непосредственно использования газа в жилом комплексе мегаполиса при сохранении бытового газообеспечения жилья в малоэтажном секторе «Новой Москвы».

Повышение требований к надежности и бесперебойности теплоснабжения и горячего водоснабжения вынуждают ориентироваться на использование электроконверторов в качестве временного резерва в жилом секторе и, особенно, в общественных зданиях.

Такие социально значимые требования к энергоэффективности как универсальность электрической энергии, с помощью которой в качестве конечного энергоносителя можно решать задачи и теплоснабжения, и частично газоснабжения, а также удобство регулирования и управления и значительное повышение экологической безопасности жилья делает развитие электроснабжения мегаполиса весьма перспективным направлением.

4. Повышение электровооруженности быта (увеличение душевого электропотребления в жилом секторе), а также в сфере услуг, на транспорте, в социальной сфере города является стратегически важным направлением формирования нового энергетического облика Москвы, ориентированного на первоочередные приоритеты человека.

Разумеется, важен не только количественный рост электрификации, а повышение качества энергетических услуг населению. При этом качество этих услуг достигается не только расширением спектра новых возможностей за счет широкого примене-

ния электричества, но и активным участием самого потребителя в функционировании и развитии системы электроснабжения, включая использование автономных источников, в т.ч. ВИЭ, бытовых накопителей и интеллектуальных электрических систем (Smart Grid).

5. За счет повышения управляемости электроснабжения с участием всего населения и каждого индивидуального гражданина может быть получено новое более высокое качество эффективного энергоснабжения, несмотря на то, что это потребует от населения дополнительных затрат на развитие новой энергосистемы.

Так, к 2030 г. доля затрат на электроснабжение в общем объеме расхода на энергообеспечение вырастет с 17% до 25%, тогда как доля расходов на теплоснабжение снизится с 49% до 40%. При этом за счет снижения потерь в тепловых сетях, а, главное, повышения качества предоставляемых энергетических услуг затраты на энергоснабжение, несмотря на рост тарифов на электроэнергию (на уровне общей инфляции), в долевом отношении по отношению к общим расходам семейного бюджета граждан, не должны превышать 8-10%.

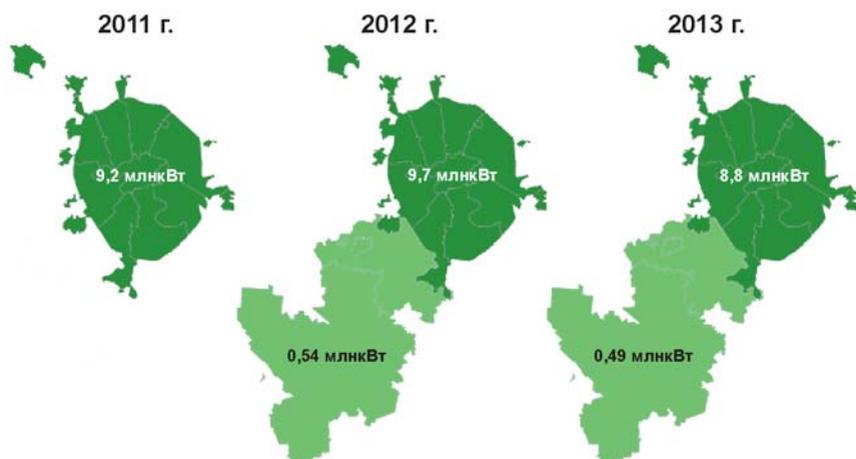
2.3. На пути к «электрическому миру» энергопотребления

Итак, ключевой задачей и главным направлением формирования энергоэффективного мегаполиса является глубокая электрификация социальной и производственной сферы города Москвы. С учетом новой структуры территориального и функционального развития мегаполиса сфера электроснабжения потребителей мегаполиса претерпевает качественные изменения.

Так, динамика изменения электрической нагрузки города Москвы за последние годы представлена на рис. 2.3.

Значение фактической электрической нагрузки в 2013 г. снизилось по сравнению с предыдущим периодом за счет сокращения промышленной нагрузки, активного технологического энергосбережения и более теплой зимы. В то же время основной массив промышленного электропотребления в городе Москве связан с доминированием обрабатывающих производств (машиностроения и текстильно-швейного производства, сельскохозяйственной переработки и производства пищевых продуктов,

целлюлозно-бумажного и резино-полимерного производств). Отличительной особенностью этих производств является переменный график нагрузки со сниженным до 2500-4000 числом часов использования максимума нагрузки.



Источник: Данные ДепТЭХа.

Рис. 2.3. Динамика изменения электрической нагрузки города Москвы

Эта неравномерность графика требует принятия новых мер регулирования за счет широкого использования аккумулирующих систем как традиционных ГАЭС или специальных режимов на ТЭЦ, так и разработки и массового внедрения локальных и системных накопителей электрической энергии.

Потребуется также активное участие самих потребителей-регуляторов для собственного выравнивания графика и покрытия пиковых нагрузок других предприятий.

С учетом высокой доли сферы услуг в структуре суммарного электропотребления их роль в регулировании графика общей нагрузки может быть существенно увеличена за счет ухода из зоны максимума нагрузки и изменения режима работы оборудования.

Структура «электрического мира» производственных потребителей меняется и качественно, формируя не только повышенные требования к системе их внешнего электроснабжения, но и

стимулируя создание как резервного, так и базового их электропитания.

Так, в Москве к числу приоритетных направлений относится создание центров инновационного развития, наукоградов, бизнес-центров обработки данных и информационных технологий, биохимических производств. Для этих центров характерны как непрерывный режим работы, требующий бесперебойного питания, так и высокое качество энергии. Поэтому для них важно не просто подключение к источникам электроэнергии, а создание собственных систем бесперебойного питания и особых фильтров для устранения гармоник, инициируемых другими электропотребителями внешней сети (транспортными, преобразовательными и др. установками).

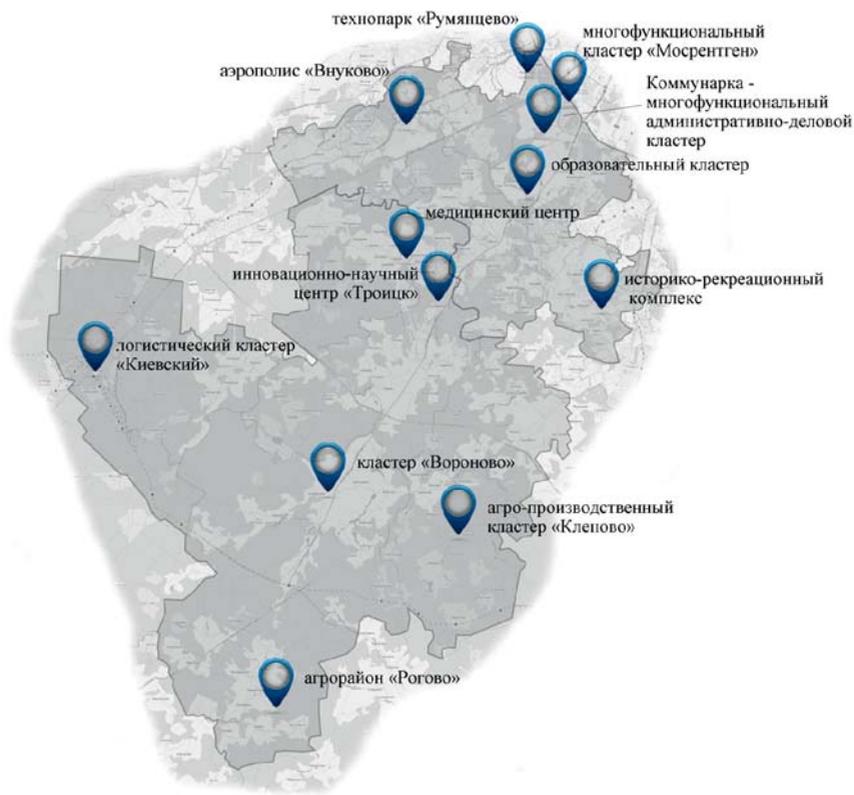
Помимо наукоградов (Зеленоград, Троицк, Сколково) и других инновационных центров «нового электрического мира» в «Новой Москве» формируется 12 социально-деловых кластеров (точек роста), являющихся центрами нового развития территорий (рис. 2.4).

Их энергоснабжение зависит не только от характера местной нагрузки (а она чрезвычайно разнообразна – от агропроизводственного кластера «Кленово» до логистического кластера «Киевский», от медицинского кластера «Вороново» до историко-рекреационных центров), но и от развития транспортной инфраструктуры – близости автомагистралей и пригородного электрического транспорта.

По сути дела, кластерный подход к освоению новых территорий требует единого формирования транспортно-энергетической инфраструктуры «Новой Москвы».

В немалой степени это касается развития электрифицированного транспорта (железных дорог, метро, троллейбусных сообщений, электроавтобусов и электромобилей).

Москва, в частности, может и должна стать пионером российской электрической автомобилизации. За последние 3-4 года в мире наблюдается качественный скачок в производстве и использовании электромобилей. Так, в Норвегии в 2014 г. уже 14% всего объема продаж легкового транспорта приходилось на электромобили. Быстрый прогресс в повышении зарядной энергоемкости литиевых аккумуляторов позволяет утверждать, что уже к 2030 г. до



Источник: ИЭС, по данным ЭТС-проекта.

Рис. 2.4. Кластеры формирования экономического потенциала на территории ТуНАО

половины выпуска всех автомобилей в индустриально развитых странах мира будет приходиться на электромобили. Еще большие темпы электрификации будут наблюдаться в развитии городского общественного транспорта. Здесь нет ограничений, связанных с дальностью проезда, достаточно интенсивно развивается сеть электрозарядных станций, в т.ч. и в Москве.

Особое значение для Москвы с учетом присоединенных территорий могут иметь электробусы-троллейбусы с аккумуляторами без питающих троллеев. Наряду с развитием метро и пригородных электричек такие электробусы, курсирующие от

пересадочных станций железнодорожного транспорта до поселений городского типа на новых территориях, сформируют единую сеть электрифицированного транспорта как особый вид нового «электрического мира» потребителей.

Преимущества такого транспорта – экологическая чистота, отсутствие контактной сети в виде загораживающих небо троллеев, неоспоримое удобство управления и снижение эксплуатационных издержек (при некотором временном удорожании на начальном этапе стоимости легковых электромобилей). Но общественный электротранспорт не будет иметь и этих ограничений, поэтому уже в ближайшие годы необходимо принять программу развития в Московском мегаполисе единой транспортно-энергетической сети.

Что касается бытового развития «нового электрического мира» потребителей, то выше были обозначены основные направления глубокой электрификации жилого сектора – развитие электротеплоснабжения и климат-контроля, новых систем электроосвещения, развития широкого спектра электробытовых приборов. «Тонкая» электрификация придет и в социальную сферу – в медицину и образование, объекты культуры и развлечений, информационные центры. Отличительной особенностью электрификации потребителей этой сферы является не силовая, а высокоорганизованная энергетика в сочетании с широким использованием энергоинформационных технологий.

Бытовой электрический сектор все больше будет отказываться от «розеточной» технологии – внешнего сетевого электроснабжения и переходить на активное использование аккумуляторов, питающих бытовые электроприборы. Это позволит использовать в быту широкую гамму приборов постоянного тока, обладающих существенно меньшими габаритами и большими возможностями. Уже сегодня эти приборы широко используются в быту, запитываясь от аккумуляторных батарей, либо от специальных зарядных устройств.

Наличие общедомовых (общеквартирных) аккумуляторов позволит отказаться от множества зарядных устройств для каждого из бытовых приборов и существенно снизить потери на трансформацию и преобразование энергии.

«Новый электрический мир» – это количественный и качественный рост электро- и информационной вооруженности труда и быта. Формирование этого «мира» требует принципиально иного подхода – создание интеллектуальных энергоинформационных систем (Smart Grid) с активным участием самого потребителя.

2.4. Новая структура энергоснабжения эффективного мегаполиса

Принципиально новый аспект будущего развития энергетики мегаполиса – это повышение роли самого потребителя в системе функционирования и развития энергоисточников и распределительных систем энергоснабжения.

Потребителя в гораздо меньшей степени интересуют отдельные системы собственного электро-, тепло- и газоснабжения. Он заинтересован в надежном и качественном получении широкого спектра конечных энергетических услуг, обеспечивающих его среду обитания комфортными условиями проживания и деятельности. И этот спектр услуг должен преимущественно базироваться на электрической энергии как наиболее универсальном, удобном и управляемом энергоносителе.

Поэтому одной из задач совершенствования всей структуры энергоснабжения – это интеграция отдельных систем электро-, тепло- и газоснабжения, а также системы водоснабжения, утилизации отходов и других инфраструктурных систем, включая систему транспортных коммуникаций, в единую интегрированную метасистему («систему систем» – System of System – SoS), ориентированную на новые (количественные и качественные) интересы потребителей.

Принципиальным отличием методологии «системы систем» применительно к задачам интеграции различных систем энергоснабжения города является ориентация на конечный результат – наиболее выгодное с точки зрения потребителя обеспечение энергетической безопасности и энергоэффективности поставок энергии в количественном и качественном отношении. При этом большая часть энергетических услуг предоставляется в виде электрической энергии, замещаая в виде резерва или на постоянной основе поставки тепла и газа.

Конкуренция владельцев отдельных систем энергопоставок заменяется их согласованным поведением в интересах потребителя.

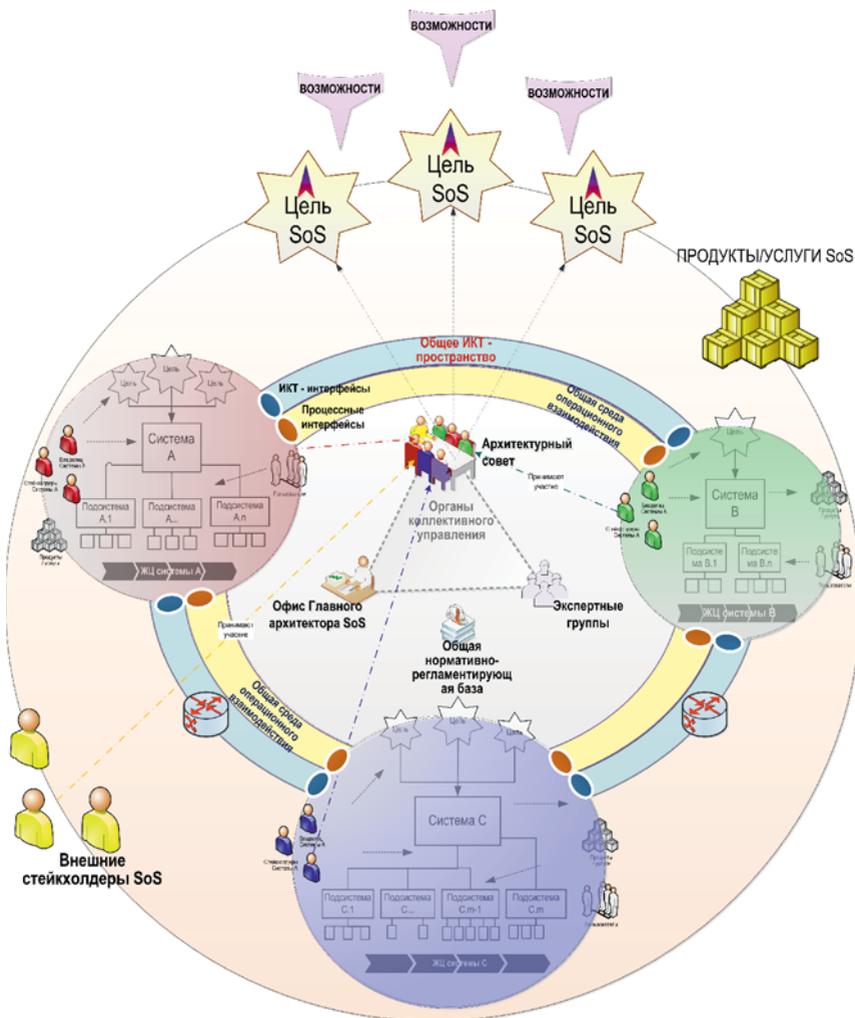
При этом интересы отдельных стейкхолдеров интегрированной системы могут и не совпадать друг с другом, но они согласуются общим координатором SoS – Департаментом топливно-энергетического хозяйства города Москвы исходя из решения общей задачи энергоэффективного энергоснабжения – максимизации удобств у потребителя при минимизации затрат на достижение конечного результата.

При этом объединение независимых систем (А, В и С) в SoS осуществляется согласно общей схеме, приведенной на рис. 2.5.

Аналогичная схема интеграции SoS характерна и для объединения централизованных и децентрализованных систем энергоснабжения Московского мегаполиса с учетом присоединенных территорий. Так, на рис. 2.6 для города Москвы с учетом присоединенных территорий показана зона действия источников теплоснабжения, принадлежащих ОАО «Мосэнерго», ОАО «МОЭК» и ведомственных котельных. Наглядно видно, что большая часть территории «Новой Москвы» не подпадает под действие централизованных источников теплоснабжения с ограниченным радиусом действия (рис. 2.7). Эти источники и соответствующая инфраструктура теплоснабжения, в основном, действуют и будут действовать в границах «старой» Москвы и непосредственно прилегающих территорий.

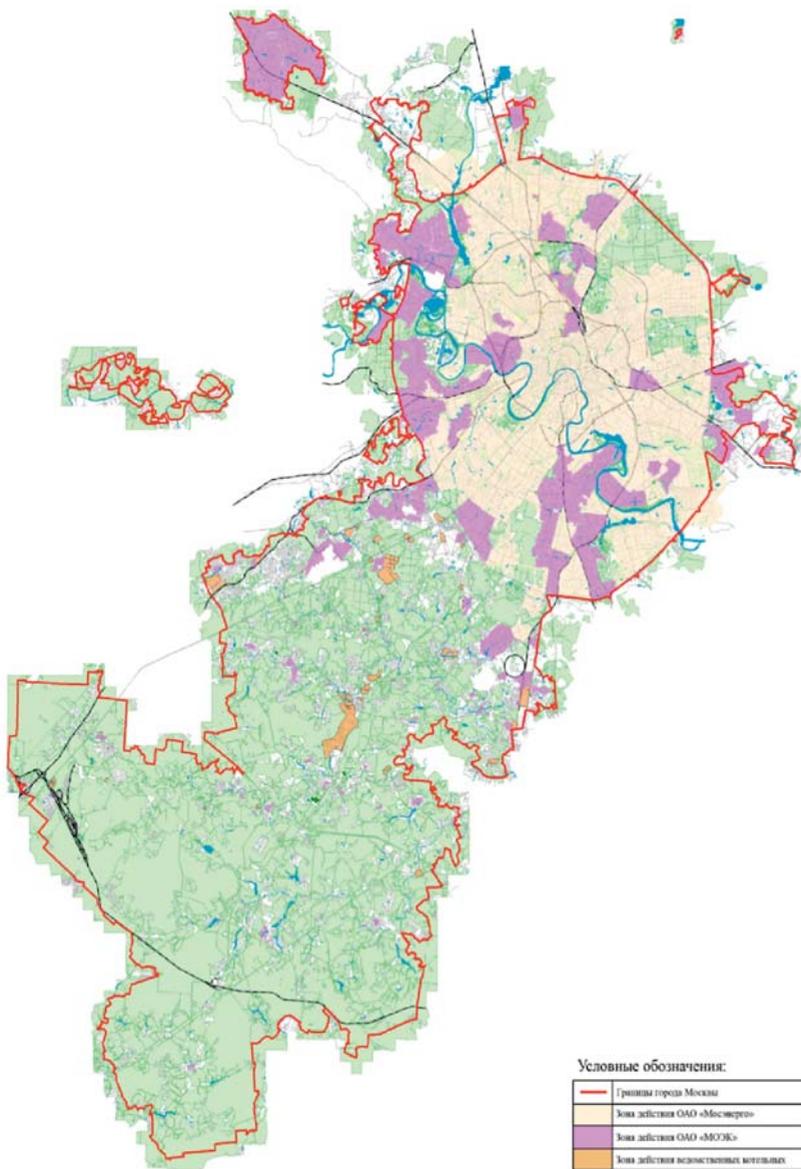
В то же время на большей части ТиНАО города Москвы необходимо развитие децентрализованных систем энергоснабжения. Эти системы должны обеспечивать не отдельно энерго- и теплоснабжение новых потребителей, а формироваться на основе энергетических комплексов с когенерационными установками, расположенными вблизи новых нагрузочных узлов.

Эти же энергетические комплексы предназначены и для обеспечения присоединенных территорий необходимой электрической мощностью, создавая эффект распределенной генерации (рис. 2.8).



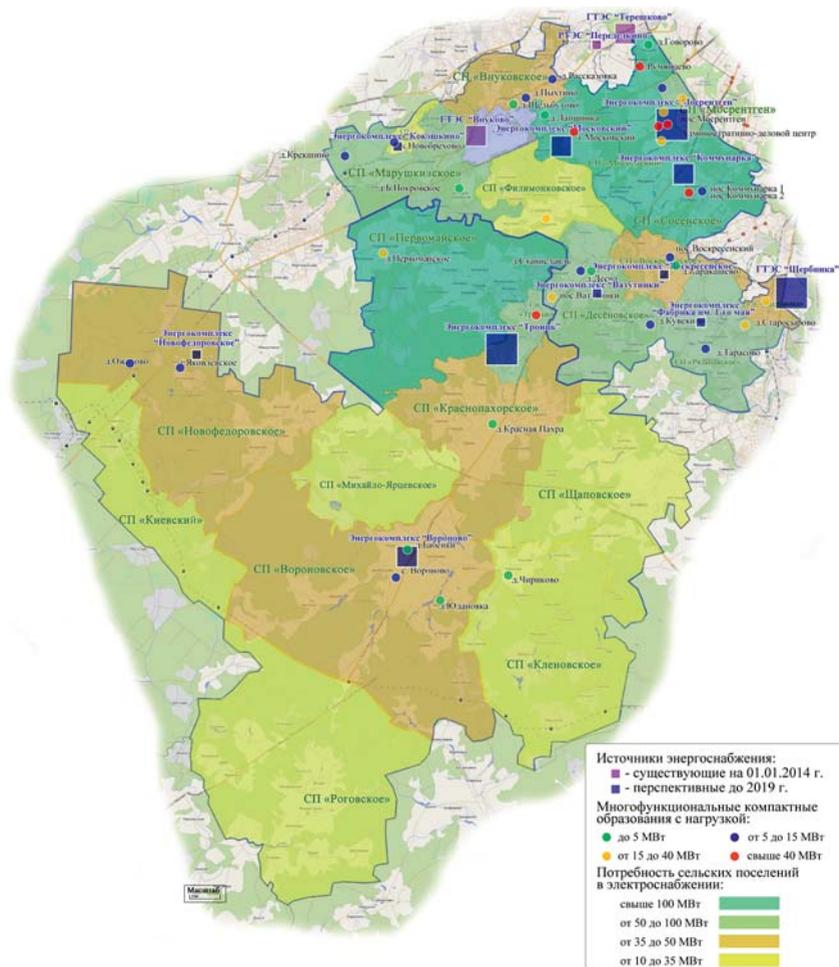
Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 2.5. Объединение независимых систем в SoS



Источник: Схема теплоснабжения г. Москвы до 2025 г.

Рис. 2.6. Расположение зон действия источников теплоснабжения, принадлежащих ОАО «Мосэнерго», ОАО «МОЭК» и ведомственных котельных



Источник: ЭТС - проект на основе данных программы развития электроэнергетики г. Москвы до 2020 г.

Рис. 2.8. Возможные новые источники генерации

Интеграция источников электро- и теплопроизводства вблизи узлов потребления тех и других энергоносителей формирует иную децентрализованную SoS с соответствующим инфраструктурным их развитием.

При этом сокращается общая длина теплотрасс, снижаются потери в питающих линиях электропередачи, повышается уровень энергетической безопасности и надежности SoS.

Развитие распределенной генерации предусматривает и изменение схемы газоснабжения новых энергетических комплексов. Так, из почти 300 населенных пунктов ТиНАО к 2020 г. планируется полностью газифицировать 235 поселений, причем большая часть поставок газа (почти 50%) предназначена для объектов энергетики (980 млн куб. м – рост в 2,6 раза) при поставках 700 млн куб. м (рост в 2,4 раза) для жилого сектора и 400 млн куб. м (рост на 30%) – для промышленности и коммунально-бытовых потребителей. Для этого планируется реконструкция существующих ГРС и газораспределительных сетей с увеличением их производительности и пропускной способности.

Централизованное и децентрализованное энергоснабжение потребителей не есть альтернативные варианты развития энергетики мегаполиса. Как показано на рис. 2.6 и 2.8, зоны той или иной схемы энергоснабжения существенно зависят от концентрации электрических и тепловых нагрузок на территории «Большой Москвы».

При этом теоретически при выборе той или иной схемы может быть использовано правило «золотой пропорции».

Там, где концентрация нагрузки в радиусе действия централизованных источников (ТЭЦ), как показано на рис. 2.7, высока настолько, что обеспечивается в основном действием этих ТЭЦ, преимущественно развиваются централизованные системы в пропорции 0,68:0,32. Хотя и в этих районах до 1/3 покрытия нагрузки, в основном, тепловой, обеспечивается распределенной генерацией.

На новых территориях, где концентрация нагрузки невысока, преимущественно будет развиваться децентрализованное энергоснабжение в той же пропорции – 0,68:0,32; где 1/3 электрической нагрузки обеспечивается за счет внешних питающих линий, а 2/3 – за счет распределенной когенерации местных энергетических комплексов.

Локальные системы с распределенной генерацией и централизованные системы энергоснабжения от крупных ТЭЦ и от центров внешнего питания (из ОЭС Центра) требуют не просто различного обустройства инфраструктурных связей, а управления их развитием и функционированием с использованием интеллектуальной системы как производства, так и распределения и потребления различных энергоносителей (принципа Smart Grid) в общей интегрированной SoS – энергетической системы мегаполиса.

РАЗДЕЛ 3. SMART GRID КАК ИННОВАЦИОННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКОЙ МЕГАПОЛИСА

3.1. Smart Grid как инфраструктура «умного» города – Smart City

От развития энергетического сектора зависит не только надежность и безопасность энергоснабжения мегаполиса, но и социальная эффективность – качество жизни населения города.

В свою очередь, присоединенные территории «Новой Москвы» должны стать важным шагом на пути превращения нашей столицы в зеленый, благоприятный для жизни мегаполис. Это требует массового развития и внедрения новых организационных и высокотехнологичных решений, обеспечивающих качество жизни населения, социально ориентированное развитие экономики и требования функций столичного статуса города.

Столичная среда обитания для всех субъектов – граждан города, социальной сферы, инновационного технологического и финансового бизнеса, государственных структур должна обладать качествами «умного» города, сочетающего интересы человека и общества.

Концепция «умного» города (Smart City) – это развитие социально ориентированной инфраструктуры, включая «умное» энергоснабжение (интеллектуальную сетевую систему Smart Grid), «умную» среду, «умный» транспорт, «умный» дом, «умное» управление.

Принципы «умного» города (Smart City):

1. Дома, кварталы и районы как градостроительные и энергетические уровни-единицы.
2. Автономность уровней города.
3. Социальная, деловая и культурная самодостаточность города.
4. Разработка по стандартам экологичного строительства.
5. Использование новейших информационных и коммуникационных технологий.
6. Внедрение инновационных технологий энергетики (ключевое? – энергоэффективность), транспорта и строительства.

Инфраструктурное устройство Smart City: связь отдельных секторов посредством информационно-коммуникационных технологий осуществляется по принципу «системы систем» (рис. 3.1), реализуя соответствие механизма комплексного управления SoS.



Связь отдельных секторов посредством информационно-коммуникационных технологий по принципу «системы систем»

Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.1. Требования Smart City к инфраструктурным системам коллективного пользования

Характерной особенностью «умных» систем является то, что их «интеллектуальность» обеспечивается разнообразием используемых вариантов инфраструктуры, обеспечивающих управляемую адаптацию структуры к изменению внешних условий, активным развитием ИКТ-систем и наличием человека как субъекта и объекта функционирования и развития социально ориентированной метасистемы (SoS). Эта триединая SoS (инфраструктурная, информационная, интеллектуальная) является каркасом «умного» мегаполиса, а энергетика как система не только жизнеобеспечения, но и жизнедеятельности города как «живого» организма, должна развиваться как 3«И»-метасистема.

По сути дела, речь идет об «энергетическом интернете», в котором каждый субъект (потребитель) не только выбирает необходимую ему информацию, но и принимает то или иное решение по собственному или коллективному энергообеспечению с учетом интересов и других членов общества и всей социоприродной среды.

Smart Grid как часть общей модели Smart City не просто объединяет в единый интеллектуальный комплекс материальные инфраструктурные объекты (систему энергоснабжения, транспорт, коммуникации) и верхний уровень – информационные интернет-потоки, а формирует энергоинформационную «систему систем» как единую эргатическую (человеко-машинную) метасистему.

Поэтому в системе Smart Grid нельзя рассматривать отдельно физический уровень энергоснабжения и отдельно – систему автоматического управления как надстройку над физическими объектами. Это единая SoS, интегрирующая отдельные инфраструктурные подсистемы как по видам используемой энергии, так и по степени их локализации и централизации. Но главное – в них осуществляется мультиагентное (самостоятельное) управление отдельными объектами при координации этих действий на уровне согласования общих целей, стратегических планов и оценки рисков принимаемых решений.

Единая энергоинформационная система Smart Grid (рис. 3.2) обеспечивает компромиссное решение в интересах всех субъектов, участвующих в общей системе жизнеобеспечения и жизнедеятельности мегаполиса. В основу мультиагентного управления отдельными блоками и системами группового управления энергоснабжением в системе Smart Grid закладывается принцип автономии и сетецентрического объединения как физических объектов, так и их информационных моделей.

3.2. *Международный опыт создания Smart Grid мегаполисов*

Системы Smart Grid активно разрабатываются в мировой практике для электроснабжения локальных объектов и территорий. Их внедрение было вызвано необходимостью согласовать условия и режимы распределенной генерации, преимущественно с помощью ВИЭ, в общей электросетевой структуре. Децентрализованные системы не являются автономными, а их подключение к общей электросетевой структуре требует достаточно развитой информационной и управляющей сети, построенной по методологии «интеллектуальной» Smart Grid.

Применительно к схеме энергоснабжения города Москвы с учетом присоединенных территорий проблема использования Smart Grid становится актуальной как с точки зрения развития децентрализованных систем и их интеграции в общую инфраструктурную SoS, так и с точки зрения повышения социальной эффективности энергосбережения.

Возрастающая роль самого человека в создании «энергетического интернета» требует развития новой информационной техники и интеллектуальных алгоритмов сетецентрического управления. Сетецентрическое управление – это мультиагентное управление отдельными (локальными) объектами при координации их функционирования с помощью сетевой энергоинформационной инфраструктуры. Централизуются при этом не сами управляющие воздействия, а лишь общий замысел управления и оценки рисков принимаемых решений.

Наличие единой целевой сетецентрической архитектуры является отличительным свойством большинства зарубежных проектов Smart City и Smart Grid крупных городов мира.

Так, близкими к Москве по географическим, климатическим и социально-экономическим условиям являются масштабные проекты городов Стокгольм (Швеция), Амстердам (Голландия) и Йокогама (Япония).

В большинстве этих проектов акцент сделан на развитие «зеленой» энергетики с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), пассивных (с нулевым электропотреблением) домов, использование мусоросжигания, развитие систем электроосвещения, электромобилей и энергосбережения.

Пригородный район Стокгольма – Хаммарбю Шёстад предполагается сделать инновационным «городом будущего» – с полным обновлением бывшей индустриальной зоны с целью создания «зеленого города» в мегаполисе.

Концепция нового градостроительного проекта ориентирована на создание районной системы отопления и охлаждения воздуха с помощью электроустановок, использование солнечных панелей на крышах «пассивных» домов для местного электротеплоснабжения, сокращения количества автомобилей с их заменой на велосипедное сообщение и электротранспорт.

Мегaproект «Интеллектуальный город Амстердам» также сориентирован на создание «зеленой» энергетической компании (Smart energy City). Предполагается, что уже к 2025 г. до 30% энергии (в 2012 г. – 6%), потребляемой городом, будет поступать от экологически рациональных источников энергии. Свыше 10 млн кв. м площади крыш будут оборудованы солнечными панелями, а офисные здания бизнес-парка Zuidas будут оборудованы автономными топливно-энергетическими элементами.

Аэрогород станет обособленной частью Амстердама, в том числе с собственным энергетическим комплексом и развитой интеллектуальной сетью, интегрирующей транспортную, социальную и энергетическую инфраструктуру района.

Район «Старый юг», считавшийся одним из самых грязных и бедных районов Амстердама, перестраивается: на месте прежних заводов и трущоб строится новый «город в городе» с инновационными бизнес-центрами, офисными апартаментами и жильем бизнес-класса. Это также требует реконструкции местной системы энергоснабжения с переходом преимущественно на электро-снабжение, осуществляемое как по внешним кабелям, так и за счет собственных энергоустановок.

Один из наиболее масштабных проектов энергоэффективного Smart City является реконструкция системы энергоснабжения *мегаполиса Иокогама*. В проект (см. рис. 3.2) включены различные системы управления энергетикой домашних хозяйств (HEMS), энергетикой зданий (BEMS), энергетикой общины-района (CEMS), а также система диспетчерского управления и сбора данных (SCADA).

Отличительной особенностью иокогамской модели Smart Grid является широкое использование накопителей как проме-

жуточного звена между потребителями и электросетевым питанием города от автономных и внешних источников. Реализация этой системы предполагается за счет средств электротехнических компаний, поставляющих оборудование, в т.ч. системы управления, на энергетические объекты. Городские власти гарантируют компаниям широкое внедрение системы Smart Grid при положительном опыте эксплуатации пилотных проектов.

Инновационное развитие энергетики в городах мира идет по пути развития электромобильного транспорта, топливных элементов для автономного энергоснабжения, перехода от «розеточной» технологии к использованию сетевых и системных аккумуляторов. И все эти инновации входят в структуру современных Smart Grid мегаполисов.

Достаточно сказать, что за последние 3 года в США было продано 300 тыс., а в Китае и Японии – по 100 тыс. электромобилей, причем большая часть продаж приходится на 2015 год. Причем половина объема продаж приходится на «чистые» электромобили, а другая половина – на «гибриды». Этому способствует 4-кратное снижение стоимости литий-ионных батарей (с 1200 долл. за 1 кВт·ч в 2009 г. до 300 долл. в 2015 г.) с дальнейшим снижением до 80 долл. за 1 кВт·ч к 2020 году. За счет этого общая стоимость Nissan Leaf сократится с 35 тыс. долл. до 15 тыс. долл., а общее количество проданных электромобилей возрастет к 2020 г. до 17 млн штук.

В Москве по инициативе МОЭСК активно развивается инфраструктура (зарядная сеть) для электромобилей, что позволяет рассчитывать на достаточно быстрый рост их числа, в первую очередь, общественного электротранспорта.

Прогресс в развитии литий-ионных аккумуляторов стимулирует их широкое применение в качестве бытовых и сетевых накопителей энергии.

В мире активно растет производство и использование *топливных элементов* (ТЭ) для автономного энергоснабжения, особенно в стационарном исполнении. Их КПД в 3,5 раза выше, чем у ДВС и в 2 раза выше, чем у лучших ГТУ.

Поэтому производство ТЭ в мире за 5 лет выросло с 7 до 35 тыс. шт., а их мощность – с 60 до 170 МВт.

В Москве подобные ТЭ предполагаются к активному использованию в качестве резервных источников питания для наиболее

ответственных потребителей (в больницах, бизнес-центрах, банковских структурах и т.п.). Возможно, они найдут применение и для энергоснабжения отдельных объектов в зонах децентрализованного энергоснабжения.

Все инновационные решения приводят к необходимости пересмотра инфраструктуры городского энергетического хозяйства. В мире эта работа сопровождается активным развитием Smart Grid-систем. Расходы на внедрение интеллектуальных сетей достигли 20 млрд долл., в т.ч. в странах ЕС – 27-25%, в США – 16%, Китае – 12% и других странах АТР – 30%.

Предполагается, что развитие технологий Smart Grid, помимо всего прочего, позволит снизить потребности энергодефицитных регионов в ТЭР.

В Москве такая работа началась с разработки в 2014 г. Концепции энергоэффективного мегаполиса Smart City – «Новой Москвы», выполненной по заданию Департамента топливно-энергетического хозяйства города Москвы силами ЗАО «ГУ Институт энергетической стратегии» с привлечением широкого круга специалистов других организаций.

В этой Концепции широко использован мировой опыт создания Smart Grid-систем как инфраструктурной основы Smart City.

При этом особое внимание уделено территориальной иерархии модели Smart City с учетом новой схемы инфраструктурного развития мегаполиса с присоединенными территориями.

3.3. Территориально-инфраструктурная модель энергетического хозяйства мегаполиса

Схема территориального развития «Новой Москвы» содержит основные проектные предложения, определяющие объемы и места общественной и жилой застройки, развития производственного сектора на присоединенных территориях и его трансформации в границах «старого» города, а также развития транспортной, инженерной, энергетической и социальной инфраструктуры.

Одним из качественно новых принципов организации развития присоединенных территорий является кластерный подход (см. рис. 2.4), интегрирующий социально-производственную и инфраструктурную интеграцию поселений.

Развитие кластерного принципа формирования территориально-производственного развития экономики предполагает и соответствующее развитие систем их энергоснабжения. Ранее подключение всех объектов к единой энергораспределительной сети предполагало увеличение протяженности сети и вызывало дополнительные затраты на сооружение этих сетевых объектов, увеличение потерь на «длинных хвостах» с малой нагрузкой, повышение аварийности электросетевого комплекса.

В кластерах за счет сочетания соответствующих масштабов энергопотребления и генерации акцент делается на энергетический самобаланс этих образований, что исключает необходимость широкого развития распределительного электросетевого комплекса. В то же время сохраняется необходимость межкластерной интеграции этих энергетических центров по ограниченным маршрутам и трассам сетей более высокого напряжения с ориентацией на перспективное развитие нагрузки в новых географических узлах.

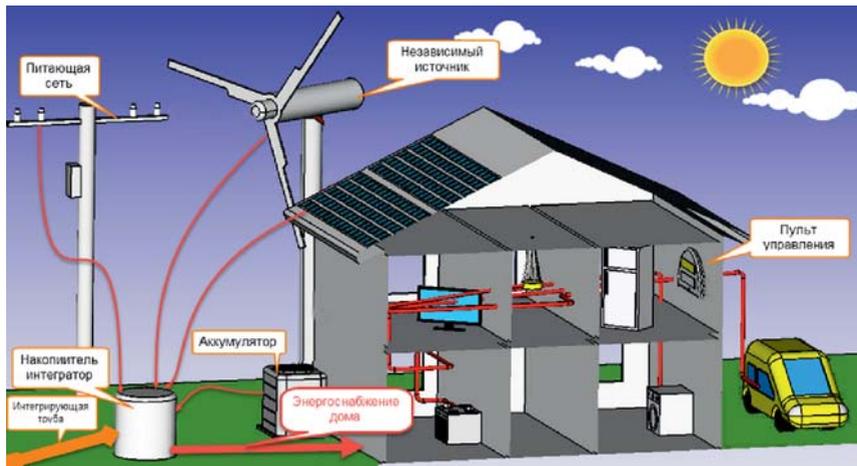
Для всех кластеров предусматривается своя схема энергоснабжения с учетом особенностей местных потребителей, в т.ч. с использованием мини-ТЭЦ, тогда как на территории «старой» Москвы будет действовать централизованное теплоэнергоснабжение от ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» (см. рис. 2.7).

Помимо кластерного подхода взаимосвязь социально-производственных поселений и их систем энергоснабжения по-новому просматривается на примере ключевых звеньев (объектов) мегаполиса типа отдельных зданий, квартальных и районных образований. При этом сочетается централизация внешнего энергоснабжения (как от местных энергокомплексов, так и от ТЭЦ города и ОЭС Центра) и автономное электропитание специфической нагрузки объектов от локальных источников.

Интеграция энергетических источников и ответственных потребителей требует создания соответствующих центров самоуправления (мультиагентного управления) энергоинформационными системами, а также развития интегрирующих интеллектуальных (многофункциональных) Smart Grid, увязывающих эти центры в общую систему. Для различных типовых звеньев мегаполиса эти системы будут универсальными (с точки зрения требований к надежности и эффективности энергоснабжения) и

качественно индивидуальными в зависимости от структуры самих объектов и роли человека как субъекта управления.

На уровне отдельного потребителя Smart-инфраструктуру можно представить в виде интегрированной системы энергоснабжения «умного» дома (рис. 3.3).



Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.3. «Умный» дом (smart house) и его EMS

«Умный» дом или «интеллектуальное здание» – это качественно новый объект с точки зрения инфраструктурного обеспечения. Он интегрирует различные системы жизнеобеспечения (электро-, тепло-, газо-, водоснабжение) в общий инженерно-инфраструктурный комплекс; сориентирован на масштабное насыщение потребителя средствами телекоммуникации и информационного обслуживания; в качестве обязательного элемента застройки учитывает наличие индивидуального легкового транспорта, в т.ч. и электромобиля.

При этом ключевые особенности «умного» дома заключаются в развитой системе контроля и управления за соблюдением климатических параметров, освещением, безопасностью и энер-

госбережением и эффективным (автоматическим) энергопотреблением.

«Интеллектуальное здание», в дополнение к этим функциям, осуществляет распределение энергетических и информационных потоков по индивидуальным квартирам, осуществляет выбор локальных и внешних источников коллективного энергоснабжения, а также возможную связь объекта с внешней сетью и выдачу свободной (при избытке собственной генерации) энергии в эту сеть. Принципиальной особенностью такого объекта становится наличие накопителя-аккумулятора, через который запрашивается потребитель и осуществляется связь с внешней сетью.

С помощью этих приборов можно добавить мощность для индивидуального энергетического хозяйства в период проседаний нагрузок в часы пик в общих распределительных сетях. Очень часто, накопитель электрической энергии, устанавливаемый дома или на даче, позволяет в значительной степени повысить качество энергоснабжения.

Кроме того, накопители электрической энергии, применяемые в индивидуальных домашних хозяйствах, служат основными источниками питания при аварийных ситуациях и централизованных отключениях электрических сетей.

Бытовые накопители электрической энергии устанавливаются преимущественно, в частных домах и постоянно находятся в состоянии подключения. Это позволяет в течение довольно продолжительного времени получать электроэнергию, достаточную для освещения и других неотложных бытовых нужд.

Однако накопители электроэнергии выполняют функции более широкие, чем у обычного аккумулятора. Кроме того, они создают возможность непосредственного подключения к аккумуляторам потребителей с системой энергопитания на постоянном токе, минуя инверторную стадию.

Они являются комплексными, интегрированными конструкциями, способными не только накапливать энергию, но и преобразовывать ее, делая пригодной для дальнейшего использования. Данные устройства занимают одно из ведущих мест на рынке альтернативных энергетических приборов. Их основой служат литиевые аккумуляторы. Они состоят из зарядного устройства

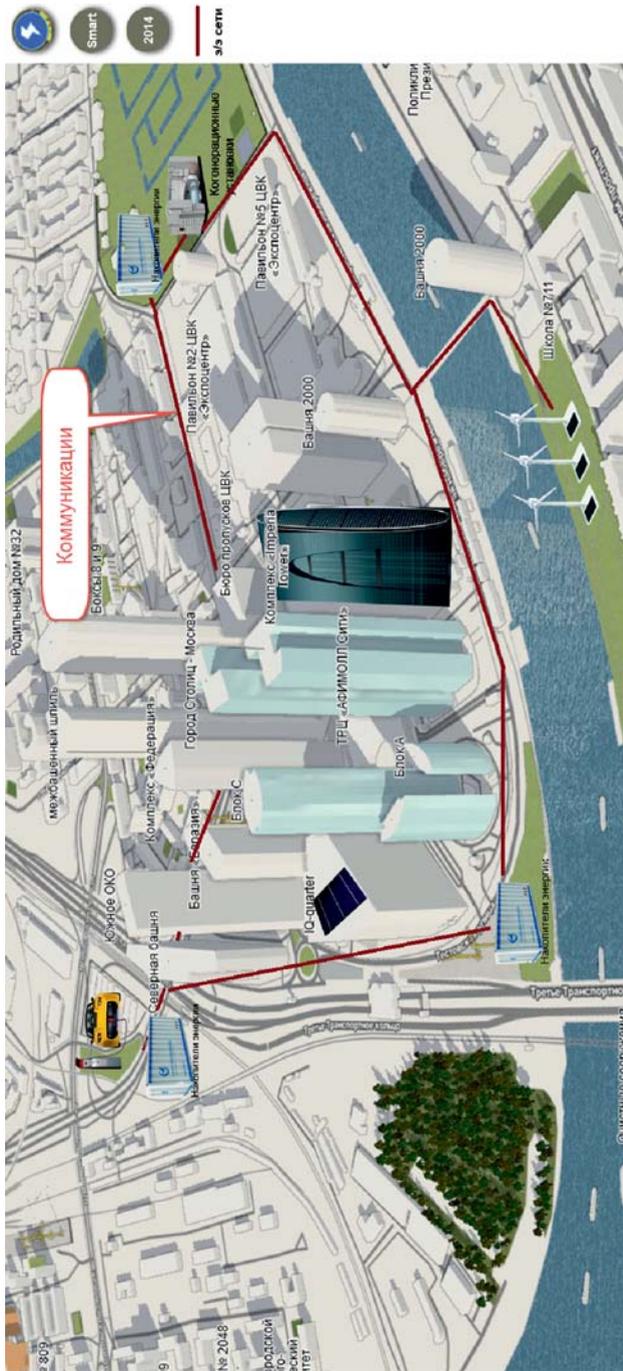
или контроллера заряда, преобразователя напряжения (инвертора) и системы управления. Конструкция накопителей позволяет заменить большое количество оборудования для аварийных систем и в альтернативном электроснабжении. Большинство моделей рассчитаны на работу не только от стационарной сети, но и от солнечных батарей. Их средняя выходная мощность составляет 5 киловатт.

В будущем сама конструкция зданий должна учитывать их инфраструктурные требования и возможности. Незачем отапливать всю кубатуру зданий, освещать всю площадь помещений, достаточно обеспечивать необходимые требования жизнеобеспечения в местах постоянного нахождения людей. А циркуляция энергетических потоков должна обеспечиваться соответствующим размещением спальных и жилых комнат, кухонных и вспомогательных помещений, источников света и тепла, свежего воздуха и других средств жизнеобеспечения.

В связи с освоением новых территорий, а также реконструкцией жилой и производственной сферы в «старых» границах города, ключевым объектом Smart City становится «умный» квартал. Ярким примером такого объекта является высокоэнергоёмкий квартал Москва-Сити. На рис. 3.4 представлена 3D-модель этого объекта с выделением инфраструктурных сетевых элементов – Smart Grid.

Новые Smart-объекты будут способны обеспечить высокую надежность энергообеспечения высотных зданий, насыщенных разного рода коммуникациями. Для этого они сами должны иметь не только развитую сеть внешнего энергообеспечения, но и собственные источники питания. Так, в проекте Москва-Сити предусматриваются когенерационные установки, расположенные на общей территории с ЦВК Экспоцентра, ветроэнергетический кластер на правом берегу Москва-реки, солнечные панели (на крыше здания IQ-guater).

Кроме того, в районе Северной башни предусматривается Smart Grid АЗС (возможно, в будущем здесь будет размещена и зарядная станция для электромобилей). Все эти инфраструктурные объекты объединены (схематично показаны коммуникации) в единую мультиагентную сеть управления энергообеспечением, включая и аккумуляторные батареи-накопители.



Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.4. Высокоэнергоемкий «умный» квартал Москва-Сити

Эти батареи необходимы и для обеспечения пикового электропотребления объектами непрерывного пользования. Высокая оснащенность бизнес-квартала Москва-Сити собственными энергоисточниками позволит снизить зависимость от внешнего энергоснабжения, сократит количество подстанционных пунктов и питающих сетей, уменьшит потери, а, главное, повысит надежность энергоснабжения ответственных потребителей.

Другим примером «умного» квартала является проект технополиса «Москва» на территории бывшего АЗЛК (рис. 3.5). Местные когенерирующие установки соединены с внешней питающей сетью переменного тока. Система дополнена преобразователями – выпрямителями, что позволяет использовать на объектах технополиса современные энергоэффективные установки постоянного тока (электролизеры, регулируемые двигатели постоянного тока, топливные элементы и др.). Кроме того, предусматривается подключение инверторов, для того чтобы собственные источники постоянного тока могли передавать в сеть избытки энергии. Для этого проекта также характерно наличие электротранспорта с собственными зарядными установками (постоянного либо переменного тока), а также наличие аккумуляторных батарей (как индивидуальных для отдельных технологических установок, так и коллективных – для «умного» квартала в целом).

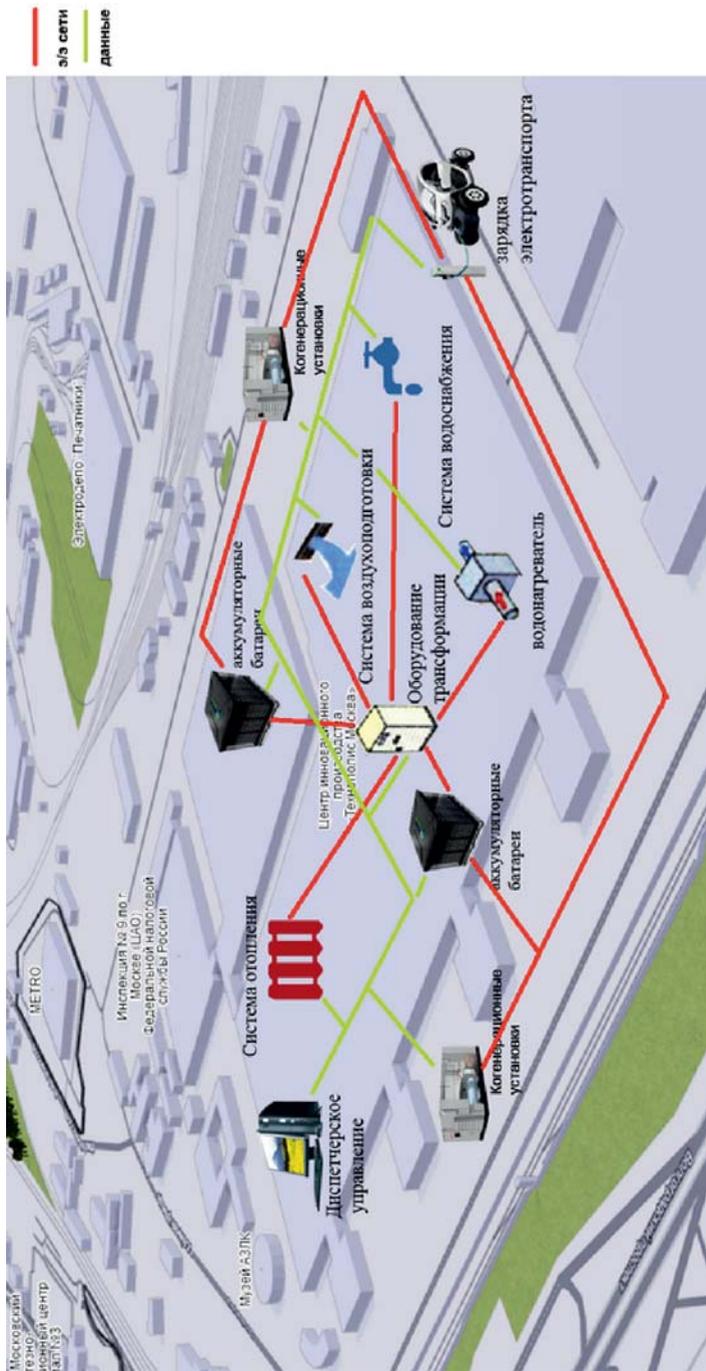
Все эти объекты соединены в общую систему с помощью информационно-управляющих Smart Grid.

Развитие энергоинформационных управляющих систем предусматривается и для таких объектов мегаполиса как районные образования.

Отличительной особенностью энергоэффективного «умного» района Москвы – муниципального образования Ясенево (рис. 3.6) является разветвленная сеть коммуникаций – транспортных, тепловых, электрических и информационных сетей.

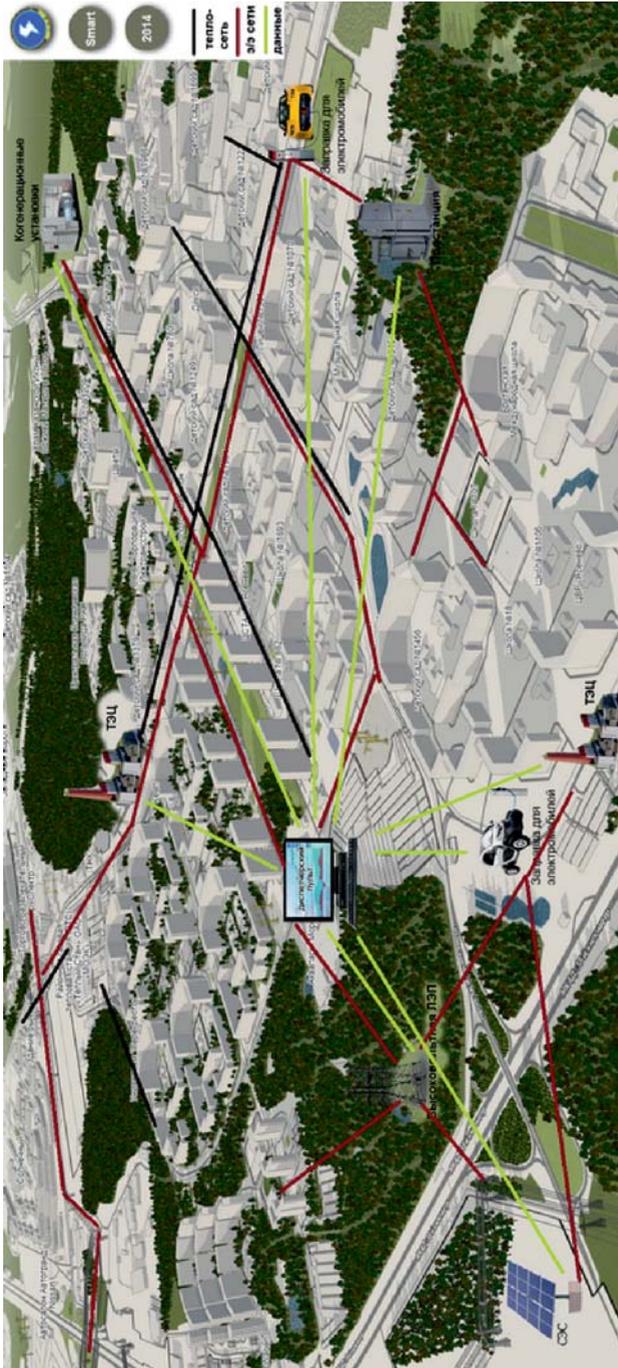
Все они соединяют энергопотребителей района, включая жилой сектор, транспортные инфраструктурные предприятия, местные бизнес-центры и социальные объекты, с местными и централизованными энергоисточниками (ВИЭ, ТЭЦ).

Аналогичная инфраструктурная модель представлена на рис. 3.7 и для другого энергорайона «Новой Москвы» – города Троицка.



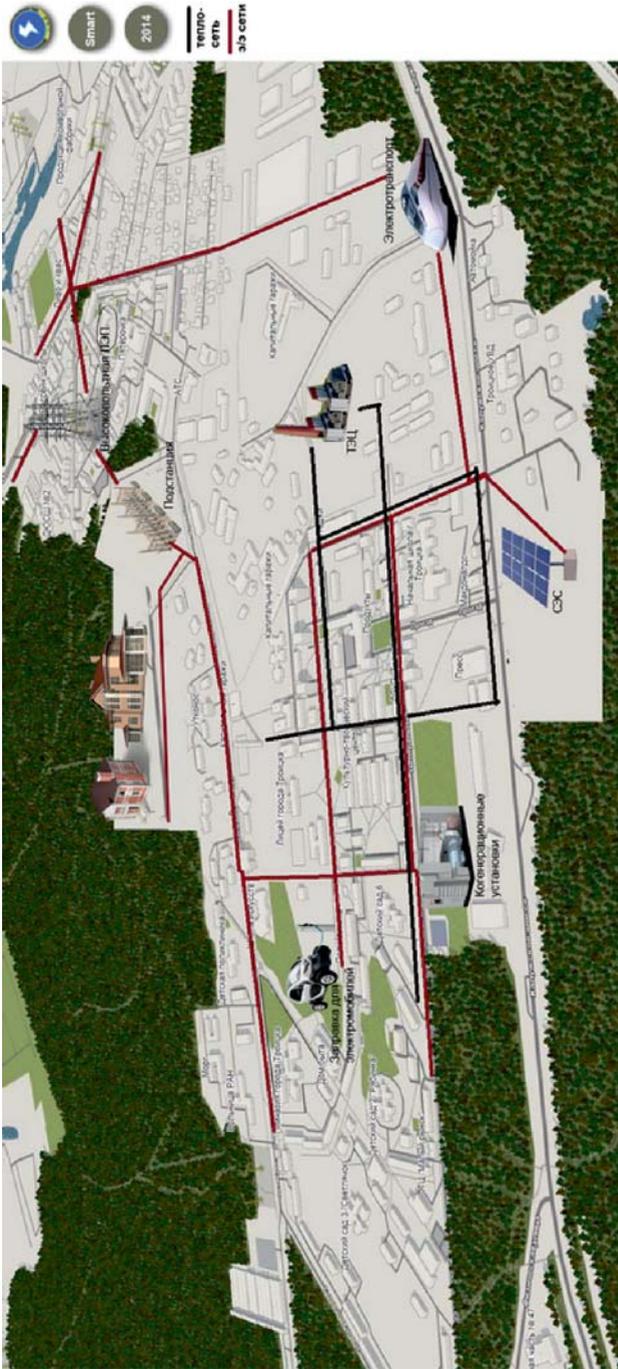
Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.5. Инженерная инфраструктура технополиса «Москва»



Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.6. Муниципальное образование Ясенево (район Москвы)



Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.7. Инфраструктурная модель энергоэффективного района «Новой Москвы» – города Троицка

На территории района центр управления (диспетчерский пункт) выполняет разнообразные функции инфраструктурного, социального и сервисного обеспечения интересов жителей и хозяйственных субъектов на территории района (рис. 3.8), в том числе:

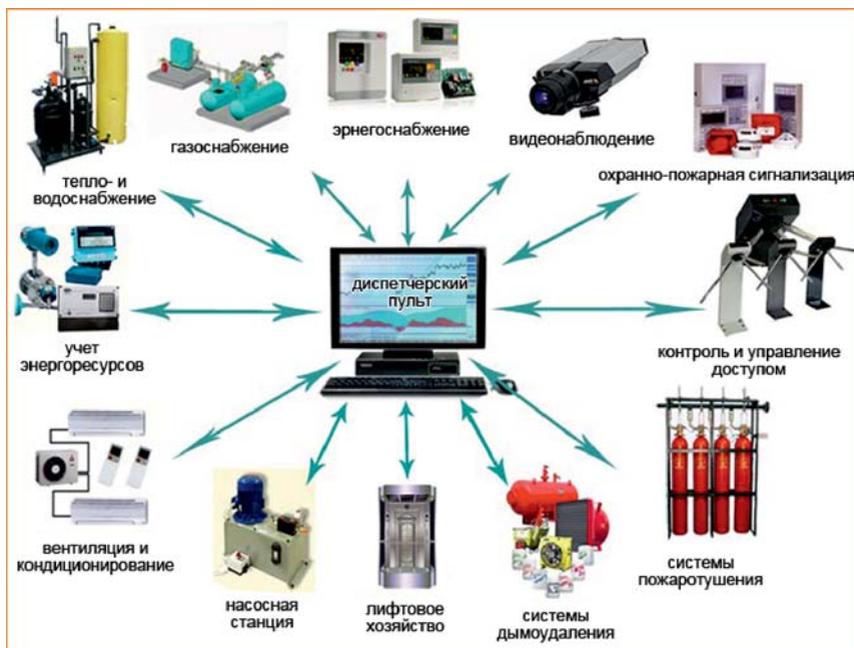
Для населения и городских служб:

- удаленный мониторинг состояния инженерных сетей;
- электронное окно доступа к услугам города;
- поквартирный учет ресурсов;
- дистанционное управление домашними устройствами;
- использование информации из 3-мерной цифровой модели города;
- информационные услуги, основанные на определенном местоположении пользователя;
- анализ передвижения людей для адекватной выработки и распределения ресурсов (тепло, вода, электричество);
- управление уровнем освещения улиц;
- управление освещением помещений на основе расписания и уровня естественного освещения;
- управление вентиляцией зданий по погодным условиям;
- управление климатическими системами зданий по заполненности помещений;
- прогнозирование транспортных потоков;
- информирование населения о перемещениях общественного транспорта;
- дистанционный контроль и наблюдение потенциально опасных зон города.

Для бизнеса:

- автоматическое отключение, начисление штрафов либо регулирование потребления неплательщиков;
- индивидуальное регулирование потребления и ценообразование в зависимости от лояльности потребителей (уровень дебиторской задолженности, авансовые платежи, просрочка и пр.), а также с учетом прохождения поверки счетчиков;
- автоматическое информирование всех заинтересованных служб и лиц (в т.ч. конечного потребителя, собственника квартиры в случае аренды и пр.) о возможных инцидентах (авариях, сбоях и пр.) и о состоянии расчетов с потребителем;

- прогнозный ремонт оборудования для предотвращения простоев;
- сбор и анализ данных для прогнозирования выработки ресурсов генерирующими организациями;
- прогнозный ремонт оборудования для предотвращения простоев;
- прогнозирование уровня затрат на содержание на основе анализа потребления ресурсов;
- предоставление на основе аналитики прогнозных данных по предпочтениям и ожиданиям потребителей;
- закупки и логистика на основе аналитики потребительского спроса;
- Управление активами и недвижимостью.



Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.8. Структура диспетчерского управления инфраструктурными объектами на территории района

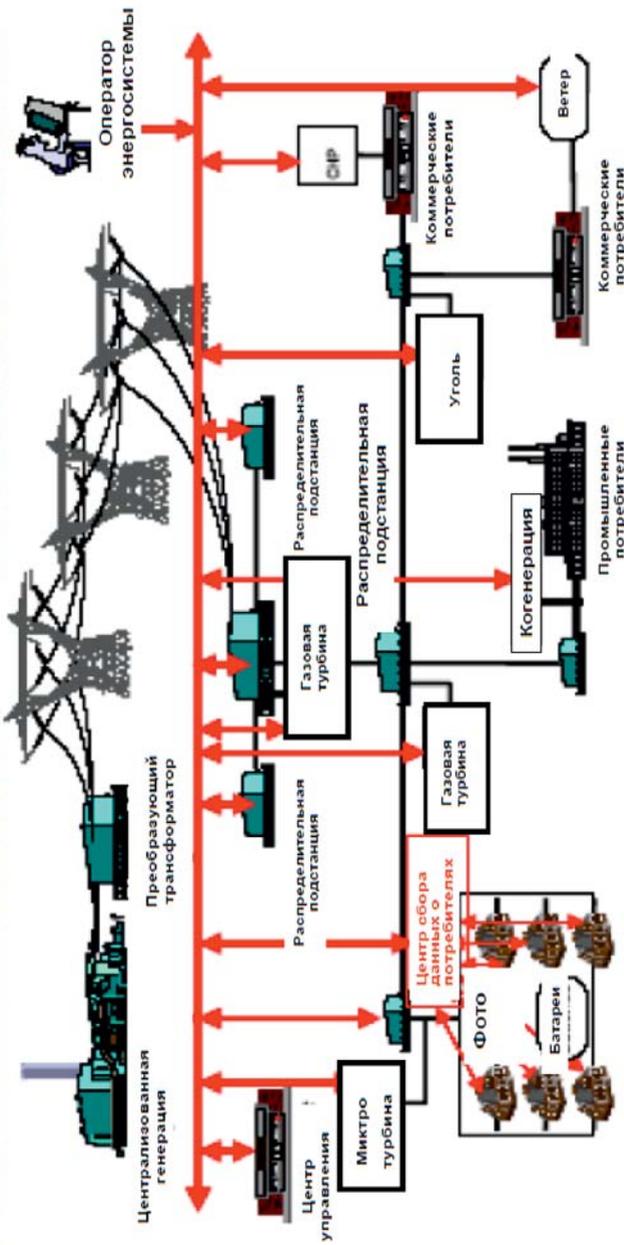
Трехуровневая территориальная модель (здания, кварталы, районы) интегрируется в единую целую двухуровневую функциональную (энергоинформационную) систему мегаполиса (рис. 3.9), включающую сбор данных о потребителях, оперативный контроль и оценку рисков мультиагентного управления, а также интеграцию различных энергетических источников и распределительных сетей и подстанций.

Единая энергоинформационная система способна обеспечить компромиссное регулирование в интересах всех субъектов, участвующих в процессе: сетевой компании, потребителей, распределенной генерации, а также создать технологическую основу локальных рынков услуг по регулированию режимных параметров в сети. В основу мультиагентного управления отдельными энергетическими блоками и системами группового управления энергоснабжением в системе Smart Grid закладывается принцип автономии и сетевого объединения как физических объектов, так и их информационных моделей.

Возросшие требования потребителей к уровню обслуживания неизбежно приводят к расширению спектра услуг, оказываемых энергокомпаниями, а также к обеспечению условий надежности и эффективности всей системы, к внедрению новых административных, финансовых и платежных механизмов во взаимоотношениях всех хозяйствующих субъектов энергетического рынка.

Комплексное решение этих задач в общей «системе систем», каковой является энергетика мегаполиса, требует развития интеллектуальной Smart Grid, учитывающей как мультиагентное управление отдельными объектами и подсистемами, так и их координации на уровне Департамента топливно-энергетического хозяйства города Москвы.

1. Энергетическая инфраструктура



2. Информационная инфраструктура

Возобновляемые источники энергии

Источник: <http://smart-energy.msk.ru/>

Рис. 3.9. Энергоинформационная инфраструктура мегаполиса

3.4. Организация интеллектуального управления Smart Grid мегаполиса

Smart Grid – это интеллектуальная эргатическая (человеко-машинная энергоинформационная) метасистема, которая, с одной стороны, по принципу SoS интегрирует отдельные виды энергоснабжения на уровне потребителя в общую клиентоориентированную систему энергоснабжения. С другой стороны, объединяет потребителя, в т.ч. и «активного» (с его собственными энергоисточниками), инфраструктурную распределительную сеть и внешние питающие центры в общий энергетический комплекс.

В третьих, и это самое главное, обеспечивает сетевое управление функционированием и развитием энергетики. При этом мультиагентное управление сочетается с помощью инфраструктурных сетей с централизацией управления в части формирования общих задач надежного и эффективного энергоснабжения, минимизации функциональных затрат и инвестиционных рисков для развития системы.

Структура Smart Grid-системы включает в себя:

- *блок организации* (взаимоувязки и согласования) централизованного и децентрализованного энергоснабжения потребителей (на уровне отдельных объектов, районных и кластерных образований);
- *информационный блок*, включая систему организации информационных потоков от потребителя к администратору системы и к энергоснабжающей компании (спрос на энергетические услуги, заказы на подключение, требования к качеству), контроля и управления силовых потоков энергоносителей, финансовых условий энергопоставок;
- *ситуационный блок* оценки состояния энергетической безопасности (ресурсной достаточности, финансовой доступности и технологической достижимости заданных требований), а также надежности, в т.ч. возможных ущербов от перерывов в энергоснабжении, и эффективности (технической, экономической и социальной) энергетики города;
- *блок управления перспективным развитием ТЭК* мегаполиса;
- *блок самоконтроля, самовосстановления и саморазвития* информационно-управляющей системы Smart Grid;

- *модель организации и взаимодействия хозяйствующих субъектов, бизнес-структур* (в т.ч. финансовых) и органов муниципального и городского управления в энергетической сфере мегаполиса.

Пообъектная (территориальная) модель энергоснабжения Smart City (с помощью 3D-представления), а также функциональная модель связи физических и информационно-управляющих объектов Smart Grid были приведены в разд. 3.3, а также представлены на сайте www.smart-energy.msk.ru.

Интеграция этих модельных представлений в единую энергоинформационную «систему систем» позволяет реализовать общий принцип исследования сложных проблем: от идеологии (формирование образа Smart City) – к методологии (с использованием принципа SoS) и технологии (проектирование Smart Grid).

На стадии технологического проектирования Smart Grid должны быть решены ключевые задачи формирования нового образа «умного» города – его удобство и привлекательность для жителей (социальную эффективность), обеспечение надежности и безопасности инфраструктурного жизнеобеспечения (технологическую эффективность) и снижение затрат (экономическую эффективность).

Принцип интеграции SoS при переходе от централизованных систем энергоснабжения к стимулированию развития децентрализованных систем позволяет изменить условия и требования эффективного энергоснабжения в части снижения общих затрат, повышения надежности и управляемости энергетической инфраструктуры (рис. 3.10).

Алгоритмизация проектирования Smart Grid сводится к тому, что для всех уровней функционирования осуществляется:

1. **Доступность** – обеспечение потребителей электроэнергией в зависимости от того, когда и где она им необходима, и в зависимости от оплачиваемого качества.

2. **Надежность** – возможность противостояния физическим и информационным негативным воздействиям без тотальных отключений или высоких затрат на восстановительные работы, максимально быстрое восстановление (самовосстановление).

3. **Экономичность** – оптимизация тарифов на электрическую энергию для потребителей и снижение общесистемных затрат.

4. **Эффективность** – максимизация эффективности использования всех видов ресурсов и технологий при производстве, передаче, распределении и потреблении электроэнергии.

5. **Органичность с окружающей средой** – снижение негативных воздействий на окружающую среду.

6. **Безопасность** – недопущение ситуаций в электроэнергетике, опасных для людей и окружающей среды.

Сокращение капитальных затрат



- Установленное оборудование должно работать как можно дольше
- Целевые инвестиции в оборудование, приближающееся к концу фактического срока службы (а не среднего срока полезного использования)
- Уменьшить пиковые нагрузки с помощью интеллектуальных приборов учета, позволяющих внедрить тарификацию в зависимости от времени потребления
- Поддержать распределенную генерацию с помощью удаленного мониторинга оборудования

Сокращение операционных затрат



- Сократить объемы хищений электроэнергии и повысить собираемость платежей с помощью автоматизированных систем считывания показаний приборов учета
- Избегать аварийных ремонтов и замены оборудования с помощью удаленного мониторинга оборудования

Повышение надежности



- Более точно прогнозировать потребление, чтобы оптимизировать конфигурацию сети в режиме реального времени, что позволит оборудованию функционировать в полную силу его фактических возможностей
- Оптимально использовать детальную информацию, получаемую в режиме реального времени, чтобы предотвратить отключения электроэнергии или максимально сократить их продолжительность
- Избегать неожиданного увеличения тарифов по причине неожиданных сетевых аварий

Усовершенствование обоснования программ обновления инфраструктуры



- Добиться поддержки регулирующих органов, убедив их в том, что принимаемые относительно инвестиций решения целесообразны и обоснованы
- Отсрочить необходимость инвестирования в инфраструктуру, используя интеллектуальные приборы учета для внедрения тарификации в зависимости от времени потребления

Источник: Институт IBM для повышения ценности бизнеса.

Рис. 3.10. Изменение условий и требований эффективного энергоснабжения при переходе от централизованных к распределенным системам энергоснабжения

Применение технологий Smart Grid может помочь в обеспечении энергетической безопасности и энергетической эффективности при развитии энергосистемы мегаполиса как в секторе производства и передачи энергии, так и в распределительном секторе и энергоснабжения потребителей:

- новые материалы для силового энергетического и электротехнического оборудования, а также конструктивные и компоновочные решения позволят сократить занимаемую оборудованием полезную площадь, повысить номинальные параметры, а также ресурс и продолжительность межсервисного интервала;

- мощные преобразователи напряжения способны обеспечить управление потоками активной мощности в сложносвязанной электрической сети и снизить уровень токов КЗ, а также осуществлять управление напряжением в узлах подключения, в т.ч. для обеспечения качества электроэнергии;

- накопители электрической и тепловой энергии позволят сгладить пиковое потребление в энергосистеме и обеспечить бесперебойное энергоснабжение конечных потребителей;

- источники распределенной генерации на базе реконструируемых котельных позволят увеличить надежность локальных систем энергоснабжения при максимально эффективном использовании энергоресурсов;

- средства автоматизации электрической сети и новое коммутационное оборудование позволят осуществлять быстрое секционирование и реконфигурацию сети, ускоряя восстановление электроснабжения после нарушений;

- системы векторных измерений на базе фазоров дают качественно новую информацию о переходных процессах в энергосистеме;

- цифровые системы учета у потребителей предоставляют широкие возможности для управления потреблением;

- технологии параллельных вычислений и распределенного управления позволяют оценивать риски нарушений в работе энергосистемы и вырабатывать адекватные ответные действия в реальном времени;

- развитые информационные системы диагностики и контроля состояния оборудования предоставляют возможность гибкого подхода к определению допустимой нагрузки и необходимости проведения технического обслуживания.

При этом задача внедрения новых технологий Smart Grid требует комплексного решения вопросов организационного взаимодействия, финансирования, нормативного обеспечения и т.п. в рамках проекта «умного» города. Реализация такого проекта требует широкого вовлечения энергокомпаний, производителей оборудования, жителей, крупных потребителей под эгидой властных структур города при единой системе управления проектом. Кроме того, сопровождение проекта требует информационной поддержки, в т.ч. широкого круга образовательных и обучающих программ в области энергоэффективности и защиты окружающей среды, управления «умным» городом на протяжении всего жизненного цикла.

Формирование нового облика энергетики мегаполиса и построение «умной» общегородской системы энергоснабжения требует пересмотра схемы организационно-правовой структуры ТЭК города Москвы (рис. 3.11) – коричневым цветом выделены новые элементы модели.

Эта модель упрощает прежнюю схему взаимоотношений между хозяйственными субъектами за счет развития информационной сферы, связывающей всех участников единой системы энергоснабжения мегаполиса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Энергоэффективность мегаполиса – это состояние и развитие энергетики города Москвы (с учетом присоединенных территорий) с приоритетами его:

- клиентоориентированности (в интересах потребителя и, в первую очередь, населения);
- инфраструктурности (учитывающей как централизованное, так и децентрализованное энергоснабжение);
- надежности (за счет сочетания внешнего и собственного энергообеспечения градообразующих объектов).

Энергоэффективность (техническая, экономическая, социальная) – это интеграция всех электро-, тепло- и газоснабжающих систем в единую «систему систем» (System of System – SoS) с ориентацией на преимущественное развитие электрификации, развитие «нового электрического мира» в жилищно-коммунальной и социальной сферах, на транспорте и в производственном секторе. «Новый электрический мир» – это активный энергообеспеченный потребитель, где электрификация используется как наиболее эффективное средство обеспечения качества жизни и производительности труда.

Электрическая энергия, обладая тремя «У»-качествами (*универсальность, удобство и управляемость*) является основным приоритетом генерации (как на крупных ТЭЦ, так и на местных энергетических комплексах в социально-производственных кластерах), распределительной сети (Smart Grid) и потребления в рамках «Нового электрического мира».

Управляемость в электрическом секторе городской инфраструктуры достигается наиболее эффективным образом с использованием технологии проектирования Smart Grid – «умной», интеллектуальной (за счет активного участия человека) и энергоинформационной (взаимоувязанной друг с другом физической и информационно-управляющей) системы.

На различных уровнях территориально-функциональной структуры интегрированной энергоснабжающей системы рассматриваются различные виды и объекты Smart Grid – «умный» дом, «умный» квартал, «умный» район, «умный» город, отличающиеся степенью оснащенности этих объектов собственными

источниками энергии, наличием бытовых и системных накопителей-аккумуляторов, развитого личного и общественного электротранспорта, своими центрами диспетчерского контроля и управления.

Наличие в мировой практике большого числа примеров уже созданных и проектируемых вариантов Smart Grid позволяет адаптировать этот опыт применительно к особенностям московского мегаполиса. Так, с помощью 3D-моделирования рассмотрены проекты индивидуального коттеджа, бизнес-квартал Москва-Сити, технологический центр «Москва», энергорайон «Ясенево» и схема энергоснабжения города Троицка и показаны принципиальные особенности соответствующих инфраструктурных схем их энергоснабжения.

Модели территориальных объектов и функциональные схемы их управления представлены на сайте www.smart-energy.msk.ru, который по мере развития энергетических проектов интеллектуальных систем и их реализации в мегаполисе будет наполняться новым содержанием.

Наличие новых функций у различных хозяйствующих субъектов, действующих в энергетической системе мегаполиса и необходимость согласования их действий в текущей деятельности и перспективном развитии требует реформирования и общей схемы управления энергетическим хозяйством города, сочетающим интересы отдельных субъектов мультиагентного управления и их общей координации со стороны Департамента топливно-энергетического хозяйства города Москвы.

Представленные в данной публикации концептуальные основы формирования энергоэффективного мегаполиса – Smart City рассматривается как идеологическая, методологическая и технологическая основа для проектирования новой энергетики.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕГАПОЛИС
– SMART CITY «НОВАЯ МОСКВА»**

(под ред. В.В. Бушуева, П.А. Ливинского)

Ответственный редактор *Я. Каминская*
Компьютерная верстка *К. Горошкин*

Подписано в печать
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Печ. л. 4,75
Тираж.
Заказ № 3 от 21.08.2015

Издательский дом «Энергия»
г. Москва, 1-й Саратовский проезд, д. 4, под. 6
Тел. 8(499)173-47-54; 8(499) 707-3013
Интернет-магазин: www.energypublish.ru

Отпечатано в ООО «ИД «ЭНЕРГИЯ»