

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Научная статья



УДК/UDC 725.1:621.311.22

DOI: 10.24412/1998-4839-2026-3-125-139

EDN: PZCCVM



CC BY-NC-SA 4.0

**Архитектурно-пространственное формирование
интегрированных энергетических комплексов на основе ТЭЦ****Владимир Алексеевич Помялов¹**Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия
PVA754@gmail.com

Аннотация. Крупные энергетические предприятия занимают весомое место в структуре городов-миллионников России. Помимо электрической и тепловой энергии, они вырабатывают значительное количество вторичных продуктов производства, которые в настоящее время, в прямом смысле слова, выбрасываются на ветер. В статье рассматриваются вопросы организации интегрированных энергетических комплексов (ИнЭК) на основе использования энергии вторичных продуктов производства ТЭЦ. Интеграция функций энергопроизводящего объекта и объектов-потребителей ведёт не только к трансформации сооружений ТЭЦ, но и диктует единый подход к организации ИнЭК, определяющий характер его архитектуры. В результате инновационных разработок инфраструктуры комплекса – схем передачи и распределения вторичных ресурсов – решаются задачи градостроительного расположения, а также конструктивного, объёмно-пространственного и планировочного решений ИнЭК.

Ключевые слова: ТЭЦ, вторичные продукты производства, объекты-потребители, объёмно-пространственная структура интегрированного энергетического комплекса

Для цитирования: Помялов В.А. Архитектурно-пространственное формирование интегрированных энергетических комплексов на основе ТЭЦ // Architecture and Modern Information Technologies. 2026. № 3(76). С. 125-139. URL: <https://amit-marhi.ru/s/p00000T>
DOI: 10.24412/1998-4839-2026-3-125-139 EDN: PZCCVM

ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Original article

**Architectural and spatial formation of integrated energy complexes
based on combined heat and power (CHP) plants****Vladimir A. Pomyalov¹**Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia
PVA754@gmail.com

Abstract. Large-scale energy facilities occupy a significant place in the structure of Russia's million-plus cities. In addition to electricity and heat, they generate a substantial amount of secondary production by-products, which are currently, quite literally, being wasted. This article examines the issues of organizing Integrated Energy Complexes (IECs) based on the utilization of energy from CHP plant by-products. The integration of the functions of an energy-generating facility and consumer facilities leads not only to the transformation of CHP structures but also dictates a unified approach to the organization of an IEC, which determines the character of its architecture. As a result of innovative infrastructure developments – specifically, schemes for the

¹ © Помялов В.А., 2026

transmission and distribution of secondary resources – the challenges of urban planning, as well as the structural, volumetric-spatial, and layout solutions for the IEC, are addressed.

Keywords: CHP plant (cogeneration plant), secondary production by-products, consumer facilities, volumetric-spatial structure of an integrated energy complex

For citation: Pomyalov V.A. Architectural and spatial formation of integrated energy complexes based on combined heat and power (CHP) plants. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2026, no. 3(76). pp. 125-139. Available at: <https://amit-marhi.ru/s/p00000T> DOI: 10.24412/1998-4839-2026-3-125-139 EDN: PZCCVM

Введение

Исследование посвящено теме организации энергетических комплексов, объединяющих энергопроизводящие промышленные объекты с промышленными или гражданскими объектами-потребителями на основе обмена энергией и материальными ресурсами вторичных продуктов производства. Актуальность выбранной темы связана со значительным увеличением потребления энергии в сетевом обществе, основанном на расширяющемся внедрении в городскую среду цифровых технологий и программ искусственного интеллекта, растущим количеством и мощностью дата-центров, а также совершенствованием существующих и внедрением новых производственных технологий в каждой из отраслей экономики страны. Рост потребления опережает развитие и ввод в действие принципиально новых источников энергии, таких как «зеленый» водород и системы термохимического расщепления воды.

Здания и сооружения формируют один из крупнейших устойчивых сегментов энергопотребления. По данным Международного энергетического агентства, в 2024 году на эксплуатацию зданий приходилось около 30% мирового конечного потребления энергии; около 70% этого объема составляло энергопотребление жилых зданий, около 30% – общественных и коммерческих². В Москве общая площадь зданий на 1 января 2024 года составляла 499,9 млн м², включая 299,9 млн м² жилых, 137,5 млн м² общественных и 62,4 млн м² промышленных зданий. Согласно утвержденной схеме теплоснабжения Москвы, к 2035 году общая площадь зданий может достигнуть 678,3 млн м², увеличившись относительно уровня 2024 года на 178,5 млн м², или приблизительно на 35,7%³. Рост строительного фонда увеличивает нагрузку на городские системы энергоснабжения и требует более полного использования энергетических ресурсов, уже формирующихся внутри городской территории.

Одним из таких ресурсов выступают вторичные продукты промышленного производства: перегретый и влажный пар, горячая и теплая вода, горячий и теплый воздух, углекислый газ. После завершения основного производственного процесса часть этих сред сохраняет энергетический или технологический потенциал и может использоваться промышленными и гражданскими объектами. Для городской структуры особый интерес представляют теплоэлектроцентрали, которые совмещают крупную установленную мощность, постоянный режим эксплуатации и образование нескольких видов вторичных продуктов.

Передача вторичных продуктов от ТЭЦ к потребителям формирует архитектурную задачу. Вид среды, ее температура, давление, агрегатное состояние и допустимое расстояние транспортировки влияют на положение объекта-потребителя относительно источника

² International Energy Agency. *Energy Efficiency 2025. Buildings*. Paris: IEA, 2025. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ab3e1064-1eb0-49fc-b039-38f6d3749e0a/EnergyEfficiency2025.pdf> (дата обращения: 25.07.2026).

³ Схема теплоснабжения города Москвы на период до 2035 года (актуализация на 2025 год). Том 2. Книга 2.1. Москва, 2024. С. 19. Утв. приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 26.08.2024 N 210тд. Официальный документ на mos.ru. URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/2413/Tom2Kniga21.pdf> (дата обращения: 25.07.2026).

энергии, конфигурацию инженерных трасс, объемно-планировочную структуру здания и размещение распределительной инфраструктуры внутри его объема.

Научная новизна работы состоит в рассмотрении инженерной инфраструктуры перераспределения вторичных продуктов ТЭЦ как фактора архитектурно-пространственного формирования интегрированных энергетических комплексов. В статье систематизируются существующие варианты взаимодействия энергетических и гражданских объектов и предлагаются четыре базовые пространственные схемы распределения вторичных продуктов в объектах-потребителях: плоскостная, линейная, «оболочка-распределитель» и «стержень-ядро».

Цель исследования – определить архитектурно-пространственные особенности формирования интегрированных энергетических комплексов на основе ТЭЦ с учетом способов передачи и распределения вторичных продуктов производства.

Для достижения цели поставлены следующие задачи: выявить существующие типы интеграции промышленных объектов-доноров с промышленными и гражданскими потребителями; определить влияние ресурсной связи на взаимное расположение объектов и структуру комплекса; установить последовательность передачи вторичного продукта от ТЭЦ к потребителю; сформировать базовые пространственные схемы распределения вторичных продуктов внутри объектов-потребителей; определить область применения каждой схемы в зависимости от типа здания и характера потребления ресурса.

ТЭЦ объект-производитель вторичных продуктов промышленного производства

Теплоэлектроцентрали представляют особый интерес для рециркуляции энергии в качестве источника вторичных сред. Например, установленная электрическая мощность московской ТЭЦ-20 составляет 985 МВт, тепловая – 2310 Гкал/ч. Станция обеспечивает электрической и тепловой энергией районы юго-запада и центра Москвы с населением около 1,5 млн человек⁴. Стабильный режим эксплуатации и одновременное образование нескольких вторичных продуктов позволяют рассматривать ТЭЦ как потенциальное ядро системы распределения вторичных продуктов связанным потребителям (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид ТЭЦ-20 ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия

Структуру, состоящую из объектов-производителей и объектов-потребителей вторичных продуктов производства, можно определить как интегрированный энергетический комплекс (далее по тексту ИнЭК) – территориально и технологически объединенную систему

⁴ ПАО «Мосэнерго». ТЭЦ-20: сведения о филиале. Официальная страница ПАО «Мосэнерго». URL: <https://www.mosenergo.ru/about/present/branch/hpp-20/> (дата обращения: 25.07.2026).

различных по типу производственных и гражданских объектов, в которой осуществляется перераспределение энергии или вторичных продуктов промышленного производства.

Интегрированность комплекса заключается не только в обмене ресурсами. Инженерная инфраструктура передачи и распределения вторичных продуктов производства становится фактором архитектурного формообразования. Сокращение традиционного инженерного оборудования подключаемого объекта высвобождает пространство для размещения гражданских объектов (магазинов продукции, лекционных аудиторий, кафе и т.д.) и ведёт к объёмно-планировочной трансформации [1]. Архитектурная структура ИнЭК зависит от организации инженерной инфраструктуры передачи и распределения вторичных продуктов производства.

Промышленными потребителями вторичных сред ТЭЦ в городской среде могут быть предприятия средней и лёгкой промышленности: предприятия пищевой промышленности, производства электроники, текстильные предприятия и т.д. В качестве гражданских потребителей вторичных продуктов ТЭЦ могут рассматриваться торговые, спортивные, культурные и другие общественные объекты, а также элементы комплексного благоустройства территории. Наиболее рационально подключение к энергетическим комплексам зданий с устойчивой тепловой нагрузкой и продолжительным режимом эксплуатации: открытых бассейнов, SPA и банных комплексов. Горячая вода и пар могут использоваться в системах отопления зданий, подогреве чаш бассейнов и поддержании микроклимата в интерьерных пространствах⁵. Углекислый газ применяется преимущественно в агропромышленных объектах для повышения концентрации CO₂ и подкормки растений.

Между ТЭЦ и жильём существует буферная зона, определяемая СНиП⁶, которая сегодня представляет собой неблагоустроенную или неорганизованную территорию. Притяжение в эту зону промышленных и гражданских предприятий-потребителей вторичных продуктов производства функционально и морфологически объединяет ранее изолированный энергетический объект (ТЭЦ) с окружающей городской застройкой и представляет собой новую градостроительную единицу – интегрированный энергетический комплекс (ИнЭК), включённый в структуру города. Кроме того, размещение объектов-потребителей в непосредственной близости от ТЭЦ или слияние с ней в единый архитектурный комплекс минимизирует протяженность инженерных коммуникаций и потери при транспортировке.

Примеры существующих интегрированных энергетических комплексов

В качестве примера архитектурной интеграции энергетического объекта в городскую среду можно рассмотреть газовую ТЭЦ Lausward, блок Fortuna, в Дюссельдорфе, реконструированную по проекту бюро «kadawittfeldarchitektur» и введенную в эксплуатацию в 2016 году (рис. 2). Электрическая мощность блока составляет 595 МВт, тепловая мощность отпуска в городскую сеть – до 300 МВт, а суммарный коэффициент использования топлива при совместном производстве электрической и тепловой энергии достигает 85%⁷. Архитектурный образ станции сформирован системой крупных стальных рам, объединяющих разновысотные технологические объемы. В северо-восточной части комплекса дымовая труба заключена в остекленный объем, получивший название «Stadtfenster» – «городское окно». Внутри него (на отметке около 45 м) размещена общественная смотровая площадка, с которой открывается вид на производственную территорию, Рейн и центральную часть Дюссельдорфа. Также в «городском окне» располагаются офисные помещения энергетической компании. Такое решение демонстрирует возможность включения гражданской функции непосредственно в

⁵ СП 310.1325800.2017. Бассейны для плавания. Правила проектирования: утв. приказом Минстроя России от 26.12.2017 N 1716/пр; с изм. N 1-3. Москва: Минстрой России, 2017. Разд. 10.2.

⁶ СП 90.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП II-58-75).

⁷ Stadtwerke Düsseldorf AG. Gaskraftwerk / GuD Kraftwerk "Fortuna". Официальная страница Stadtwerke Düsseldorf. URL: <https://www.swd-ag.de/ueber-uns/erzeugung-standorte/heizkraftwerke/gaskraftwerk-lausward/> (дата обращения: 25.07.2026).

структуру действующей ТЭЦ: технологическая доминанта сохраняет свое производственное назначение, но одновременно становится доступным для посетителей элементом города. Пример демонстрирует, что энергетическое предприятие может приобретать общественную функцию.



Рис. 2. ТЭЦ Lausward, блок Fortuna: остекленный объем Stadtfenster со смотровой площадкой и дымовой трубой. Архитектурное бюро «kadawittfeldarchitektur», 2012-2016 гг., Дюссельдорф, Германия

Другой тип взаимодействия энергетического объекта-донора и гражданской функции реализован в знаменитом комплексе Amager Bakke в Копенгагене. Мусоросжигательная теплоэлектроцентраль производит электрическую и тепловую энергию для городской сети, при этом непосредственно в структуру ее главного производственного корпуса включен общественный рекреационный объект CopenHill (рис. 3).



Рис. 3. Общественно-рекреационный комплекс CopenHill на здании мусоросжигательной ТЭЦ Amager Bakke. Архитектурное бюро BIG, 2019 г., Копенгаген, Дания

На кровле сооружения размещены лыжный склон длиной 450 м и пешеходный маршрут, а на фасаде – скалодром высотой 85 м. По данным CopenHill, энергетическая установка обеспечивает электроэнергией около 30 тыс. м² жилой застройки и централизованным теплом около 72 тыс. домохозяйств⁸. Приведенный пример показывает предельную степень архитектурной интеграции производственной и гражданской функций: объект общественного назначения (горнолыжный курорт и смотровая площадка) размещается непосредственно на оболочке энергетического сооружения, а его конфигурация формируется геометрией производственного объема.

Виды интегрированных энергетических комплексов

Анализ мирового опыта позволяет разделить интегрированные энергетические комплексы на две основные группы по типу объекта-потребителя: 1) промышленный объект-донор + промышленные объекты-потребители; 2) промышленный объект-донор + гражданские объекты-потребители. Первая группа включает шесть типов ИнЭК: вертикально интегрированные, горизонтально интегрированные, экоиנדустриальные, веерные, индустриальные научные и многоотраслевые комплексы. Во второй группе выделены четыре типа: перераспределяющие, технологичной формы, совмещающие и перерабатывающие комплексы. Типы различаются характером ресурсного обмена и влиянием передаваемого ресурса на архитектурную структуру потребителя. В группах наблюдаются различные комбинации производителя и потребителей: связь одного донора и одного потребителя, последовательная цепочка производств, распределенная система «один донор + несколько потребителей» в связке «производитель + промышленный объект». В связке «производитель энергии + гражданский потребитель» возможно физическое совмещение производственной и гражданской функций в едином архитектурном объеме.

Для группы «промышленный объект-донор + промышленные объекты-потребители» характерно сохранение производственного назначения всех участников комплекса. Один из наиболее показательных примеров распределенной модели – индустриальный комплекс Kalundborg Symbiosis в Дании. В состав промышленного симбиоза входят независимые предприятия различных отраслей, связанные потоками воды, энергии и материальных ресурсов (рис. 4). Электростанция Asnæs производит пар, электрическую и тепловую энергию. Пар передается предприятиям Novo Nordisk и Novonesis, а остаточная тепловая энергия используется системой централизованного теплоснабжения Калуннборга [3]. Передача пара осуществляется по системе крупных надземных трубопроводов, проложенных вдоль дорог промышленной территории. В приведенном примере один крупный объект-донор обеспечивает ресурсом несколько пространственно обособленных потребителей. Пример соответствует группам веерной и экоиנדустриальной организации ИнЭК.

Другой вариант промышленной интеграции основан на последовательной передаче продукта от одного производства к следующему. Такая структура представлена в Jubail Industrial City в Саудовской Аравии и рассмотрена в работе автора как пример последовательной интеграции предприятий. В Jubail II химический комплекс Sadara непосредственно примыкает к промышленному парку PlasChem Park площадью 12 км² (рис. 5). Предприятия парка используют химические продукты и промежуточное сырье Sadara для последующей переработки. Для передачи этиленоксида и пропиленоксида создана трубопроводная система, связывающая производственный комплекс с предприятиями-потребителями [4]. В архитектурно-планировочном отношении такая модель формирует последовательную производственную цепочку: близость корпусов определяется технологической зависимостью предприятий, а трубопроводные эстакады и

⁸ CopenHill. Press Kit 2019. Copenhagen, 2019. Официальный пресс-релиз CopenHill. URL: <https://www.copenhill.dk/en/kontakt/press/Press%20Kit%202019%20-%20NEW%201.pdf> (дата обращения: 25.07.2026).

общая инженерная инфраструктура становятся постоянными элементами планировочной структуры комплекса.

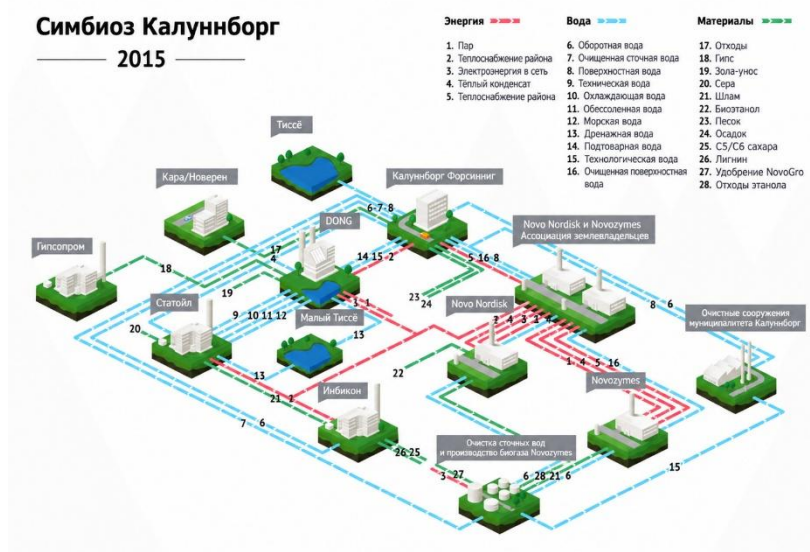


Рис. 4. Схема ресурсных связей промышленного комплекса Kalundborg Symbiosis, Калуннборг, Дания



Рис. 5. Химический комплекс Sadara в составе Jubail Industrial City II, Джубайль, Саудовская Аравия. Полная коммерческая эксплуатация комплекса с 2017 г.

В группе «промышленный объект-донор + гражданские объекты-потребители» ресурсная связь обеспечивает дополнительное функциональное и пространственное взаимодействие промышленного объекта с городской средой. Для перераспределяющего типа характерно сохранение отдельных объемов донора и потребителей с передачей энергии между ними по инженерной сети. В совмещающих комплексах производственная и гражданская функции размещаются внутри одной архитектурной формы. Различие этих двух моделей особенно существенно для городской ТЭЦ: первая позволяет формировать вокруг предприятия распределенную систему общественных зданий, вторая предполагает непосредственное включение общественной функции в объем или оболочку промышленного сооружения.

Первую модель демонстрирует мини-ТЭЦ Civic Quarter Heat Network в Манчестере. Энергетический центр с когенерационной установкой мощностью 3,3 МВт и двумя газовыми котлами по 12 МВт связан примерно 2 км инженерных сетей с рядом гражданских объектов центральной части города⁹. К сети подключены ратуша и Центральная библиотека, выставочный центр Manchester Central, концертный зал Bridgewater Hall и Heron House. Один энергетический объект обслуживает вторичными продуктами несколько функционально различных городских потребителей. Архитектурной доминантой объекта служит 40-метровая Tower of Light по проекту Tonkin Liu, заключающая внутри себя дымовые каналы энергетического центра (рис. 6). Дымовые каналы обеспечивают отвод и рассеивание продуктов сгорания на значительной высоте относительно окружающей городской застройки. Внешняя оболочка башни выполнена по принципу «Shell Lace Structure» из изогнутых перфорированных стальных листов толщиной 6-8 мм. Ее сложная пространственная форма обеспечивает необходимую жесткость конструкции при минимизации расхода материала и одновременно превращает утилитарное инженерное сооружение в эстетически значимую доминанту общественного района Манчестера¹⁰.



а)

б)

Рис. 6. Tower of Light и Wall of Energy в составе энергетического центра Civic Quarter Heat Network. Архитектурное бюро Tonkin Liu, 2021 г., Манчестер, Великобритания: а) общий вид ТЭЦ; б) схема перераспределения вторичных сред на фасаде ТЭЦ

В качестве примера непосредственной пространственной интеграции энергетической и гражданской функций можно рассмотреть Energy Hub в районе Elephant and Castle в Лондоне, построенный в 2019 году по проекту Morris+Company для Lendlease (рис. 7). Четырехэтажное здание объединяет энергетический центр, общественное кафе, детский сад и небольшой городской парк на крыше. Энергетическая установка обеспечивает теплом и горячей водой около 3000 жилых домов и предприятий района Elephant Park и имеет резерв для подключения еще около 1000 домов¹¹. Производственная и гражданская функции здесь формируют единый объем: энергетическое оборудование и кафе занимают два нижних уровня. Детский сад размещен на верхних этажах. Доступ в парк и на смотровую площадку на крыше обеспечен отдельной лестницей, на которую можно попасть с прилегающей к объекту улицы. Архитектура фасада отражает различие внутренних процессов – крупные окна открывают визуальные связи с энергетическим

⁹ Vital Energi. Manchester Civic Quarter Heat Network. URL: <https://www.vitalenergi.co.uk/case-studies/manchester-civic-quarter-heat-network/> (дата обращения: 25.07.2026).

¹⁰ The Institution of Structural Engineers. Tower of Light. Structural Awards, 2022. URL: <https://www.istructe.org/structural-awards/projects/2022/tower-of-light/> (дата обращения: 25.07.2026).

¹¹ Royal Institute of British Architects. Energy Hub by Morris+Company // RIBA London Awards 2021. Карточка проекта RIBA. URL: <https://www.riba.org/explore/awards/uk-awards/regional-awards/2021/london/energy-hub/> (дата обращения: 25.07.2026).

оборудованием, окна детского сада и общественных помещений имеют меньший размер. Перфорированная металлическая оболочка объединяет разнородные функции в единую композицию. Этот пример показывает вариант совмещающего ИнЭК, при котором энергетическое предприятие перестает быть изолированным производственным объемом, а общественные функции включаются непосредственно в его объемно-планировочную структуру.



Рис. 7. Energy Hub – энергетический центр с интегрированными гражданскими функциями. Архитектурное бюро Morris+Company, 2019 г., Лондон, Великобритания

Характер ресурсной связи определяет расстояние между зданиями, плотность комплекса, конфигурацию инженерных трасс и степень взаимопроникновения функций. Для городской ТЭЦ наиболее перспективно сочетание этих вариантов: крупные промышленные потребители могут размещаться в непосредственной близости от объекта-донора, гражданские потребители вдоль ресурсных трасс на удалении от ТЭЦ. Дополнительные общественные функции могут включаться непосредственно в архитектурную структуру энергетического предприятия и других промышленных объектов ИнЭК. Сочетание этих трех подходов позволит улучшить характеристики городской среды, окружающей ТЭЦ.

Схемы перераспределения вторичных продуктов ТЭЦ

Организация ИнЭК на основе ТЭЦ включает подготовку вторичного продукта, его транспортировку и распределение внутри объекта-потребителя. На первом этапе определяются исходные параметры среды в точке ее забора у энергопроизводящего предприятия. Далее характеристики среды приводятся к требованиям конкретного потребителя посредством теплообмена, снижения или повышения давления и т.д. Эти процессы концентрируются в промежуточном здании-адаптере, которое обеспечивает технологическую связь между производственным оборудованием ТЭЦ и внешней системой потребления. После подготовки вторичный продукт передается к объекту-потребителю по инженерной трассе. На завершающем этапе ресурс распределяется внутри здания-потребителя. Для вторичных продуктов ТЭЦ в теле здания-потребителя формируются отдельные контуры транспортировки и потребления.

Архитектурное решение объектов-потребителей находится в большой зависимости от того, каким образом поступает и распределяется в них вторичный продукт. В исследовании выделены четыре базовые пространственные схемы перераспределения вторичных продуктов производства ТЭЦ, определяющие тип и объемно-пространственные особенности объектов-потребителей: плоскостная, линейная, «оболочка-распределитель» и «стержень-ядро».

Плоскостная схема предполагает размещение основной распределительной инфраструктуры в горизонтальном основании здания или этажа (рис. 8). Трубопроводы горячей воды, паровые линии и воздуховоды концентрируются в основании здания, над которым располагаются основные функциональные пространства. Такая структура формирует преимущественно горизонтально развитый объем и позволяет равномерно распределять ресурс между значительным количеством помещений. Модель применима для объектов с большой площадью застройки и относительно равномерной потребностью в тепловой энергии: тепличных и агропромышленных комплексов, складских зданий. Инженерная система рециркуляции в данном случае формирует самостоятельный нижний пространственный слой, параметры которого влияют на сетку конструкций. Прототипом схемы служит утепленная шведская плита [5].



Рис. 8. Плоскостная схема *плита*: а) принципиальная схема распределения вторичных продуктов ТЭС; б) фото прототипа схемы

Линейная модель основана на размещении распределительной трассы вдоль протяженного участка городской территории (рис. 9). К единой магистрали последовательно подключаются отдельные потребители малой и средней мощности: павильоны, остановки общественного транспорта, участки подогреваемого покрытия и другие элементы благоустройства. Пространственная конфигурация комплекса развивается вдоль инженерной линии, а положение потребителей определяется допустимой дальностью передачи конкретной среды. Такая модель позволяет совмещать инженерную коммуникацию с пешеходным маршрутом, озеленением и системой общественных пространств. В результате трасса транспортировки вторичного продукта становится структурообразующим элементом генерального плана и формирует направленную связь между территорией ТЭС и окружающей городской застройкой. Прототипом схемы служит система отопления «Городской фермы» на ВДНХ¹².

Модель «оболочка-распределитель» предполагает интеграцию распределительной системы во внешний контур здания (рис. 10). Инженерные коммуникации размещаются в трехслойной конструкции фасада и кровли (здание-параллелепипед) или оболочки. Такая организация изменяет тектонику здания: наружное ограждение получает увеличенный размер, в его структуре появляются обслуживаемые технические зоны и распределительные камеры. Таким образом высвобождается внутренний объем для размещения промышленного оборудования. Модель применима для промышленных предприятий, где важна свободная планировка помещений. Внутренний слой формирует основное ограждение отапливаемого объема и содержит трассы подачи ресурсов в помещения к промышленному оборудованию. Средний технический слой выполняет

¹² Тарабарина Ю. Размышления на городской ферме // Архи.ру. 2015. 14 сентября. Публикация о «Городской ферме» на ВДНХ. Электронный ресурс. URL: <https://archi.ru/russia/64821/razmyshleniya-na-gorodskoi-ferme> (дата обращения: 25.07.2026).

микроклиматическую функцию в нем размещаются змеевики воды, пара и воздухопроводы. Внешний слой образует защитную оболочку, предохраняющую инженерные коммуникации от атмосферных воздействий и обеспечивающую доступ к ним для обслуживания. Внешний слой используется также в качестве транспортного: внутри него заложены инженерные коммуникации, подающие вторичные продукты ТЭЦ к другим слоям оболочки. Такая организация увеличивает толщину наружного ограждения. Модель применима для промышленных предприятий и большепролетных объектов, где требуется свободная планировка помещений и равномерное распределение вторичных продуктов по значительной площади здания. Своеобразным прототипом схемы можно считать центр Помпиду в Париже, все коммуникации которого находятся на верхней поверхности его объема [6].

Модель «стержень-ядро» основана на концентрации основных коммуникаций и оборудования передачи энергии в компактном центральном объеме (рис. 11). Вторичные продукты поступают в ядро и далее распределяются по этажам или отдельным помещениям. Вокруг ядра группируются пространства с наиболее высокой и стабильной потребностью в тепловой энергии. Центральный инженерный элемент совмещает функции вертикальной транспортировки ресурсов и организации основных горизонтальных связей. Его положение влияет на глубину корпуса, структуру этажей и взаимное расположение функциональных зон. Прототипом схемы выступает «Лахта-Центр» в Петербурге [7].



а)



б)

Рис. 9. Линейная схема: а) схема распределения вторичных продуктов ТЭЦ в зданиях-потребителях; б) фото прототипа схемы



а)



б)

Рис. 10. Схема оболочка: а) базовая пространственная схема «оболочка-распределитель» подачи вторичных продуктов производства ТЭЦ; б) фото прототипа схемы



Рис. 11. Схема «стержень-ядро»: а) базовая пространственная схема распределения вторичных продуктов производства ТЭЦ «стержень-ядро»; б) фото прототипа схемы

Выбор базовой пространственной схемы распределения ресурсов выполняется после определения доступного состава и количества вторичных продуктов объекта-донора. Для каждой среды устанавливаются ее физические параметры, возможная дальность передачи и требуемые условия адаптации. Полученные характеристики сопоставляются с потребностями потенциальных объектов-потребителей. На следующем этапе определяется состав потребителей, суммарная потребность которых соответствует вырабатываемому ресурсу ТЭЦ. После этого устанавливаются последовательность их подключения и способ транспортировки среды. Для каждого потребителя выбирается одна из базовых пространственных моделей.

Формирование ИнЭК изменяет характер территории, окружающей ТЭЦ. Размещение гражданских объектов-потребителей насыщает прилегающую городскую среду общественными и рекреационными функциями. Здания-потребители формируют промежуточный пространственный слой между закрытой производственной территорией и окружающей жилой и общественной застройкой. За счет этого сокращаются пространственные разрывы, создаваемые крупным производственным объектом, и повышается функциональная насыщенность территорий, примыкающих к ТЭЦ. Вокруг ТЭЦ формируется система дополнительных поперечных и продольных связей, соединяющих ранее разобщенные участки городской ткани.

Подключаемые объекты получают дополнительное преимущество за счет использования вторичных продуктов ТЭЦ в системах поддержания микроклимата и технологических процессах. Использование вторичной тепловой энергии ТЭЦ позволяет сократить потребность объекта в собственных источниках теплоснабжения и уменьшить объем приобретаемой первичной энергии. Это может снижать эксплуатационные затраты потребителя. Для ТЭЦ формируется дополнительное направление полезного использования вторичных продуктов производства, а для объекта-потребителя новый источник энергетических ресурсов. Для города организация ИнЭК формирует основание для функционального и пространственного преобразования территорий, прилегающих к крупному энергетическому предприятию.

В результате формируется пространственная структура ИнЭК, в которой потоки энергии и вторичных продуктов производства ТЭЦ определяют взаимное положение зданий и характер их архитектуры. Объекты с высоким и постоянным потреблением концентрируются ближе к источнику. Потребители меньшей мощности могут формировать последующие уровни. Таким образом, состав ИнЭК определяется соотношением доступных вторичных продуктов и потребностей подключаемых функций.

Заключение

Анализ существующих интегрированных энергетических комплексов позволил выделить две основные группы по типу объекта-потребителя: «промышленный объект-донор + промышленные объекты-потребители» и «промышленный объект-донор + гражданские объекты-потребители». В первой группе определены шесть типов ИнЭК: вертикально интегрированные, горизонтально интегрированные, эоиндустриальные, веерные, индустриальные научные и многоотраслевые комплексы. Во второй группе выделены четыре типа: перераспределяющие, технологичной формы, совмещающие и перерабатывающие комплексы. Сопоставление реализованных примеров показало два принципиальных способа пространственной организации: размещение донора и потребителей в отдельных объемах, связанных инженерной сетью, и совмещение производственных и гражданских объектов в едином архитектурном объеме.

Установлено, что ресурсная связь влияет на пространственную структуру ИнЭК на нескольких уровнях. Физические параметры вторичного продукта и допустимая дальность его передачи определяют расстояние между ТЭЦ и объектом-потребителем, конфигурацию инженерной трассы и последовательность размещения подключаемых объектов. Характер распределения ресурса внутри здания влияет на его габариты, планировочную структуру, положение технических зон и взаимное размещение функциональных помещений. Объекты с высокой и постоянной потребностью в ресурсе целесообразно концентрировать ближе к источнику, потребители меньшей мощности могут формировать последующие уровни структуры комплекса.

Определена последовательность передачи вторичного продукта от ТЭЦ к потребителю. Она включает забор среды у объекта-донора, изменение ее параметров в здании-адаптере, транспортировку по инженерной трассе и распределение внутри объекта-потребителя. Здание-адаптер образует промежуточное звено между технологическим оборудованием ТЭЦ и внешней системой потребления. Такая последовательность позволяет рассматривать инженерную инфраструктуру как самостоятельный элемент архитектурно-пространственной структуры ИнЭК.

Для распределения вторичных продуктов внутри объектов-потребителей сформированы четыре базовые пространственные схемы. Плоскостная схема предназначена для горизонтально развитых зданий с равномерным распределением ресурса по площади. Линейная схема применяется для последовательного подключения малых и средних потребителей вдоль протяженной трассы. Схема «оболочка-распределитель» размещает основные коммуникации во внешнем контуре здания, сохраняя свободным внутренний объем. Схема «стержень-ядро» концентрирует вертикальные и горизонтальные коммуникации в центральном инженерном объеме и применяется для многоуровневых объектов с группировкой потребителей вокруг ядра.

Практическое применение полученных результатов связано с проектированием ИнЭК на базе действующих городских ТЭЦ. Последовательность «объект-донор – адаптер – трасса – объект-потребитель» и четыре базовые пространственные схемы могут использоваться для определения состава потребителей, их взаимного размещения и объемно-планировочной структуры комплекса. Размещение промышленных и гражданских объектов-потребителей на территориях, прилегающих к ТЭЦ, формирует промежуточный пространственный слой между производственной территорией и окружающей городской застройкой, а также создает дополнительные поперечные и продольные связи в городской ткани. Дальнейшее исследование должно быть направлено на количественное сопоставление объемов вторичных продуктов конкретных ТЭЦ с потребностями объектов-потребителей, определение допустимых расстояний передачи каждой среды и разработку архитектурных решений ИнЭК для конкретных градостроительных ситуаций.

Источники иллюстраций

- Рис. 1. URL: <https://www.mosenergo.ru/about/present/branch/hpp-20/> (дата обращения: 30.06.2026).
- Рис. 2. URL: <https://www.kadawittfeldarchitektur.de/projekt/kraftwerk-lausward/> (дата обращения: 30.06.2026). Фотография: Jens Kirchner.
- Рис. 3. URL: <https://www.huftonandcrow.com/projects/gallery/amager-bakke/> (дата обращения: 30.06.2026). Фотография: Hufton + Crow.
- Рис. 4. URL: <https://lf.dk/media/qt2fd4cw/sog-whitepaper-circulareconomy-210x297-v11-web-1.pdf> (дата обращения: 30.06.2026). Иллюстрация: Dansk SymbioseCenter. Официальные современные схемы комплекса также опубликованы на странице Kalundborg Symbiosis.
- Рис. 5. URL: <https://uisjournal.com/heres-how-the-largest-industrial-city-in-the-arab-world-is-made-al-jubayl/> (дата обращения: 30.06.2026).
- Рис. 6. URL: <https://www.archdaily.com/979720/tower-of-light-and-wall-of-energy-tonkin-liu> (дата обращения: 30.06.2026). Фотографии: David Valinsky.
- Рис. 7. URL: https://www.archdaily.com/961643/energy-hub-morris-plus-company?is_allowed_bot=true (дата обращения: 30.06.2026). Фотография: Jack Hobhouse.
- Рис. 8 а) схемы автора; б) URL: <https://astana.proekt-bani.ru/articles/uteplennaja-shvedskaja-plita-ushp> (дата обращения: 30.06.2026).
- Рис. 9 а) схемы автора; б) URL: <https://archi.ru/russia/74696/mir-radosti> (дата обращения: 30.06.2026). Фотография: Митя (Д.) Чебаненко.
- Рис. 10 а) схемы автора; б) URL: <https://archive.np.kz/last/21819-kto-tak-stroit.html> (дата обращения: 30.06.2026).
- Рис. 11 а) схемы автора; б) URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ALakhta_Center_July_2019.jpg (дата обращения: 30.06.2026). Фотография: Linus Folke Jensen.

Список источников

1. Аверьянов В.К. Теплоснабжение городов в контексте развития активных потребителей интеллектуальных энергетических систем / В.К. Аверьянов, Ю.В. Юферева, А.А. Мележик, А.С. Горшков // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 1. С. 78-87. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-78-87
2. Картавцев С.В. Вторичные энергоресурсы промышленных предприятий: учебное пособие / С.В. Картавцев, Е.Г. Нешпоренко. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017. 71 с. ISBN 978-5-9967-0939-7
3. Jacobsen N.B. Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects // Journal of Industrial Ecology. 2006. Vol. 10. № 1-2. P. 239-255. DOI: 10.1162/108819806775545411
4. Tullo A. Sadara Plans Pipeline for Oxide Chemicals // Chemical & Engineering News. 2018. Выпуск. 96. № 23. С. 12.
5. Кузовников Е.С. Обзор изученности вопроса применения фундамента «Утепленная шведская плита» / Е.С. Кузовников, Е.Н. Сычкина // Вестник ПНИПУ. 2019. № 1. С. 6.
6. Возвышаева Т.И. Пятьдесят лет конкурсу на плато Бобур // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 3. С. 11-17. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-3-11-17
7. Илюхина Е.А. Конструктивные решения высотного здания «Лакhta Центр» в Санкт-Петербурге / Е.А. Илюхина, С.И. Лахман, А.Б. Миллер, В.И. Травуш // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 3. С. 110-121. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-3-110-121

References

1. Averyanov V.K., Yuferov Yu.V., Melezhik A.A., Gorshkov A.S. Heat supply of cities in the context of the development of active consumers of intelligent energy systems. *Academia. Architecture and Construction*, 2018, no. 1, pp. 78-87. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-1-78-87
2. Kartavtsev S.V., Neshporenko E.G. *Vtorichnie energoresursi promishlennish predpriatii: uchebnoe posobie* [Secondary energy resources of industrial enterprises: a tutorial]. Magnitogorsk, 2017, 71 p. ISBN 978-5-9967-0939-7
3. Jacobsen N.B. Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects. *Journal of Industrial Ecology*, 2006, vol. 10, no. 1-2, pp. 239-255. DOI: 10.1162/108819806775545411
4. Tullo A. Sadara Plans Pipeline for Oxide Chemicals. *Chemical & Engineering News*, 2018, Issue 96, no. 23, p. 12.
5. Kuzovnikov E.S., Sychkina E.N. Review of the study of the issue of using the "Insulated Swedish Slab" foundation. *Bulletin of PNIPU*, 2019, Issue 1, p. 6.
6. Vozvyshaeva T.I. Fifty Years of the Bobur Plateau Competition. *Academia. Architecture and Construction*, 2019, Issue 3, pp. 11-17. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-3-11-17
7. Ilyukhina E.A., Lakhman S.I., Miller A.B., Travush V.I. Structural Solutions for the Lakhta Center High-Rise Building in St. Petersburg. *Academia. Architecture and Construction*, 2019, Issue 3, pp. 110-121. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-3-110-121

ОБ АВТОРЕ

Помялов Владимир Алексеевич

Аспирант кафедры «Информационные технологии в архитектуре», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия
PVA754@gmail.com

ABOUT THE AUTHOR

Pomyalov Vladimir A.

Postgraduate Student at the Department of Information Technologies in Architecture, Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia
PVA754@gmail.com