Амбидекстрия в принятии решений при управлении тепловыми сетями: интеграция эксплуатационных и инновационных задач средствами цифровых двойников

Скворцова Инга Викторовна
доктор экономических наук, доцент Высшей школы промышленного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ingaskvor@spbstu.ru,

Чаюк Сергей Владимирович
старший преподаватель Высшей школы промышленного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, chayuk_sv@spbstu.ru,

Сомов Андрей Георгиевич — кандидат экономических наук, старший преподаватель Высшей школы промышленного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, somov_ag@spbstu.ru

В статье рассматривается проблема организационной амбидекстрии применительно к управлению тепловыми сетями. Необходимость одновременного решения эксплуатационных задач, надёжное и безаварийное теплоснабжение. А также инновационных задач, предиктивная аналитика, оптимизация режимов и переход к низкотемпературным системам. Цель исследования — это разработка концептуальной модели интеграции этих задач на основе технологии цифровых двойников. С использованием теоретической рамки организационной амбидекстрии. Использованы систематизация типов амбидекстрии применительно к теплоснабжению и качественный сравнительный анализ практик трёх теплоснабжающих организаций с разным уровнем цифровой зрелости. Предложена модель, включающая уровень данных, уровень моделирования с эксплуатационным и инновационным контурами и уровень принятия решений. А также матрица надёжности и инновационности для классификации управленческих решений. Обоснована возможность использования цифрового двойника как технологической основы перехода от структурной амбидекстрии к контекстуальной. Разработана система показателей эффективности амбидекстрального управления и сформулированы рекомендации по поэтапному внедрению. Результаты могут использоваться при формировании стратегий цифровой трансформации теплоснабжающих предприятий на основе создания цифровых двойников тепловых сетей.

Ключевые слова: организационная амбидекстрия, тепловые сети, цифровой двойник, эксплуатация (exploitation), исследование (exploration), теплоснабжение, принятие решений, цифровая трансформация, предиктивная аналитика, управление инфраструктурой.

Исследование выполнено при поддержке Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности» в рамках договора № 25-РБ-09-28 от 23 декабря 2025 г. «Разработка интеллектуальной системы адаптивного прогнозирования теплопотребления в городской среде на основе цифрового двойника тепловой сети и ИИ-ориентированного климатического сценарного моделирования».

Введение

Современные теплоснабжающие предприятия Российской Федерации функционируют в условиях двойственного давления: с одной стороны, необходимость обеспечения бесперебойной и безаварийной эксплуатации тепловых сетей требует отлаженных рутинных процессов, с другой — нарастающие требования к энергоэффективности, декарбонизации и цифровизации предполагают инновационное обновление технологий и управленческих практик. По данным Минэнерго России, приведённым в [1], в 2020 г. в стране функционировало около 600 тепловых электростанций и свыше 76,5 тыс. отопительных котельных, вырабатывавших в совокупности около 1221 млн Гкал тепловой энергии. При этом состояние основных фондов теплоснабжающих организаций характеризуется значительным износом трубопроводов и оборудования, высокой повреждаемостью и существенными тепловыми потерями [2].

Данное противоречие между потребностью в стабильной эксплуатации стареющей инфраструктуры и необходимостью технологического обновления концептуально описывается теорией организационной амбидекстрии, сутью которой является поиск равновесия между эксплуатацией существующих компетенций (exploitation) и исследованием новых возможностей (exploration) [3–5]. Концепция получила развитие в работах ряда зарубежных и отечественных исследователей, в том числе применительно к банковскому сектору [6], высшему образованию [7] и малому и среднему бизнесу [8]. В отечественной научной литературе вопросы организационной амбидекстрии активно разрабатываются с 2010-х годов, однако их приложение к инфраструктурным системам теплоснабжения до сих пор не получило систематического рассмотрения.

Понятие амбидекстрии (из физиологии: способность одинаково владеть обеими руками) обозначает способность организации одновременно осуществлять два типа деятельности: эксплуатацию — совершенствование существующих процессов, снижение издержек, повышение операционной эффективности — и исследование, т. е. поиск новых возможностей, создание принципиально иных продуктов и технологий [3]. В контексте теплоснабжения эксплуатация включает мониторинг параметров теплоносителя, оперативное устранение аварий и соблюдение температурных графиков. Исследование предполагает внедрение предиктивной аналитики, оптимизацию режимов на основе машинного обучения и переход к низкотемпературным системам теплоснабжения четвёртого поколения, а также интеграцию распределённых источников тепла. Как показывают отечественные исследования, надёжность тепловых сетей остаётся одной из ключевых проблем отрасли [9]. Это делает вопрос баланса между стабильностью эксплуатации и инновационным развитием актуальным.

Для теплоснабжающих организаций характерно смещение к одному из полюсов. К гиперэксплуатации с минимизацией рисков и стагнацией технологического развития, или к инновационным проектам, которые при недостаточной верификации повышают операционные риски. Первый сценарий ведёт к накоплению технологического отставания и росту аварийности в долгосрочной перспективе. Второй сценарий ведет к риску сбоев в обеспечении потребителей тепловой энергией. Инструментом, способным обеспечить интеграцию обоих направлений, выступает технология цифровых двойников, позволяющая создать виртуальную копию тепловой сети для одновременного решения эксплуатационных и инновационных задач [10]. Опыт ПАО «Т Плюс» по внедрению цифрового двойника системы теплоснабжения Екатеринбурга показал, что подобные решения приводят к снижению повреждаемости сетей и тепловых потерь.

Целью настоящей статьи является разработка концептуальной модели интеграции эксплуатационных и инновационных задач управления тепловыми сетями на основе технологии цифровых двойников с использованием теоретической рамки организационной амбидекстрии. Задачи исследования: систематизировать типы организационной амбидекстрии применительно к теплоснабжению; оценить возможности цифровых двойников как интеграционной платформы; построить трёхуровневую модель амбидекстрального управления; разработать систему ключевых показателей эффективности; обосновать рекомендации по внедрению. Гипотеза исследования состоит в том, что цифровой двойник тепловой сети может выступать технологическим фундаментом контекстуальной амбидекстрии, обеспечивая единую информационную среду для эксплуатационных и инновационных задач. Научная новизна заключается в адаптации теории организационной амбидекстрии к

инфраструктурным системам теплоснабжения и в обосновании роли цифрового двойника как технологической основы контекстуальной амбидекстрии.

1. Теоретические основы организационной амбидекстрии в управлении инфраструктурными системами

Теория организационной амбидекстрии берёт начало в работе Дж. Марча, разграничившего два режима организационного обучения, эксплуатацию и исследование [3]. В работах М. Ташмена и Ч. О'Райли рассматривается амбидекстральные организации [4]. В обзоре А. А. Сидоровой, в отечественной и зарубежной литературе выделяют четыре основных типа амбидекстрии. А именно, последовательную, структурную, контекстуальную и межорганизационную [5]. Типы различаются механизмами разрешения противоречия между эксплуатацией и инновациями, ресурсными требованиями и ограничениями.

Последовательная амбидекстрия предполагает чередование периодов эксплуатации и инновационного обновления во времени. В теплоснабжении данный подход естественным образом реализуется в межотопительный период. Который используемый для модернизации оборудования, замены участков трубопроводов и внедрения новых технологических решений. Однако нарастающая сложность систем и необходимость круглогодичного функционирования горячего водоснабжения ограничивают возможности последовательного переключения между режимами. Кроме того, продолжительность инновационного цикла в теплоснабжении зачастую значительно превышает межотопительный период, что делает последовательную амбидекстрию недостаточной для масштабных проектов модернизации.

Структурная амбидекстрия реализуется через создание специализированных подразделений: эксплуатационные службы обеспечивают текущее функционирование сетей, а подразделения развития и проектные офисы занимаются инновационными проектами. Данная модель широко распространена в крупных теплоснабжающих организациях, однако порождает проблему «силосного мышления», т. е. функциональной изоляции подразделений друг от друга. Как показано А. Б. Антиповым на примере крупнейших российских финансовых организаций, даже в высокоразвитых компаниях двойственная модель управления требует специальных координационных механизмов для синергии операционной и инновационной деятельности [6].

Для инфраструктурных предприятий с жёсткой иерархией и высокими требованиями безопасности этот тип амбидекстрии сложен в реализации, однако перспективен при условии создания цифровой среды принятия решений, которая предоставляет диспетчерам и инженерам инструменты для одновременного решения задач обоих типов. Эмпирические исследования показывают, что сбалансированная инновационная амбидекстрия повышает результативность организаций и снижает её вариативность, причём в условиях высокой технологической неопределённости этот эффект усиливается [8].

Межорганизационная амбидекстрия предполагает распределение эксплуатационных и исследовательских функций между организациями-партнёрами — в теплоснабжении это взаимодействие эксплуатирующих организаций с научно-исследовательскими институтами, разработчиками программного обеспечения и поставщиками IoT-решений. Её применимость ограничивают координационные издержки и проблемы защиты интеллектуальной собственности.

Ограничением для любого типа амбидекстрии в теплоснабжении является высокая инерционность инфраструктурных систем. Изменение режимов влечёт последствия для тысяч потребителей и требует значительного времени для выхода на новое стационарное состояние. Это определяет консервативность решений и склонность к гиперэксплуатации. В исследованиях интеллектуального капитала амбидекстральных организаций структурный капитал, включая информационную инфраструктуру, рассматривается как одна из предпосылок реализации амбидекстрии. Это имеет принципиальное значение для обоснования роли цифровых двойников как платформы амбидекстрального управления.

Таблица 1
Типы организационной амбидекстрии и их применимость к управлению тепловыми сетями

Тип амбидекстрии	Механизм реализации	Преимущества для теплоснабжения	Ограничения
Последовательная	Чередование периодов эксплуатации и обновления во времени	Естественная привязка к межотопительному сезону; минимизация рисков при модернизации	Ограниченная длительность «окна инноваций»; невозможность непрерывного совершенствования
Структурная	Создание отдельных подразделений для эксплуатации и развития	Специализация компетенций; чёткое разделение ответственности	«Силосное мышление»; разрыв между потребностями эксплуатации и идеями развития
Контекстуальная	Единая среда, где каждый сотрудник балансирует задачи обоих типов	Максимальная интеграция; быстрая обратная связь между инновациями и эксплуатацией	Высокие требования к квалификации персонала и информационной инфраструктуре
Межорганизационная	Партнёрства с НИИ, ИТ-компаниями, вузами	Привлечение внешних компетенций; доступ к передовым технологиям	Координационные издержки; проблемы защиты интеллектуальной собственности

Основной тезис настоящей работы, смотри таблицу 1, заключается в том, что технология цифрового двойника создаёт условия для перехода от структурной и последовательной амбидекстрии к контекстуальной. Это обеспечивает единую информационную среду для интеграции эксплуатационных и инновационных задач. При этом цифровой двойник следует рассматривать как технологическую предпосылку контекстуальной амбидекстрии, а не как её гарантию. Контекстуальная амбидекстрия формируется организационным контекстом и поведением сотрудников, поэтому наряду с цифровой платформой необходимы делегирование полномочий, культура экспериментирования, кросс-функциональное взаимодействие, соответствующие компетенции персонала и система мотивации.

2. Цифровые двойники тепловых сетей: эксплуатационные и инновационные возможности

Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель физического объекта, синхронизированную с реальными данными посредством телеметрии и предназначенную для мониторинга, моделирования, прогнозирования и оптимизации [10]. В энергетике цифровые двойники строятся на основе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), телеметрии и данных IoT-устройств (датчики давления, температуры и расхода, акустические сенсоры).

Применительно к тепловым сетям цифровой двойник решает двоякую задачу, что делает его естественным инструментом амбидекстрального управления. Он обеспечивает комплекс эксплуатационных функций, мониторинг давления и температуры на всех участках сети. Выявление утечек и нештатных ситуаций; калибровку гидравлических моделей по фактическим параметрам. Оптимизацию гидравлических и тепловых режимов с учётом погоды, загрузки источников и состояния оборудования. А также формирование режимных карт с высокой частотой обновления. Далее, цифровой двойник создаёт пространство для инновационного экспериментирования. Моделирование сценариев переключения источников, оценку эффектов модернизации участков сети без остановки действующей системы. А также тестирование алгоритмов предиктивной диагностики и машинного обучения. Проработку вариантов интеграции распределённых и возобновляемых источников тепла, оптимизацию планов капитальных ремонтов по прогнозу остаточного ресурса трубопроводов.

Наиболее показательный пример интеграции эксплуатационных и инновационных задач в российской теплоэнергетике цифровой двойник системы теплоснабжения Екатеринбурга ПАО Т Плюс. Проект, начатый в 2018 году, включал автоматизацию 388 центральных тепловых пунктов. Создание единого диспетчерского пункта, модернизацию насосных станций и создание единой интеллектуальной системы учёта тепловой энергии. На завершающем этапе, внедрение динамической расчётной модели теплоснабжения города на базе программного обеспечения Termis. Система введена в эксплуатацию в декабре 2020 года, стоимость проекта 1,5 млрд рублей. Результатами первого года эксплуатации стали снижение числа повреждений тепловых сетей на 10 процентов. Сокращение тепловых потерь на 1,5 процента, переход от двух статических режимных карт к обновлению режимной карты каждые 30 минут. А также проведение летней ремонтной кампании 2021 году без отключений горячего водоснабжения у потребителей. Программа цифровизации компании предусматривает инвестиции в объёме 42 млрд рублей для тиражирования решения во всех 16 регионах присутствия.

Помимо прямых эксплуатационных эффектов, проект создал платформу для инноваций. Моделирование аварийных сценариев, оптимизацию загрузки ТЭЦ и котельных и проработку вариантов замены магистральных участков. А также тестирование новых алгоритмов управления режимами без риска для реальной инфраструктуры. Вопросы использования мультиагентной архитектуры для обеспечения живучести систем теплоснабжения, включая четырёхуровневую иерархию агентов от источников тепла до координационного управления, остаются дискуссионными и требуют дальнейшего исследования. Существенным риском тиражирования подобных решений является зависимость от зарубежного программного обеспечения. Расчётное ядро екатеринбургского проекта Termis является импортным продуктом, разработка Schneider Electric, что было отмечено уже при его запуске.

3. Концептуальная модель амбидекстрального управления тепловыми сетями на основе цифрового двойника

На основе проведённого теоретического анализа и обобщения практического опыта предлагается трёхуровневая концептуальная модель, объединяющая эксплуатационный и инновационный контуры управления тепловыми сетями посредством цифрового двойника, смотри рисунок 1. Модель базируется на принципах контекстуальной амбидекстрии, адаптированных к инерционным инфраструктурным системам с жёсткими требованиями к надёжности. Она включает три взаимосвязанных уровня, данных, моделирования и принятия решений. Приводимые ниже количественные параметры, сформулированы авторами на основе обобщения практики и подлежащие уточнению для конкретной сети.

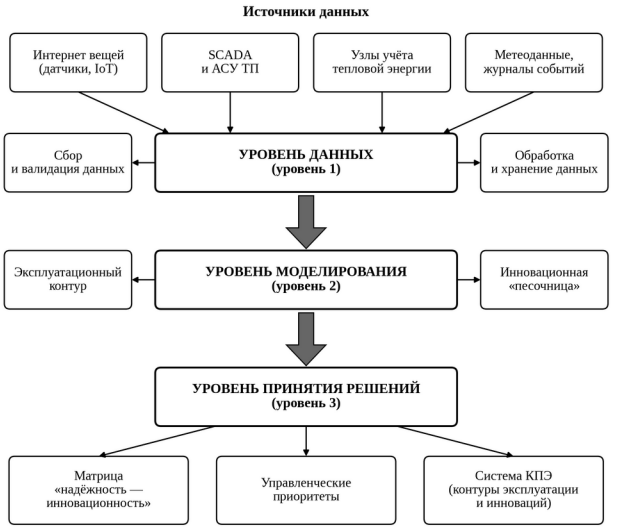


Рисунок 1 — Модель амбидекстрального управления тепловыми сетями на основе цифрового двойника

Уровень 1, уровень данных. Данный уровень обеспечивает сбор, агрегацию и первичную обработку данных SCADA-систем, датчиков давления, температуры и расхода, узлов учёта тепловой энергии. А также метеорологических сервисов, систем диспетчеризации и журналов аварийных событий. Для эксплуатационного контура критичны полнота и оперативность данных, рекомендуемая задержка не более 30 с. Для инновационного контура глубина исторических архивов, ориентировочно от 3 до 5 отопительных сезонов и более. А также возможность интеграции нестандартных источников, компьютерное зрение, акустическая диагностика и термография. На данном уровне реализуется «двойной поток данных»: один поток направляется в систему оперативного управления, другой — в аналитическое хранилище для исследовательских задач. Обеспечение качества данных (валидация, очистка от шумов, заполнение пропусков) выполняется на границе уровня данных и уровня моделирования.

Уровень 2 — уровень моделирования. Включает два параллельных, но взаимосвязанных модельных контура. Эксплуатационный контур содержит калиброванные гидравлические и тепловые модели реального времени, обеспечивающие расчёт оптимальных режимов с учётом погодных условий и суточных графиков потребления; распределение нагрузки между источниками тепла; прогнозирование параметров системы с горизонтом, в зависимости от задачи, от 30 минут до 72 часов; автоматическое формирование режимных карт. Инновационный контур — «песочница», изолированная среда вычислительных экспериментов на той же модели и тех же данных, что и эксплуатационный контур, но без влияния на реальную систему. В «песочнице» тестируются алгоритмы предиктивной диагностики трубопроводов, моделируются сценарии интеграции новых, в том числе возобновляемых, источников тепла и перехода на низкотемпературные режимы четвёртого поколения, прорабатываются планы капитальных ремонтов на основе прогноза остаточного ресурса. Работа обоих контуров на единой математической основе обеспечивает согласованность результатов и возможность контролируемого переноса апробированных инноваций в эксплуатационный контур.

Уровень 3 — уровень принятия решений. Верхний уровень модели реализует механизм амбидекстральной балансировки, т. е. формирование управленческих решений с учётом двух фундаментальных критериев: операционной надёжности (риски перебоев теплоснабжения, нормативные параметры теплоносителя) и инновационной ценности (потенциал повышения эффективности, снижения издержек и качества обслуживания). Для структурирования процесса принятия решений предлагается матрица «надёжность — инновационность», классифицирующая решения по четырём квадрантам (таблица 2). Матрица позволяет персоналу видеть позицию каждого решения в координатах амбидекстрии, а цифровой двойник выступает инструментом перевода решений из квадрантов высокого риска в целевой квадрант путём предварительного моделирования последствий в «песочнице».

Надёжность решения оценивается как высокая при наличии подтверждённой, в том числе в «песочнице», оценки рисков нарушения теплоснабжения и параметров теплоносителя; инновационность — по степени новизны технологии для организации и ожидаемому эффекту по показателям таблицы 4. Механизм перехода между квадрантами матрицы определяется степенью готовности инновации: после успешного тестирования в «песочнице» цифрового двойника (квадрант «инновационного прорыва») решение проходит стадию пилотного внедрения и, при подтверждении положительных результатов, переводится в целевой квадрант амбидекстрии. Тем самым цифровой двойник обеспечивает «мягкий» переход от исследования к эксплуатации, снижая риски, традиционно ассоциируемые с инновациями в инфраструктурных системах.

Таблица 2
Матрица «надёжность — инновационность» управленческих решений

Тип решения	Высокая надёжность	Низкая надёжность
Высокая инновационность	Целевой квадрант амбидекстрии: внедрение апробированных в «песочнице» инноваций с контролем рисков через цифровой двойник. Примеры: предиктивная диагностика, оптимизация режимов на основе машинного обучения	Квадрант «инновационного прорыва»: высокий потенциал, но необходимо поэтапное пилотирование и тщательная верификация в «песочнице». Примеры: переход на низкотемпературные режимы, интеграция возобновляемых источников энергии
Низкая инновационность	Квадрант «стабильной эксплуатации»: поддержание текущих режимов, оптимизация в рамках существующих технологий. Примеры: ППР, соблюдение температурного графика	Квадрант «стагнации»: высокий износ инфраструктуры при отсутствии технологического развития. Примеры: эксплуатация устаревших участков без планов замены

Таблица 3
Сравнительный анализ амбидекстрии теплоснабжающих организаций, данные по организациям Б и В экспертные оценки

Параметр	Организация А (высокая цифровая зрелость)	Организация Б (средняя цифровая зрелость)	Организация В (низкая цифровая зрелость)
Наличие цифрового двойника	Полноценный цифровой двойник системы теплоснабжения в промышленной эксплуатации	Локальные расчётные модели отдельных участков сети; автоматизация части ЦТП	Отсутствует; диспетчеризация на основе ручных расчётов
Тип амбидекстрии	Контекстуальная: единая цифровая платформа для эксплуатации и инноваций	Структурная: выделенный отдел развития, слабо интегрированный с эксплуатацией	Последовательная: инновации только в межотопительный период
Баланс «эксплуатация / исследование» (exploitation / exploration)	Преобладание эксплуатации при растущей доле инновационного контура	Выраженное доминирование эксплуатации; инновационный контур ограничен пилотными проектами	Практически исключительно эксплуатация
Инновационные проекты (примеры)	Предиктивная диагностика; оптимизация загрузки источников на основе машинного обучения; автоматическое формирование режимных карт	Пилотный проект по автоматизации ЦТП; модернизация узлов учёта	Точечная замена оборудования по аварийным заявкам
Динамика повреждаемости сетей	Снижение на 10 % за первый год работы цифрового двойника	Стабильный уровень	Рост
Тепловые потери	Снижение на 1,5 %	Без существенных изменений	Рост вследствие износа изоляции

4. Анализ практик амбидекстрального управления в российских теплоснабжающих организациях

Для верификации предложенной модели проведён качественный сравнительный анализ практик трёх крупных теплоснабжающих организаций Российской Федерации, различающихся по уровню цифровой зрелости. Единицей анализа выступала организация в целом. Уровень цифровой зрелости оценивался по трём критериям: наличие и охват цифрового двойника (расчётной модели) сети, доля автоматизированных ЦТП, охват сети приборами учёта; тип амбидекстрии определялся по признакам, приведённым в таблице 1 (распределение инновационной деятельности во времени и в структуре, наличие единой информационной среды). Организация А — ПАО «Т Плюс» (система теплоснабжения Екатеринбурга); оценка основана на открытых данных компании и отраслевых публикациях. Организации Б и В охарактеризованы по годовым отчётам, материалам отраслевых конференций и экспертным оценкам. Их названия не раскрываются по условиям конфиденциальности, поэтому соответствующие оценки носят качественный характер. Соотношение эксплуатационной и исследовательской деятельности оценивалось экспертно по доле проектов и ресурсов инновационного контура и приведено в качественных категориях. Результаты сопоставлены с типологией раздела 1 и моделью раздела 3, смотри таблицу 3.

Сопоставление кейсов показывает качественное соответствие между уровнем цифровой зрелости и типом реализуемой амбидекстрии. Организация А внедрившая цифровой двойник с покрытием всех уровней от источников тепла до потребителей. Она демонстрирует контекстуальную амбидекстрию, эксплуатационные и инновационные задачи решаются на единой платформе с быстрой обратной связью. А также контролируемым переносом апробированных

решений в эксплуатацию. Организации Б и В, не имеющие интеграционного инструмента, разделяют деятельность структурно или последовательно, что ведёт к устойчивому дисбалансу в пользу эксплуатации и накоплению технологического отставания.

Результаты согласуются с представлением о роли структурного капитала, включая информационную инфраструктуру, в реализации амбидекстрии и с выдвинутой гипотезой о том, что цифровой двойник может выступать технологическим фундаментом контекстуальной амбидекстрии в инфраструктурных компаниях. Существенным фактором также является интеллектуальный капитал: квалификация персонала, способного работать и с задачами эксплуатации, и с инструментами цифрового моделирования. Оценки состояния основных фондов [2] и эффективности систем теплоснабжения муниципальных образований [1] дополнительно подтверждают необходимость амбидекстрального подхода как средства преодоления стагнации в отрасли.

Заключение

В статье предложен подход к балансированию эксплуатационных и инновационных задач в управлении тепловыми сетями через призму теории организационной амбидекстрии: разработана трёхуровневая концептуальная модель, связывающая уровни данных, моделирования и принятия решений посредством цифрового двойника, и обосновано, что наиболее перспективным для теплоснабжающих организаций типом амбидекстрии является контекстуальная, предполагающая интеграцию обоих типов задач на единой цифровой платформе.

Сравнительный анализ практик российских теплоснабжающих организаций (таблица 3) выявил качественное соответствие между уровнем цифровой зрелости и характером реализации амбидекстрального подхода; матрица «надёжность — инновационность» (таблица 2).

Практическая значимость исследования состоит в том, что модель применима при формировании стратегий цифровой трансформации теплоснабжающих предприятий, разработке технических заданий на цифровые двойники тепловых сетей и оценке эффективности реализованных проектов цифровизации.

Ограничениями исследования являются его преимущественно концептуальный характер, малое число рассмотренных кейсов, отсутствие формализованной шкалы цифровой зрелости и экспертный характер оценок; названия организаций Б и В не раскрываются по условиям конфиденциальности, что ограничивает возможность независимой верификации соответствующих данных. Дальнейшие исследования предполагают количественную верификацию модели на статистических данных конкретных предприятий методами регрессионного и факторного анализа; разработку формализованных метрик амбидекстрии для инфраструктурных организаций, включая интегральный индекс; изучение роли мультиагентных архитектур и семантических моделей в амбидекстральном управлении.

Литература

1. Бойко Е. Е., Бык Ф. Л., Илюшин П. В., Мышкина Л. С. Эффективность теплоснабжения муниципальных образований // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2023. № 4. С. 66–78. DOI: 10.31857/S0002331023040040.
2. Малкова Т. Б., Гамм М. В., Пахоменко Е. С. Анализ состояния основных фондов в контексте трендов развития отечественной отрасли теплоснабжения // Жилищные стратегии. 2023. Т. 10, № 4. С. 455–466. DOI: 10.18334/zhs.10.4.118906.
3. March J. G. Exploration and exploitation in organizational learning // Organization Science. 1991. Vol. 2, No. 1. P. 71–87. DOI: 10.1287/orsc.2.1.71.
4. Tushman M. L., O'Reilly C. A. III. Ambidextrous organizations: Managing evolutionary and revolutionary change // California Management Review. 1996. Vol. 38, No. 4. P. 8–30. DOI: 10.2307/41165852.
5. Сидорова А. А. Организационная амбидекстрия: концептуальные основы и современные подходы // Государственное управление. Электронный вестник. 2023. № 98. С. 86–95. DOI: 10.24412/2070-1381-2023-98-86-95.
6. Антипов А. Б. Организационная амбидекстрия как ответ на подрывные инновации рынка банковских услуг // ЭКО. 2026. Т. 56, № 1. С. 111–131. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2026-1-111-131.
7. Сидорова А. А. Университет как организация-амбидекстр // Государственное управление. Электронный вестник. 2025. № 108. С. 172–184. DOI: 10.55959/MSU2070-1381-108-2025-172-184.
8. Smara R., Bogatyreva K., Laskovaia A., Van Wagoner H. P. Does striking a balance pay off? Implications of innovative ambidexterity for SMEs during COVID-19 crisis // Journal of Entrepreneurship in Emerging Economies. 2024. Vol. 16, No. 3. P. 649–674. DOI: 10.1108/JEEE-05-2022-0139.
9. Горбунова Т. Г., Ваньков Ю. В., Медяков А. А. Надёжность тепловых сетей: теория и практика // Надёжность и безопасность энергетики. 2017. Т. 10, № 4. С. 275–279.
10. Сосфенов Д. А. Цифровой двойник: история возникновения и перспективы развития // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 4. С. 35–43. DOI: 10.25198/2077-7175-2023-4-35.

Ambidexterity in decision-making for heat network management: integrating operational and innovation activities through digital twins

Skvortsova I.V., Chayuk S.V., Somov A.G.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

JEL classification: B00, D20, E22, E44, L23, L51, L52, M11, M20, M30, Z33

The article examines organizational ambidexterity as applied to the management of district heating networks. Heat supply companies must simultaneously address operational objectives — reliable and failure-free heat supply — and innovation objectives, including predictive analytics, optimization of operating regimes, and the transition to low-temperature systems. The aim of the study is to develop a conceptual model integrating these two classes of objectives on the basis of digital twin technology, using organizational ambidexterity as the theoretical framework. The methods include a systematization of ambidexterity types in heat supply and a qualitative comparative analysis of three heat supply organizations with differing levels of digital maturity. The proposed model comprises a data layer, a modelling layer with operational and innovation loops, and a decision-making layer, together with a reliability–innovativeness matrix for classifying managerial decisions. The study substantiates the use of the digital twin as a technological basis for the transition from structural to contextual ambidexterity. A system of performance indicators for ambidextrous management is developed, and recommendations for phased implementation are formulated. The results may be applied in formulating digital transformation strategies for heat supply enterprises based on the creation of digital twins of district heating networks.

Keywords: organizational ambidexterity, heat networks, digital twin, exploitation, exploration, heat supply, decision-making, digital transformation, predictive analytics, infrastructure management.

This research was supported by the Saint Petersburg State Autonomous Institution "Fund for Support of Scientific, Scientific-Technical and Innovation Activities" under Contract No. 25-RB-09-28 dated December 23, 2025, "Development of an Intelligent System for Adaptive Forecasting of Heat Consumption in an Urban Environment Based on a Digital Twin of the Heat Network and AI-Based Climate Scenario Modeling."

References

1. Boyko E. E., Byk F. L., Ilyushin P. V., Myshkina L. S. Efficiency of heat supply of municipalities. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Energetika, 2023, no. 4, pp. 66–78. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0002331023040040.
2. Malkova T. B., Gamm M. V., Pakhomenko E. S. Fixed assets of heat supply in the context of trends in the development of the domestic heat supply industry. Russian Journal of Housing Research, 2023, vol. 10, no. 4, pp. 455–466. (In Russ.) DOI: 10.18334/zhs.10.4.118906.
3. March J. G. Exploration and exploitation in organizational learning. Organization Science, 1991, vol. 2, no. 1, pp. 71–87. DOI: 10.1287/orsc.2.1.71.
4. Tushman M. L., O'Reilly C. A. III. Ambidextrous organizations: Managing evolutionary and revolutionary change. California Management Review, 1996, vol. 38, no. 4, pp. 8–30. DOI: 10.2307/41165852.
5. Sidorova A. A. Organizational ambidexterity: conceptual foundations and modern approaches. Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyi vestnik = Public Administration. E-journal, 2023, no. 98, pp. 86–95. (In Russ.) DOI: 10.24412/2070-1381-2023-98-86-95.
6. Antipov A. B. Organizational ambidexterity as a response to disruptive innovations in the banking services market. ECO, 2026, vol. 56, no. 1, pp. 111–131. (In Russ.) DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2026-1-111-131.
7. Sidorova A. A. University as an ambidextrous organization. Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyi vestnik = Public Administration. E-journal, 2025, no. 108, pp. 172–184. (In Russ.) DOI: 10.55959/MSU2070-1381-108-2025-172-184.
8. Smara R., Bogatyreva K., Laskovaia A., Van Wagoner H. P. Does striking a balance pay off? Implications of innovative ambidexterity for SMEs during COVID-19 crisis. Journal of Entrepreneurship in Emerging Economies, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 649–674. DOI: 10.1108/JEEE-05-2022-0139.
9. Gorbunova T. G., Vankov Yu. V., Medyakov A. A. Reliability of heat networks: theory and practice. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 275–279. (In Russ.)
10. Sosfenov D. A. Digital twin: history of origin and development prospects. Intellekt. Innovatsii. Investitsii = Intellect. Innovations. Investments, 2023, no. 4, pp. 35–43. (In Russ.) DOI: 10.25198/2077-7175-2023-4-35.