

КГЭУ

Казанский государственный энергетический университет

Международная научно-техническая конференция

«Технологический суверенитет и цифровая трансформация»

3 апреля 2025 года

Цифровизация энергоснабжения и энергопотребления в жилищном секторе



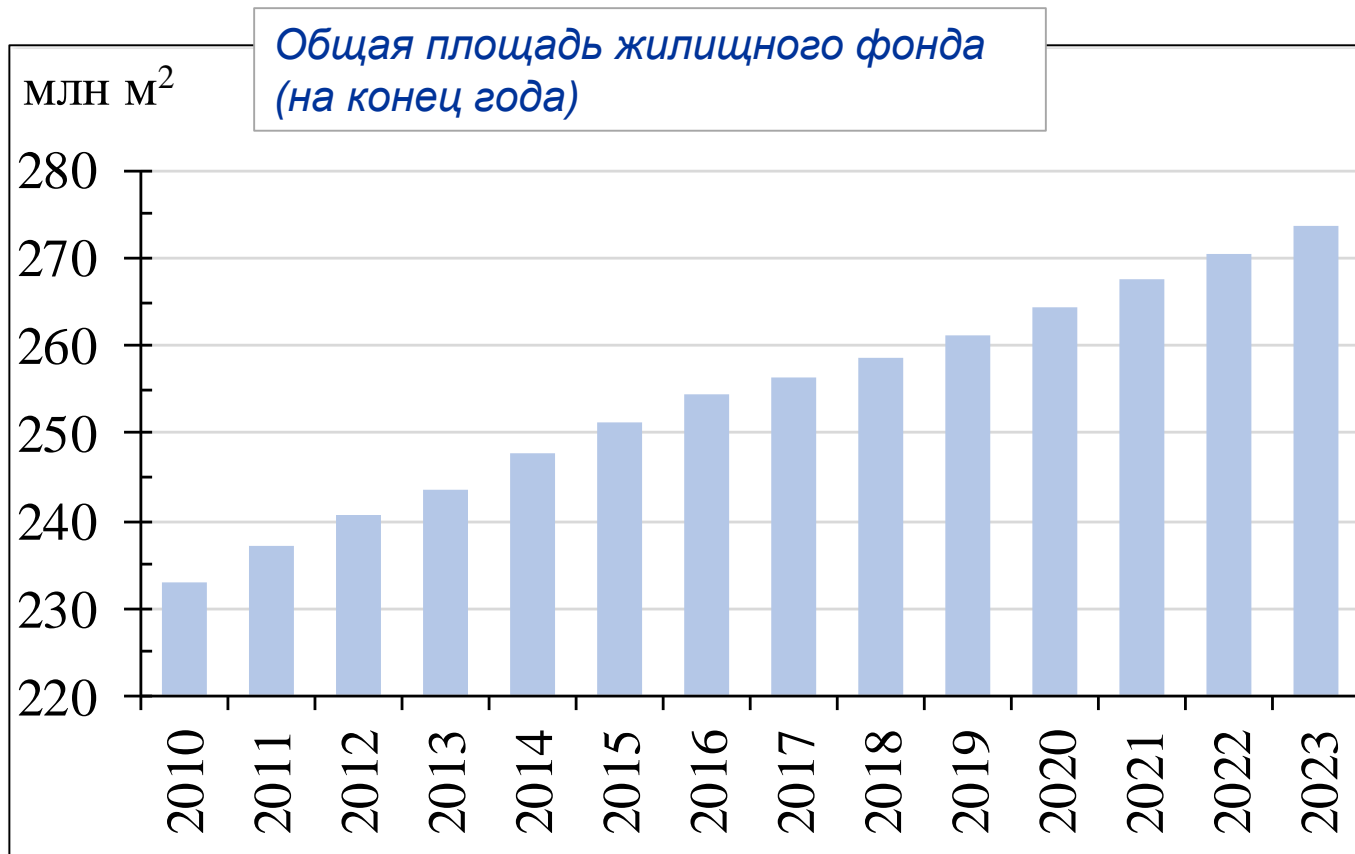
Татьяна Зорина

Александр Гребеньков

*Институт энергетики
Национальной академии наук
Беларуси*



Жилищный фонд Республики Беларусь и энергопотребление



Число зданий \approx 1,7 млн; многоэтажные \approx 65%.
Прогноз \approx 345,4 млн м² (в 2050 году)

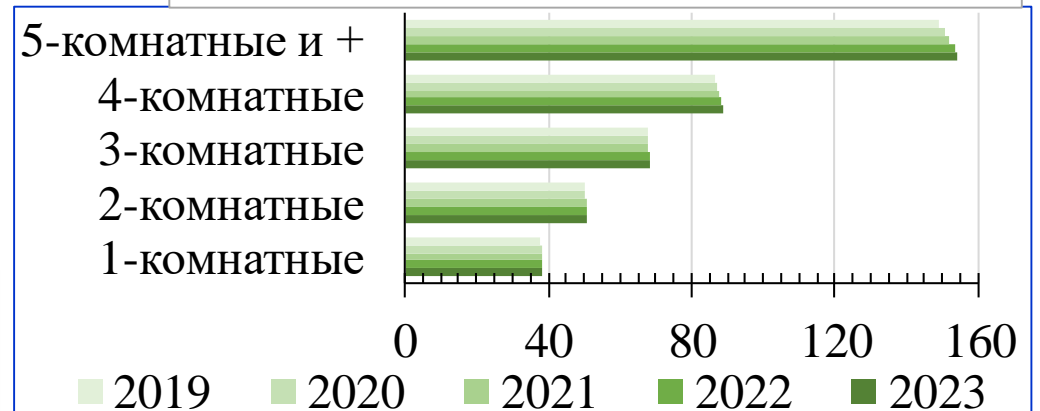
Городская инфраструктура потребляет:

- 45,2% вырабатываемой электроэнергии
- 58,6% производимой тепловой энергии

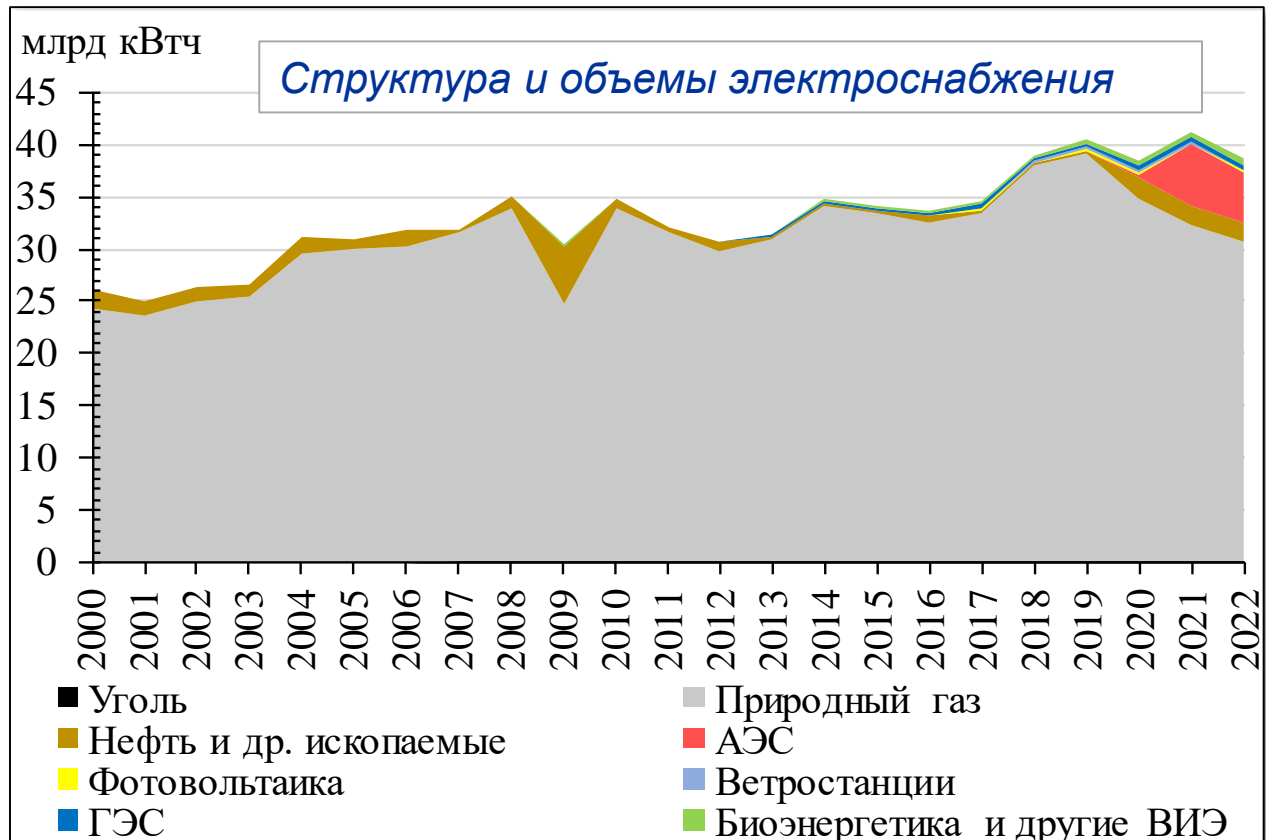
Доля жилищного сектора в конечном потреблении:

- электроэнергии 21,1%
- тепловой энергии 42,1%

Динамика жилой площади квартиры, м²

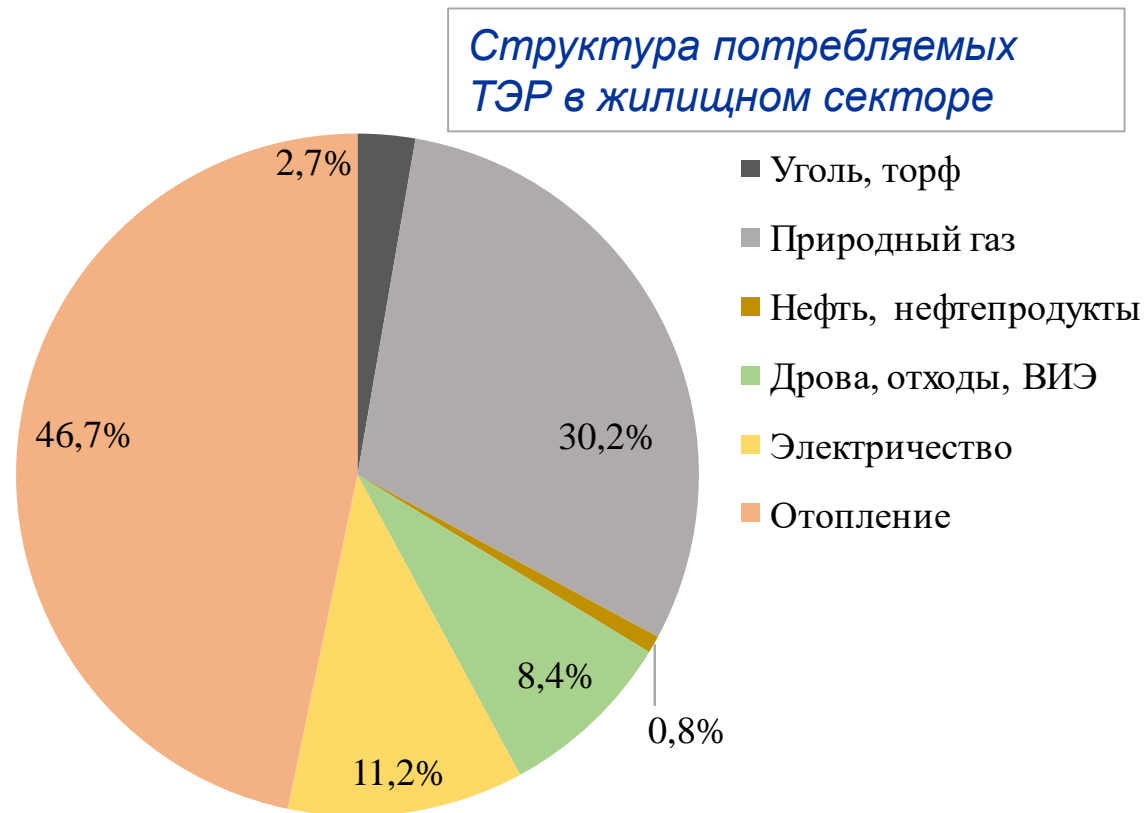


Особенности современной городской инфраструктуры в Республике Беларусь



Особенности:

- централизованное энергоснабжение
- рост энергопотребления
- снижение энергоемкости

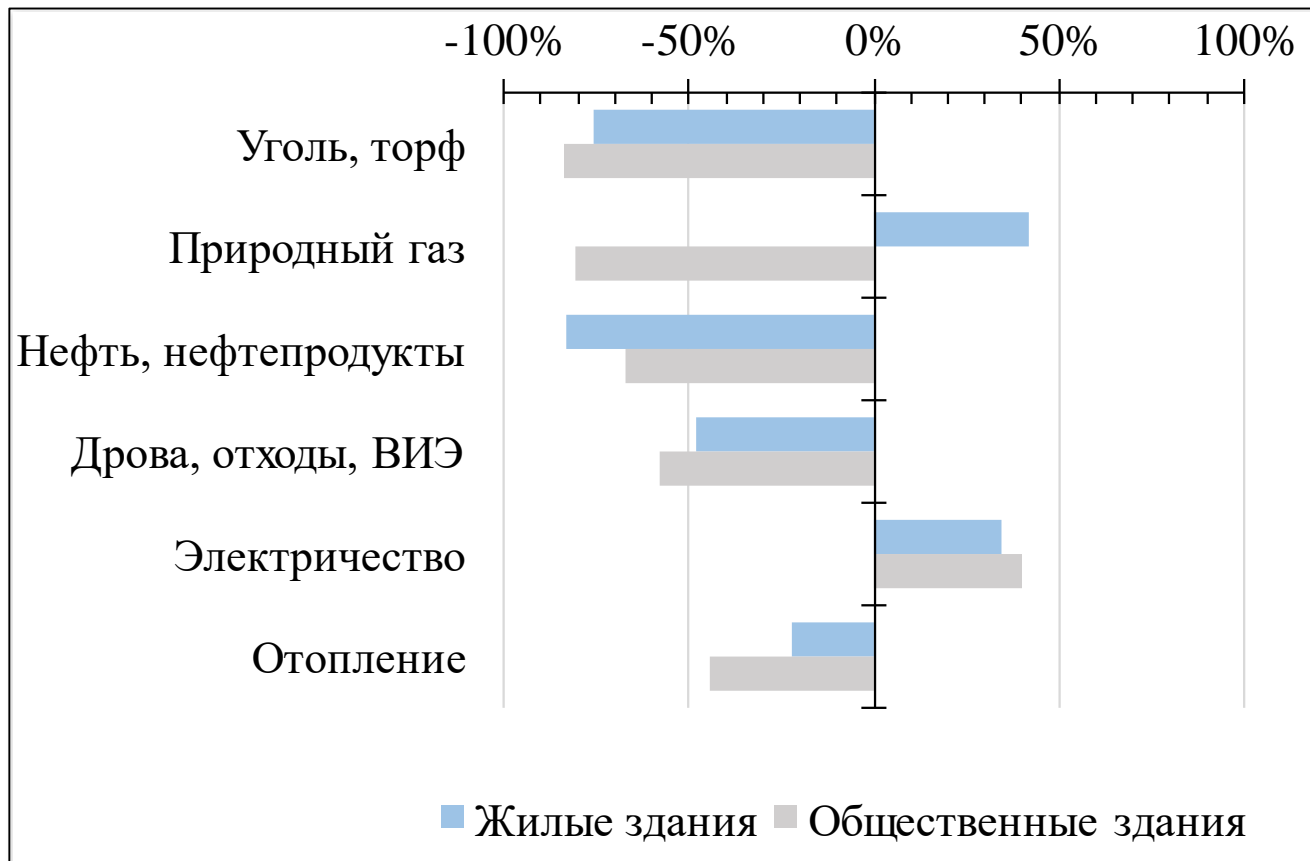


Доля городской инфраструктуры в потреблении ТЭР:

- 31,6% жилищный сектор
- 10,5% общественный сектор

Основные тенденции в развитии энергопотребления в жилищном секторе

Изменение объемов конечного энергопотребления городскими объектами за период 2000-2022 годы:



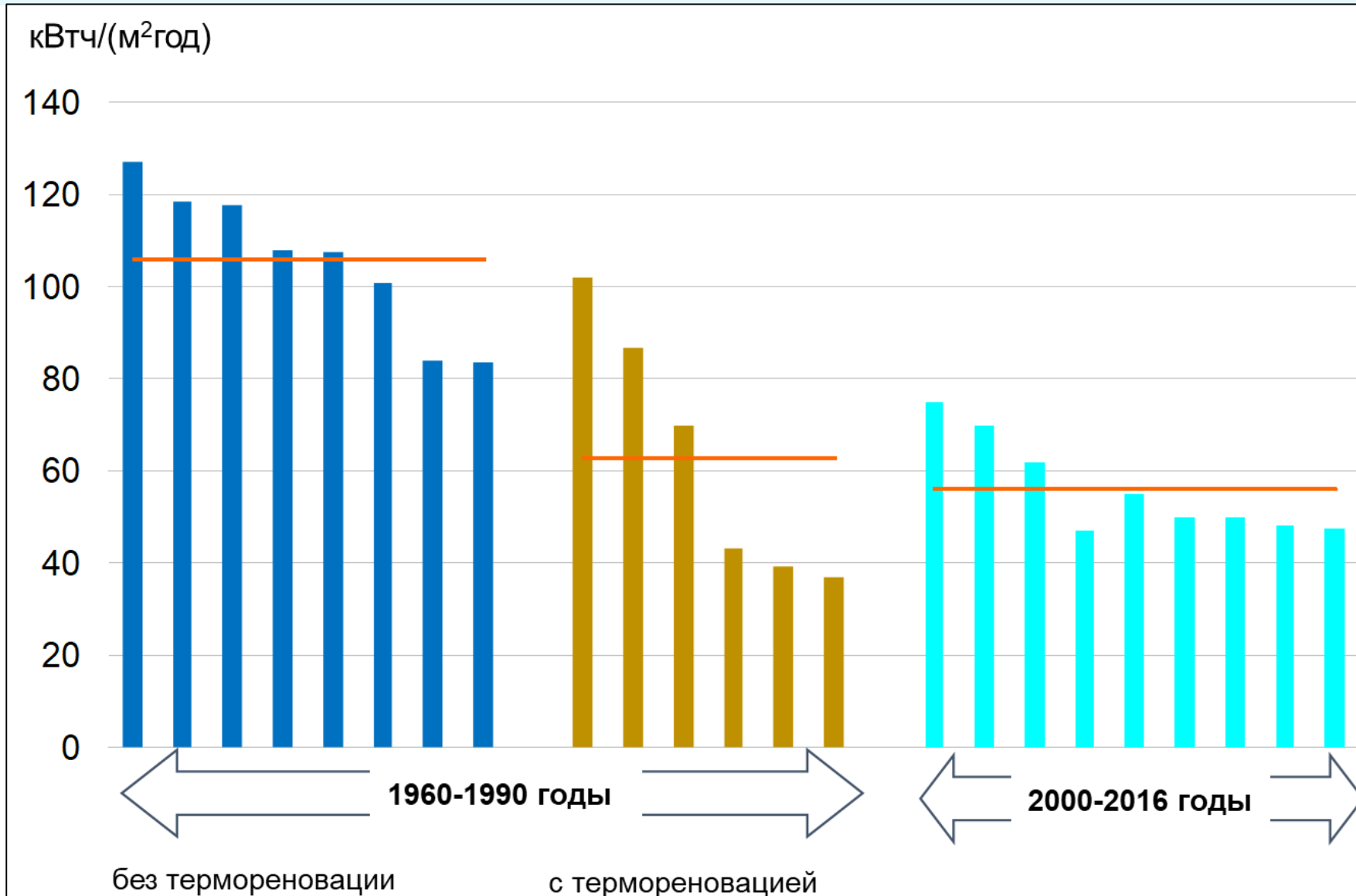
С 2000 года значительно изменилось потребление ископаемого топлива:

- уголь, торф – сокращение в 4,1 раза
- нефть, нефтепродукты – сокращение в 5,9 раза
- природный газ – рост в 1,7 раза

С 2000 года значительно изменилось потребление тепло- и электроэнергии:

- потребление электроэнергии выросло в 1,5 раза
- потребление тепловой энергии сократилось в 1,3 раза (в общественном секторе – в 1,8 раза)
- конечное энергопотребление сокращалось 0,5% в год
- отопление сокращалось 0,2% в год

Реализованные энергоэффективные решения



- Сокращение потерь на теплотрассах
- Минимизация площади ограждающих конструкций, утепление
- Электроэнергия: регулирование и учет потребления
- Система ГВС: учет потребления
- Система отопления: регулирование и учет потребления тепловой энергии

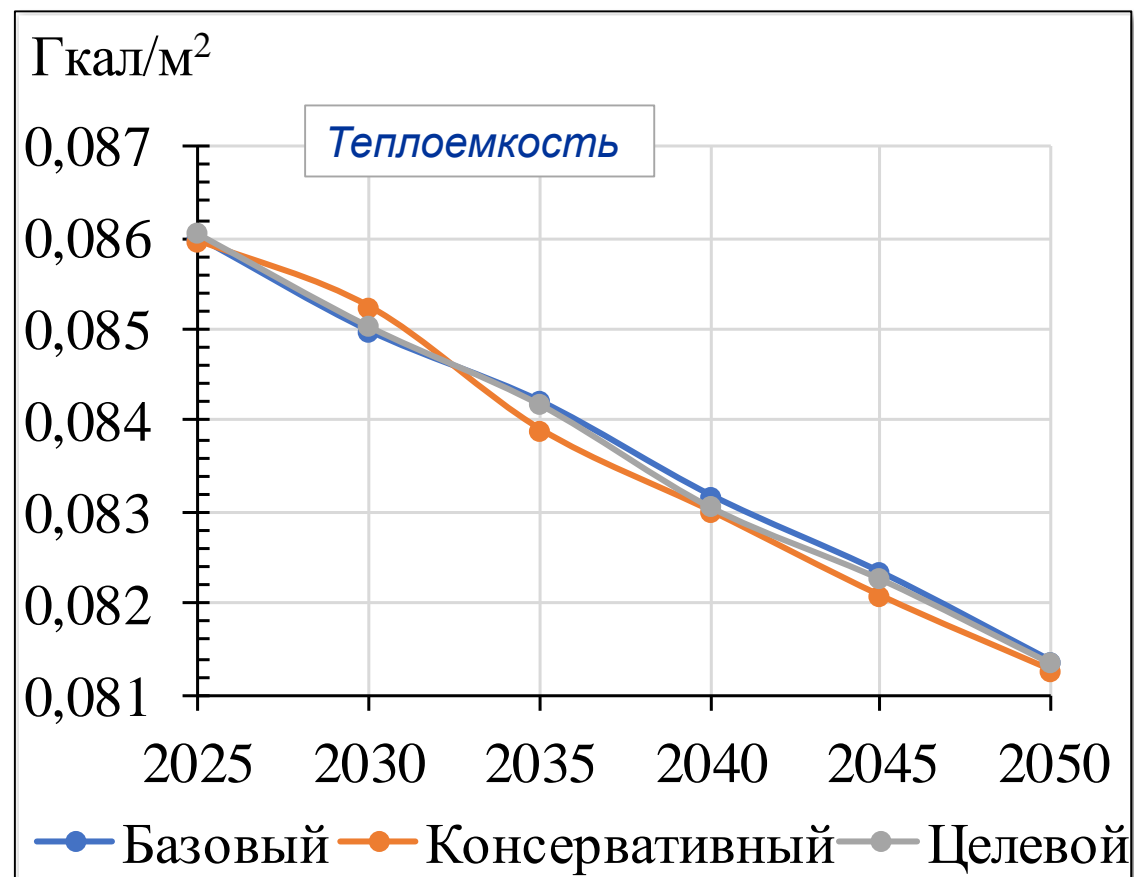
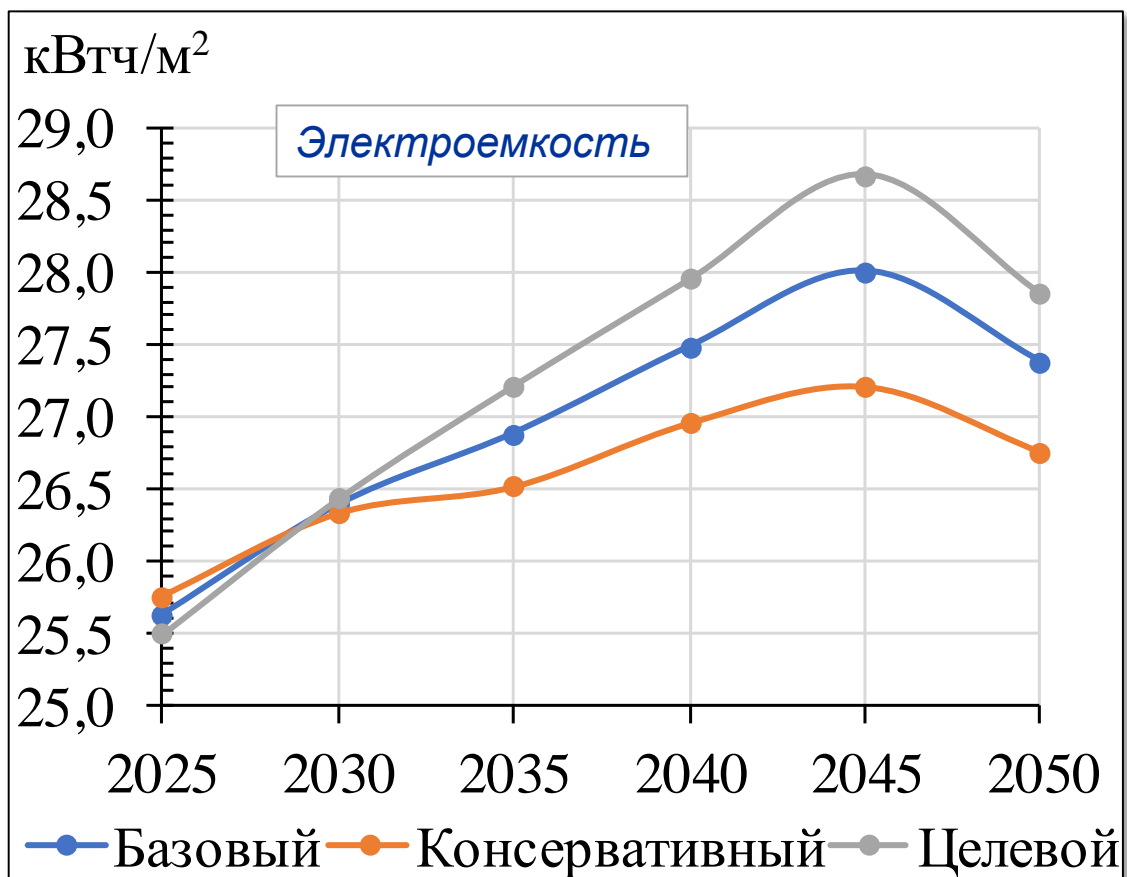
Задачи дальнейшего сокращения энергоемкости городской среды

- Совершенствование систем **энергообеспечения** городских объектов
 - совершенствование ресурсной базы централизованных источников ТЭР
 - сокращение потерь на передачу удаленных ТЭР к городским потребителям
 - увеличение доли децентрализованных систем энергоснабжения путем расширения использования локально доступных ТЭР, включая ВИЭ и гибридные энергоисточники
 - учет климатических и актинометрических показателей местности для устойчивого энергоснабжения отдаленных районов или комплексных застроек
- Совершенствование систем **энергопотребления** городскими объектами
 - снижение потерь ТЭР за счет солнечной архитектуры, сокращения площади и улучшения свойств конструкций с оптимизацией по термическому сопротивлению
 - увеличение числа и эффективности энергосберегающих технологий в инженерных системах
 - повышение мотивации потребителей к энергосбережению с пониманием своей роли в процессе
- Развитие моделей и **цифровых** инструментов для мониторинга, диспетчеризации и регулирования в системах энергообеспечения и энергопотребления зданий
 - оптимальное сочетание централизованных, распределенных и гибридных энергоисточников
 - наилучшее совместное использование растущего числа энергосберегающих технологий

Прогнозы изменения энергоёмкости городской среды

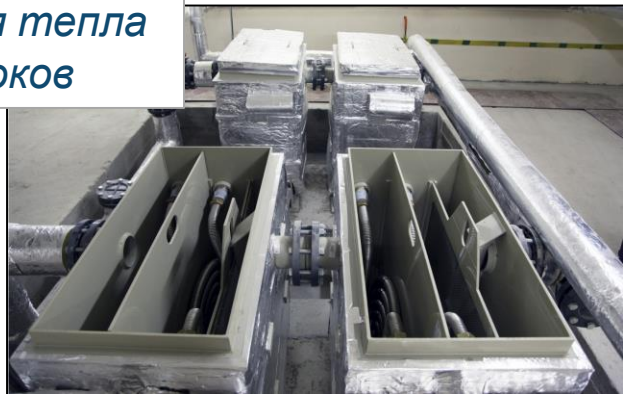
Среднегодовое сокращение энергоёмкости ВВП: 1,3-1,5%

Среднегодовое сокращение потребления ТЭР на 1 м² общей площади здания: 0,8%



Опыт исследования инновационных инженерных решений, гибридных систем и цифровых инструментов

Рекуперация тепла «серых» стоков



Теплообменники для термосвай



Утилизация тепла канализационных стоков



Тепловые насосы



Солнечные коллекторы



PV-панели



Система управления и диспетчеризации



Рекуперация тепла удаляемого воздуха



Пилотные проекты: г. Гродно

Это 10-этажное 3-х секционное 120-квартирное здание с отапливаемой площадью 10 335 м² с несущими кирпичными стенами и наружными стенами из ячеистобетонных блоков. С целью достижения минимального уровня потребления тепловой энергии в здании использованы следующие инженерные решения: принудительная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов; применение рекуперативного теплообменника-утилизатора тепловой энергии сточных вод из ванной комнаты; использование ТНУ для извлечения низко-потенциальной энергии стоков из сборного городского канализационного коллектора; использование ТНУ для извлечения низко-потенциальной энергии грунта, где в качестве геотермического зонда используются фундаментные сваи здания; солнечные PV-панели для частичной компенсации дополнительных затрат электрической энергии.

По сравнению со стандартным зданием общее энергопотребление сократилось почти в 2 раза. Причем дополнительная экономия энергии (более 20%) была достигнута применением ТНУ с эффективностью преобразования тепловой энергии $COP \geq 3$ при соотношении себестоимостей, равной 2,5, что дает общее снижение энергозатрат (по отношению к традиционному источнику) при эксплуатации здания около 60%. Фотоэлектрические батареи площадью 412 м² при эффективности использования солнечной энергии 15% генерирует 63000 кВт·ч электрической энергии в год, что обеспечивает 43% замещения электрической энергии, необходимой для работы ТНУ, равной 150000 кВт·ч. Таким образом, эффективное использование гибридной системы PV-панелей и ТНУ дало возможность снижения потребления энергии до 24% от исходного традиционного уровня.



Пилотные проекты: г. Могилев

В г. Могилеве построено 10-этажное 4-х секционное 160-квартирное панельное здание с отапливаемой площадью 13 251 м² со скрытым сборным каркасом. В дополнение к стандартным техническим решениям панельных зданий данной серии в энергоэффективном здании внедрены следующие дополнения: принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов; система утилизации тепловой энергии сточных вод из ванной комнаты; солнечный коллектор и бак-аккумулятор в системе подготовки горячей воды.

Система утилизации тепловой энергии сточных вод позволила сэкономить до 30% энергии на горячем водоснабжении здания. Солнечный коллектор площадью 400 м² на крыше здания с проектной эффективностью утилизации солнечной энергии, равной 50%, обеспечил дополнительное поступление в систему горячего водоснабжения около 200 тыс. кВт·ч.

Общее потребление энергии в системе ГВС составило 430 кВт·ч/год или 45% от уровня потребления обычными зданиями со стандартной инженерной системой. Потребление тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение за год не превысило, соответственно, 23 кВт·ч/м² и 25 кВт·ч/м². Общее потребление тепловой энергии в пилотном здании не превысило 50% от теплотребления при эксплуатации стандартных зданий.



Пилотные проекты: г. Минск

В г. Минске построен типовой крупнопанельный 19-этажный жилой дом серии МАПИД-111-90 на 140 квартир с одним подъездом. В дополнение к стандартным решениям для панельных зданий данной серии в энергоэффективном здании выполнены следующие дополнения: принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепловой энергии вентиляционных выбросов; система утилизации тепловой энергии сточных вод из ванной комнаты. Общее энергопотребление здания составило около 65% от потребления тепловой энергии стандартного здания подобного типа.

Важным элементом эффективного и устойчивого энергообеспечения пилотных зданий является «умная» система контроля показателей (датчики) и управления параметрами эксплуатации (запорная арматура) всего комплекса функционально взаимосвязанных подсистем: гелиоколлектор – бак-аккумулятор; бак-аккумулятор – система горячего водоснабжения здания; утилизатор теплоты серых стоков – система горячего водоснабжения здания; канализационный коллектор – парокompрессионная ТНУ – буферная емкость; энергетические сваи – парокompрессионная ТНУ – буферная емкость; буферная емкость – системы отопления здания; буферная емкость – системы горячего водоснабжения здания.

Была также разработана и эксплуатируется система диспетчеризации данных, предназначенная для получения удаленным способом данных о режимах работы оборудования, данных о потреблении энергии при эксплуатации здания из внешних сетей и источников энергии, а также внутренних источников, находящихся в здании. Полученные данные используются для дальнейшего анализа и корректировки режимов работы инженерных систем. Система диспетчеризации включает также данные от регуляторов квартирных систем вентиляции.



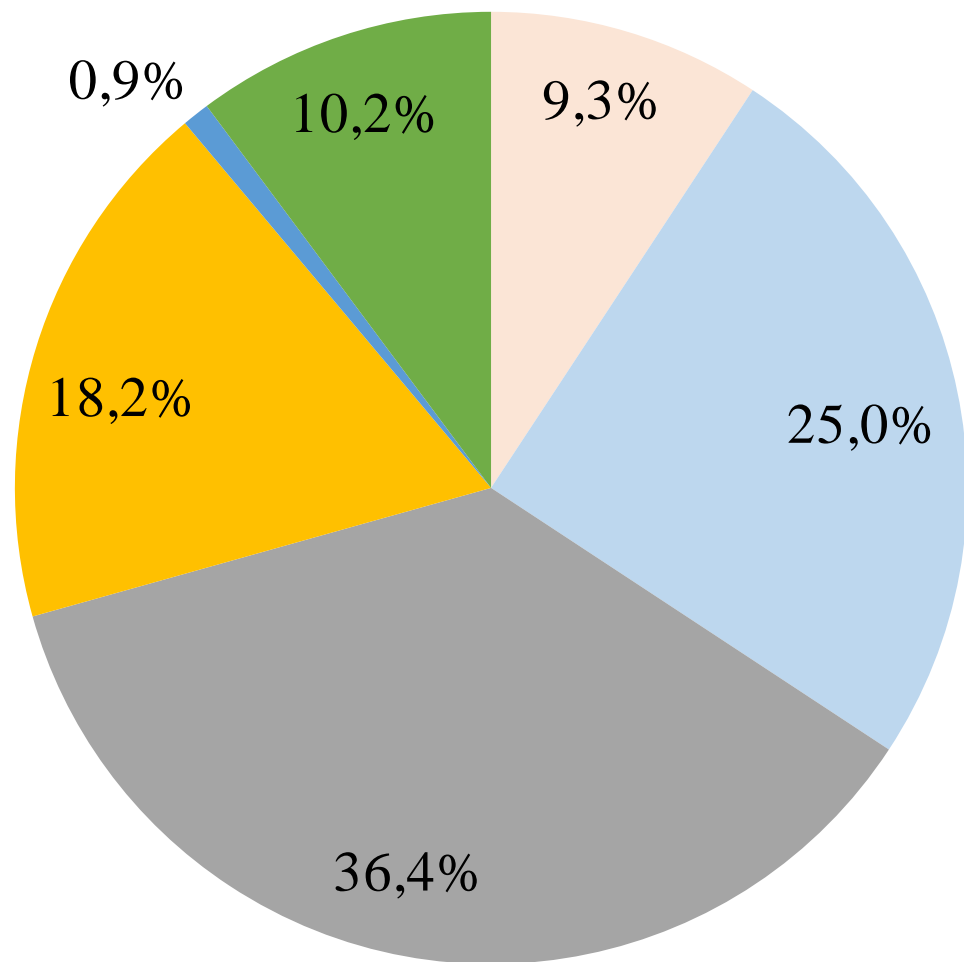
Энергетические характеристики пилотных зданий с внедрением набора энергоэффективного инженерного оборудования, утилизирующего доступные вторичные ТЭР и ВИЭ

Общая характеристика пилотного здания	Годовое потребление на отопление		Годовое потребление на ГВС		Общее годовое потребление	
	кВт ч/м ²	экономия, %	кВт ч/м ²	экономия, %	кВт ч/м ²	экономия, %
г. Гродно, 10 этажей, 120 квартир, отапливаемая площадь 10 335 м ²	15,5	59,7	26,9	32,7	42,4	45,9
г. Могилев, 10 этажей, 160 квартир, отапливаемая площадь 13 251 м ²	24,9	44,5	29,9	57,2	54,9	52,2
г. Минск, 19 этажей, 140 квартир, отапливаемая площадь 10 000 м ²	25,0	44,4	40,0	42,9	65,0	43,5

Оценка энергоэффективности инженерных систем на основании опыта пилотных зданий

Инженерная система	Эффективность, %	Коэффициент преобразования по данным пилотных зданий
Приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла	173-190	7,3-15,6
Солнечные батареи	110-199	884,1
Вакуумный солнечный коллектор	150-184	57,1
Тепловые насосы (тепловая энергия грунта в фундаментном поле)	133-175	3,2
Тепловые насосы (тепловая энергия городских канализационных стоков)	133-175	3,7
Система утилизации тепла бытовых «серых» стоков	130	1,3
Цифровые технологии управления системой отопления и горячего водоснабжения	130-146	1,3
Энергоэффективные радиаторы и конвекторы	101-135	–
Энергоэффективные термосмесители	115-127	–

Вклад различных мер в экономию тепловой энергии

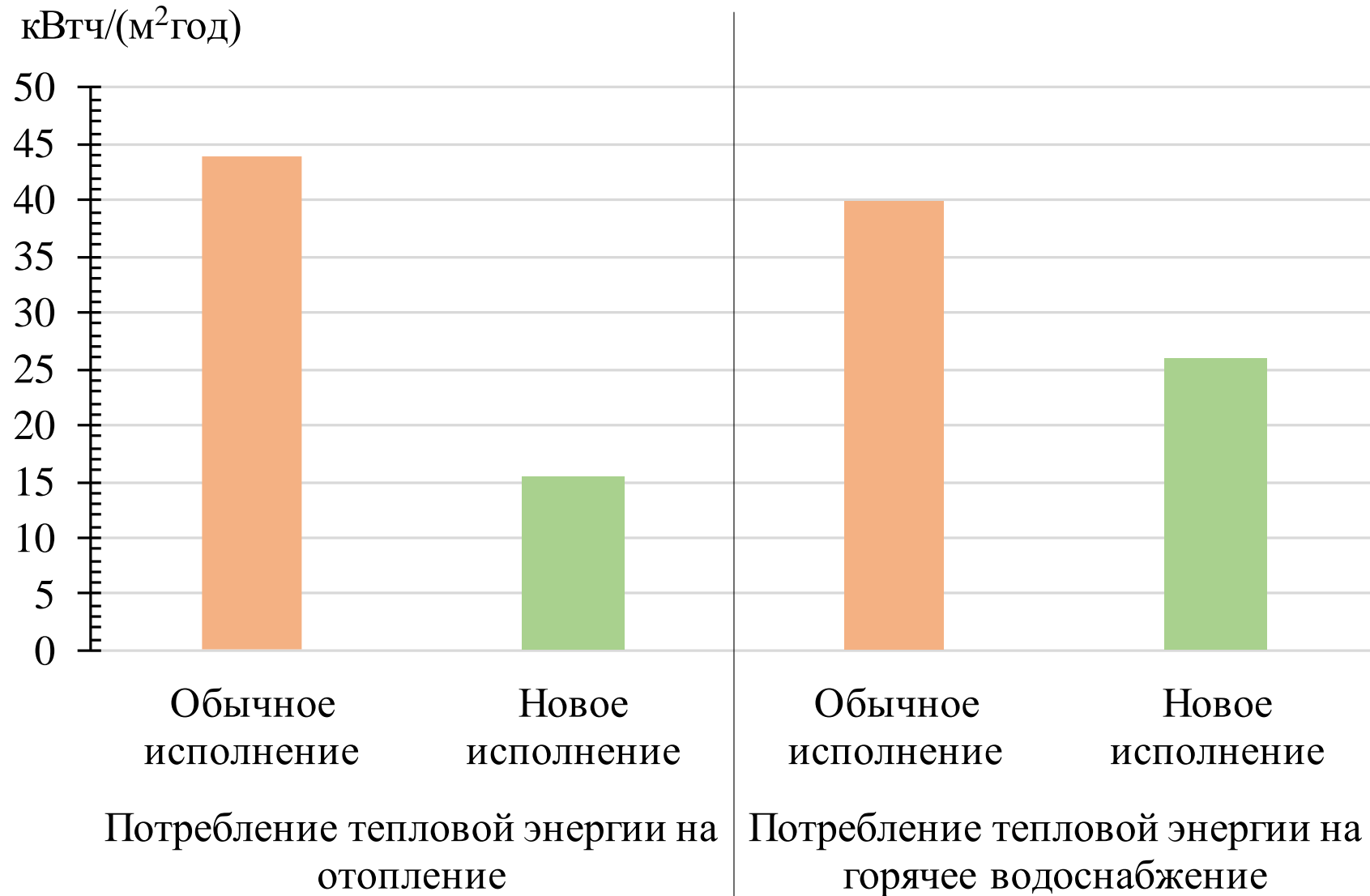


- Изоляция ограждающих конструкций
- Рекуперация тепла вентвыбросов
- Рекуперация тепла канализационных стоков
- Тепловая энергия грунта
- Утилизация тепла горячей воды
- Управление энергопотреблением

Достигнутые результаты для пилотных зданий

- Удельный расход энергии:
 - менее 25 кВтч/м² для системы отопления и вентиляции
 - менее 40 кВтч/м² для системы горячего водоснабжения
- Снижение потерь тепловой энергии в 2,5 раза:
 - с воздухообменом путем перехода к приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты вентвыбросов
 - путем утилизации теплоты «серых» стоков
- Использование ВИЭ и вторичных энергоресурсов обеспечивают около 10% от потребляемой энергии:
 - гелио-нагреватели и PV-панели
 - тепловые насосы (потенциал грунта, канализационные стоки)
- Итого экономия до 7 тыс. т у.т. в течение всего срока службы здания
- Управление потреблением:
 - мониторинг и диспетчеризация данных по потреблению электрической и тепловой энергии
 - системы автоматического управления энергопотреблением, включая системы перераспределения и регулирования нагрузки

Результаты сравнения энергопотребления



Системы управления потребляемыми ресурсами

- Совмещенное регулирования режимов отопления и воздухообмена с возможностью климат-контроля в каждой квартире (система БРИЗ):
 - многоступенчатое регулирование воздухообмена, особенно в области малых расходов воздуха
 - уровни воздухообмена и температуры в квартире отдельно для дневного и ночного времени суток с заданием временных границ
 - дежурные уровни воздухообмена и температуры при отсутствии жильцов и отключение воздухообмена при возникновении пожара
- Учет и регулирование тепловой энергии, потребляемой на отопление
- Учет потребления холодной воды, учет и регулирование потребления горячей воды
- Диспетчеризация данных на диспетчерский пункт эксплуатирующей организации
- Общедомовое табло для жильцов о потребляемых ресурсах

Инженерная система	Эффективность, %	Коэффициент преобразования по данным пилотных зданий
Цифровые технологии управления системой отопления и горячего водоснабжения	130-146	1,3

Цифровые технологии для систем энергоснабжения и энергопотребления в жилищном секторе

- Согласно предварительным оценкам, выполненным в рамках разработки проекта ПРООН, в современной мировой практике большое распространение получают программные продукты, основанные на следующих трех основных цифровых технологиях:
 - технологии цифрового представления интеллектуального оборудования энергоснабжения и энергопотребления в зданиях, например, Интернет вещей (IoT), SCADA, технология информационного моделирования зданий (BIM), Cloud Computing
 - технологии объектов, взаимодействующих с сетью (Grid Interactive Building), где с учетом энергоэффективности конструктивных элементов и инженерных систем здания и с помощью программных блоков мониторинга и управления достигается эффективное сочетание параметров нагрузки, источников энергоснабжения и систем хранения энергии
 - технологии, основанные на интерфейсе «На стыке сетей» (Grid on Edge), через который интеллектуальная платформа энергоисточников взаимодействует с подключенными конечными потребителями энергии для эффективного управления параметрами этих совмещенных энергосистем
- Данные технологии по функционалу и результатам близки к некоторым цифровым платформам, применяемым в республике, включая системы АСКУЭ, ГИС/ПРК ZULU, Smart Grids, SCADA, ЕРОКС, БРИЗ и инструменты BIM-проектирования, однако для их широкого использования в жилищном секторе требуются дополнительные исследования

Выбранные цифровые технологии для дальнейших исследований

- Платформа SmartUnity BMS/SCADA на базе технологии IoT
 - оперативный контроль и информация об изменениях состояния инженерных систем и предоставление актуальных данных об использовании ресурсов в расчетные системы
- Система диспетчеризации Cloud-Control
 - диспетчеризация систем водо-, электро- и теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования
- Платформы для прогнозирования Leanheat® Production и мониторинга Leanheat® Monitor
 - контроль, планирование и управление параметрами в системах теплоснабжения и распределения энергии с экономической оптимизацией структуры теплоисточников
- Геоинформационная система энергоменеджмента EMIS
 - база данных (реестров) зданий по потреблению тепловой и электрической энергии, другого энергетического сырья, горячей воды, других контролируемых ресурсов
- Цифровая платформа Comindware Моё здание
 - управление всеми ресурсами с помощью цифрового двойника здания
- Программа САПР ПОЛИНОМ на основе InterBridge
 - цифровой мониторинг, диспетчеризация и регулирование энергетических параметров на всех стадиях жизненного цикла здания

Вместо заключения: направления дальнейших исследований

- Моделирование гибридных схем энергоснабжения с распределенными энергетическими ресурсами, включая вторичные и ВИЭ, для отдельных и комплексных городских объектов
- Учет неопределенности ВИЭ при энергообеспечении городских объектов в модели оптимального планирования с учетом биоклиматических и актинометрических показателей
- Поиск эффективных инженерных решений для смены технологий энергоснабжения и энергопотребления в существующих зданиях старой постройки
- Разработка, внедрение и дальнейшее повышение эффективности энергосберегающих технологий в системах энергопотребления (при адекватной тарифной политике !)
- Мотивация и привлечение домашних хозяйств к энергосбережению (адекватные тарифы !)
- Дальнейшее развитие цифровых технологий в системе управления энергоснабжением и энергопотреблением для объектов городской инфраструктуры. Это позволит:
 - оптимизировать взаимодействие различных систем энергоснабжения и конечного энергопотребления с расширением возможностей для новых энергосберегающих технологий
 - повысить эффективность и надежность управления пространством городской инфраструктуры
 - сократить расходы на энергообеспечение и обслуживание зданий
 - улучшить условия комфорта для жизни и деятельности горожан
 - развивать информационно-коммуникационные инструменты работы с населением



Спасибо