

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

***ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК***

ГАШО Е. Г., зав НИЛ НТИЦ ЭТТ, доцент каф. ПТС НИУ МЭИ

25 октября 2018 г.

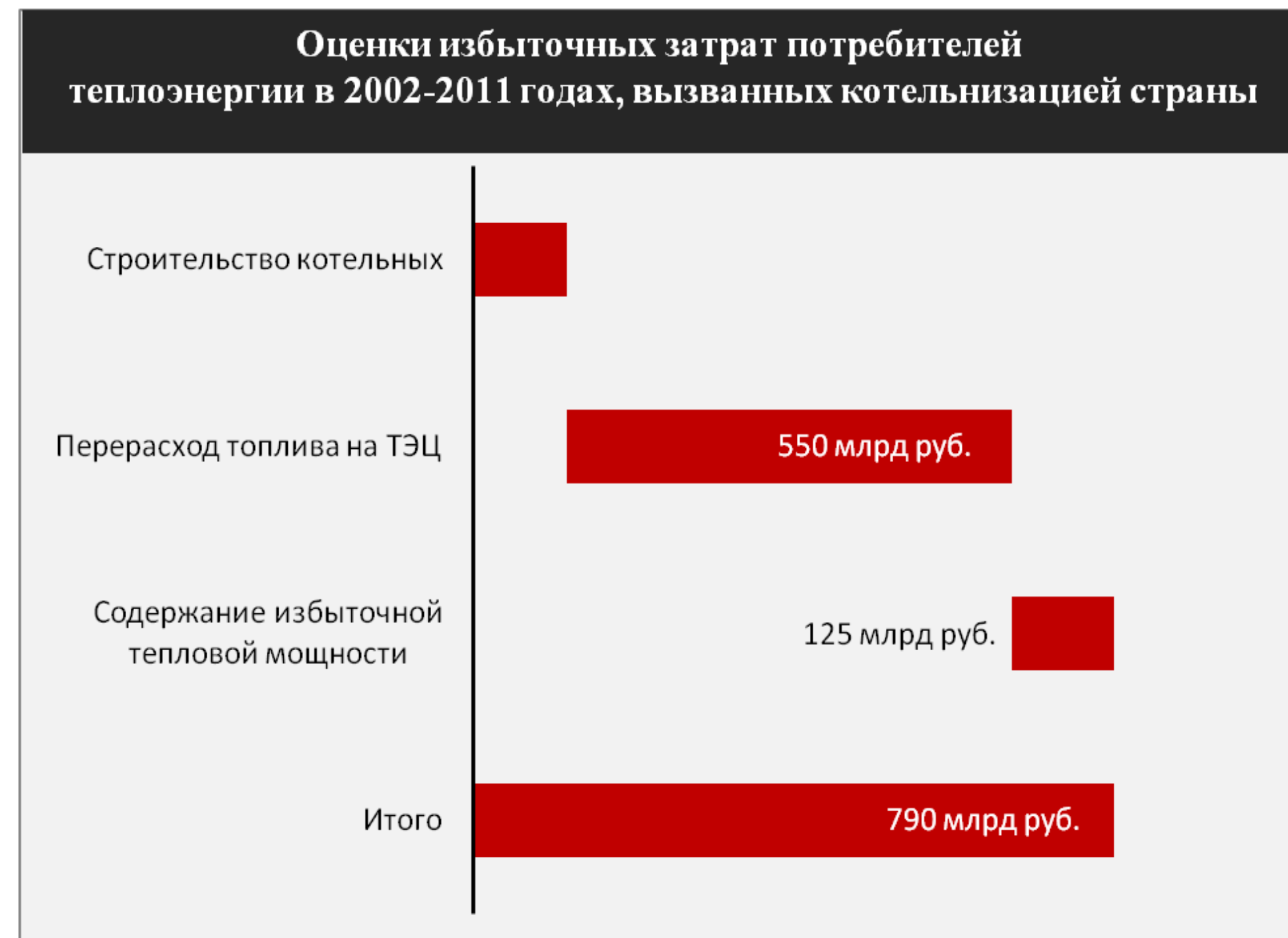
К ВОПРОСУ АКТУАЛЬНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- **Беспрецедентная социально экономическая, технологическая трансформация распределенных теплоэнергетических систем разного назначения;**
- **Существенный рост экологического влияния и требований к экологической эффективности теплотехнологических и теплоэнергетических систем;**
- **Растущая нестационарность и неоднородность климатических изменений (гетероскедастичность).**



ТРАНСФОРМАЦИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

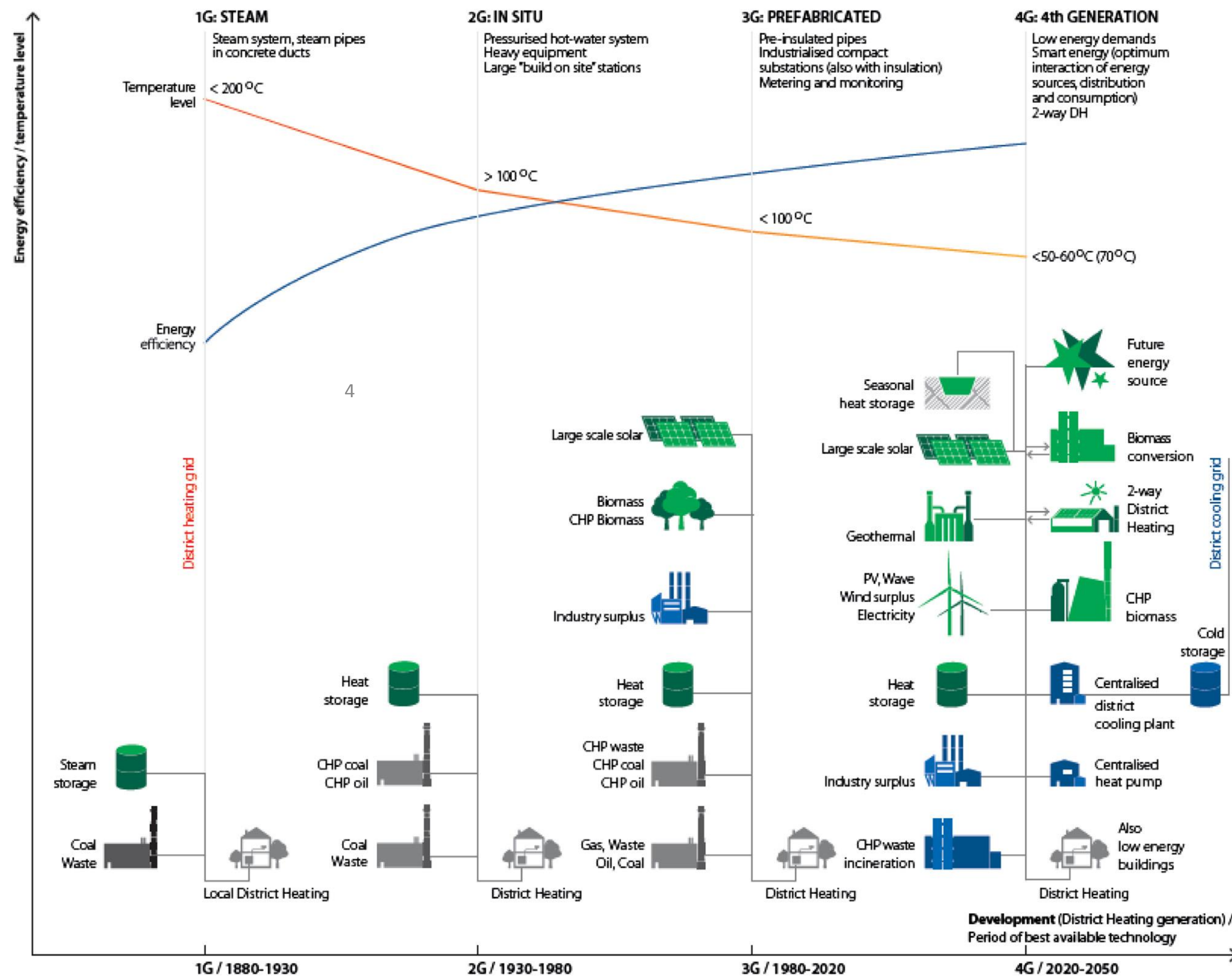
- Бесконтрольный рост промышленной, распределенной генерации, автономных источников теплоснабжения, в том числе в городах;
- Строительство крупных энергоисточников без согласования со схемами тепло-, электро-, водоснабжения и планами территориального развития;
- Сокращение КИТ энергоисточников и выработки электроэнергии на тепловом потреблении;
- «Пережог» - до 25-30 млн т ут на ТЭЦ ежегодно вместо экономии 30-35 млн тут при работе в номинальных режимах;
- Рост аварийности, снижение надежности, рост издержек, тарифов на тепло



ПРИОРИТЕТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗА РУБЕЖОМ (СВ.ВЕРНЕР, Г.ЛУНД И ДР.)

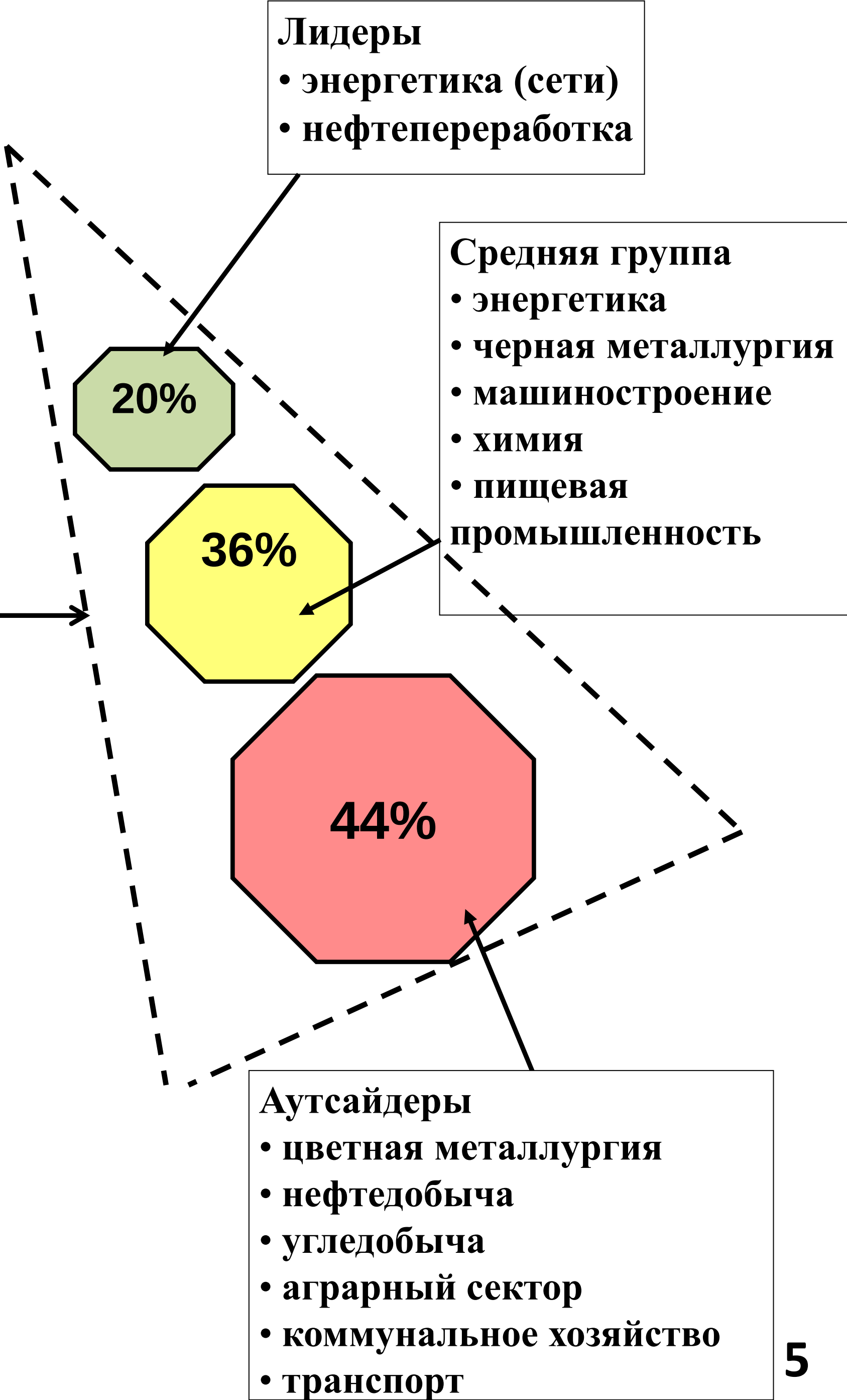
Зарубежные исследования модернизации СЦТ в основном сосредоточены на проектах имплементации ВИЭ в системы 4-го поколения, снижения их «углеродной составляющей»:

- активное применение в сетях теплоснабжения ВИЭ всех видов;
- использование низко-температурных графиков теплоносителя;
- применение тепловых насосов в сети и у потребителей;
- использование разнообразных smart-элементов в сетях;
- применение различных схем аккумулирования тепла;
- вовлечение потребителей в процессы энергосбережения и микрогенерации энергии.



АКТУАЛЬНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ключевые факторы и тенденции	Последствия
Закрытие, перепрофилирование устаревших, энергоемких и экологически небезопасных производств	Снижение энергетических нагрузок промышленного профиля (пара, электроэнергии высокого и среднего напряжения)
Последовательное снижение энергоемкости ключевых отраслей промышленности (кроме нефтедобычи)	Повышение энергетической эффективности и экологической безопасности основных энергоемких производств
Рост электро-вооруженности предприятий основных энергоемких отраслей	Увеличение доли потребляемой электроэнергии в общей энергоемкости
Рост распределенной генерации и собственной генерации предприятий (до 8-9 ГВт за посл. 25 лет)	Снижение прямой зависимости предприятий от централизованных систем энергоснабжения
Снижение тепловой и рост электрической нагрузки городов и промузлов	Повышение востребованности электрических мощностей в городах и промузлах
Введение государственного экологического регулирования с помощью наилучших доступных технологий (НДТ)	Разработка нормативов энергетической и экологической эффективности в отраслевых справочниках по НДТ



АКТУАЛЬНОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

Особенности региональных программ энергосбережения

Мероприятия



Искажение параметров энергоемкости ВРП:

- неправильно посчитанное потребление ТЭР (Челябинск, Московская область, транзит);
- полный разнобой в размерности (т.н.э., тут на 100 руб, на 1000 руб, на 1000 долларов, на 1000 долларов по ППС);
- неадекватное сравнение N и Q составляющих в общей энергоемкости;
- неучет «серой» экономики и регистрации ряда успешных (и энергоемких) предприятий за пределами региона.

Причины ущербности региональных программ

Нечеткость государственной политики в энергосбережении

Отсутствие единой методологии в разработке и реализации программ

Невнимание к региональным особенностям и существующему опыту с позиции единой федеральной политики

Методическая "неразбериха" с показателями программ

Цель работы. Разработка методологии совершенствования функционирования, повышения эффективности и снижения климатической уязвимости промышленных и коммунальных теплоэнергетических систем (ПКТС) городов, промышленных кластеров и регионов как базовых элементов промышленного и регионального развития страны.

Для этого были сформулированы и решались следующие задачи:

- разработать принципы, модели и методы совершенствования ПКТС в целях обеспечения сбалансированного промышленного и регионального развития страны;
- оценить особенности, степень и масштабы трансформации секторов и взаимодействия элементов ПКТС разного типа;
- осуществить формализацию задач выявления приоритетов энергетической модернизации, разработать методики определения резервов энергосбережения в различных ПКТС;
- провести апробацию методик определения резервов энергосбережения и повышения энергетической эффективности в промышленных, городских и региональных ПКТС;
- разработать методы и механизмы сопряжения резервов повышения энергетической эффективности в секторах генерации, передачи и потребления энергоресурсов;
- осуществить разработку методов выбора эффективных мер по модернизации ПКТС в целях формирования комплексных программ («дорожных карт») энергосбережения и климатической адаптации с учетом требований законодательства РФ и приоритетов регионального развития;
- разработать необходимый автоматизированный информационно-аналитический инструментарий системного мониторинга и прогнозирования повышения энергетической эффективности ПКТС;
- создать сбалансированный комплекс мер нормативного, экологического и экономического стимулирования реализации выявленных резервов повышения энергетической эффективности.

МАТРИЦА ЭТАПОВ И ПОД-ЭТАПОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

	Этапы работ (по вертикали) и сектора ПКТС (по горизонтали)				
ОБЪЕКТЫ	Промышленные системы и комплексы		Теплоэнергетические системы городов		Региональные ПКТС
ПРЕДПОСЫЛКИ	Анализ трансформации различных ПКТС			Климатические изменения	
ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ	Промышленный эксперимент	Результаты энергоаудитов	Системы учета тепла	Схемы тепло-снабжения	Программы энергосбережения
МЕТОДИЧ. ИНСТРУМЕНТЫ	Устранение искажений	Модель-конфигуратор	Кластерно-типологические модели		ИАС (реляционные базы данных)
МЕХАНИЗМЫ УВЯЗКИ	Формализация резервов	Методы определения резервов		Механизмы сопряжения и увязки	
РЕГЛАМЕНТЫ	ГОСТы и справочники НДТ	Стратегии и программы		«Дорожные карты»	

$$Q_m = G_m c_m (t_m - t_{oc})$$

$$Q_m = G_{yx} c_{yx} (t_{yx} - t_{oc})$$

Термодинамические резервы

$$E_{tot,ind} = \sum_{i=1..I} P_i x_i + E_j + Ns - Qv$$

где $E_{tot, ind}$ - общее потребление энергии в промышленности,
 P_i - первичная энергия, используемая для производства продукции,
 x_i - количество произведенных продуктов, и
 E_j - базовая нагрузка вспомогательных производств, Ns – инфраструктурные затраты энергии,
 Qv – выход вторичных энергоресурсов.

$$K_\phi = F/V$$

**F/V
объектов**

**возвращение
в
оптимальные
расчетные
режимы**

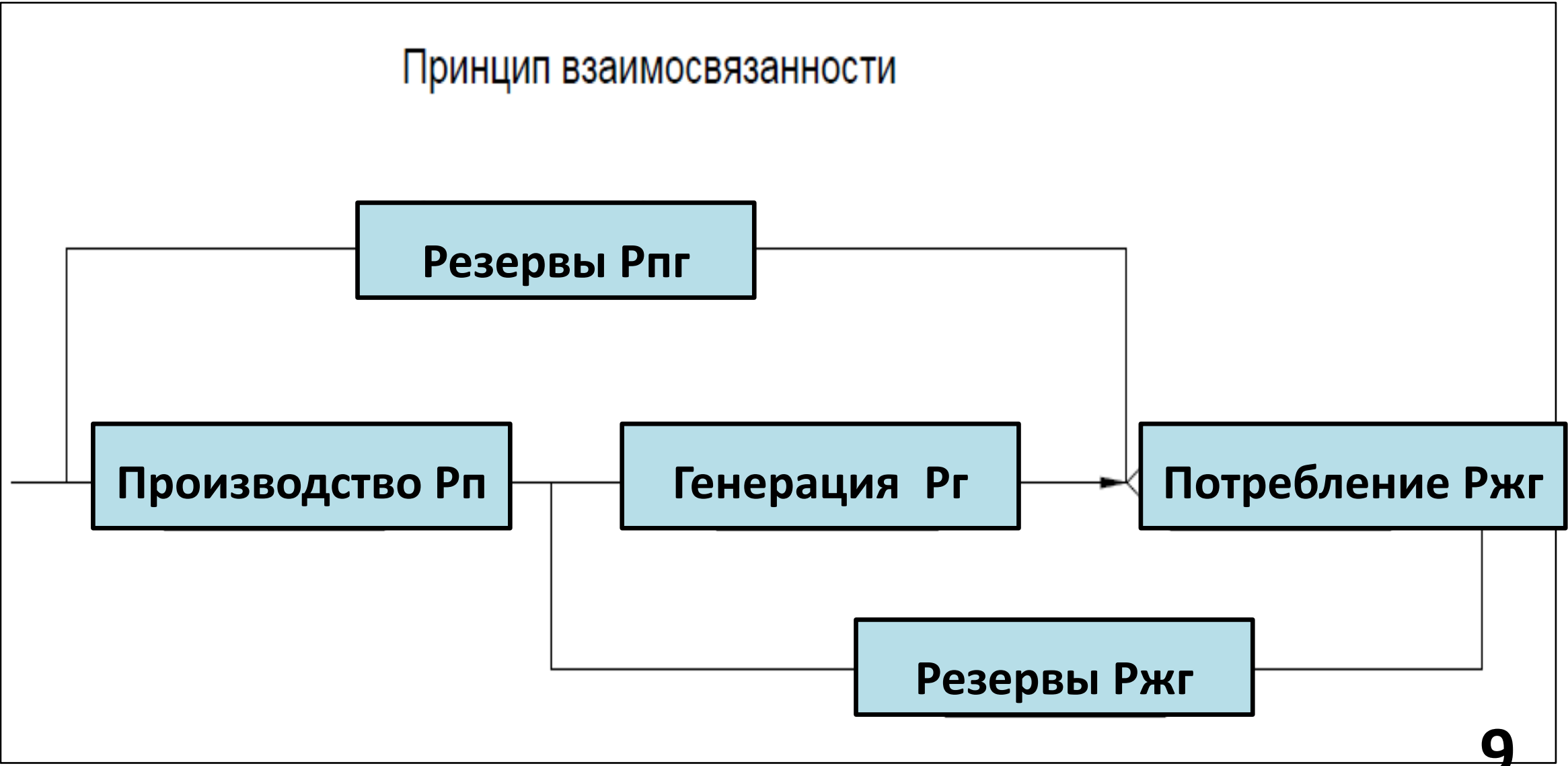
**сопряжение
инфраструк-
тур**

$$\text{Безотходность} = \text{НДТ} + \Delta E + \Delta W$$

**Эффекты
масштаба и
топологии**

**эффекты
масштаба**

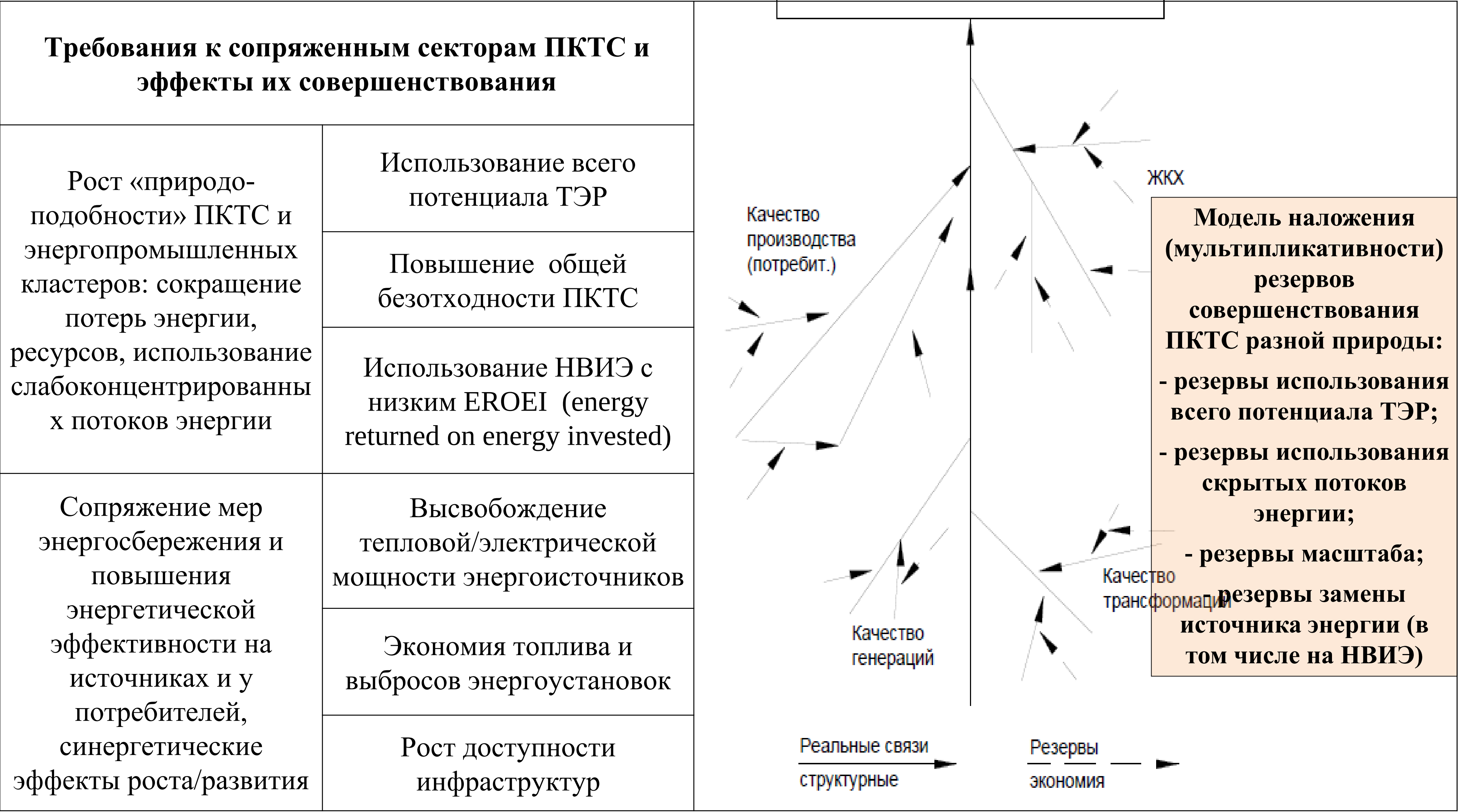
Приоритеты совершенствования
энерготехнологических и
теплоэнергетических систем



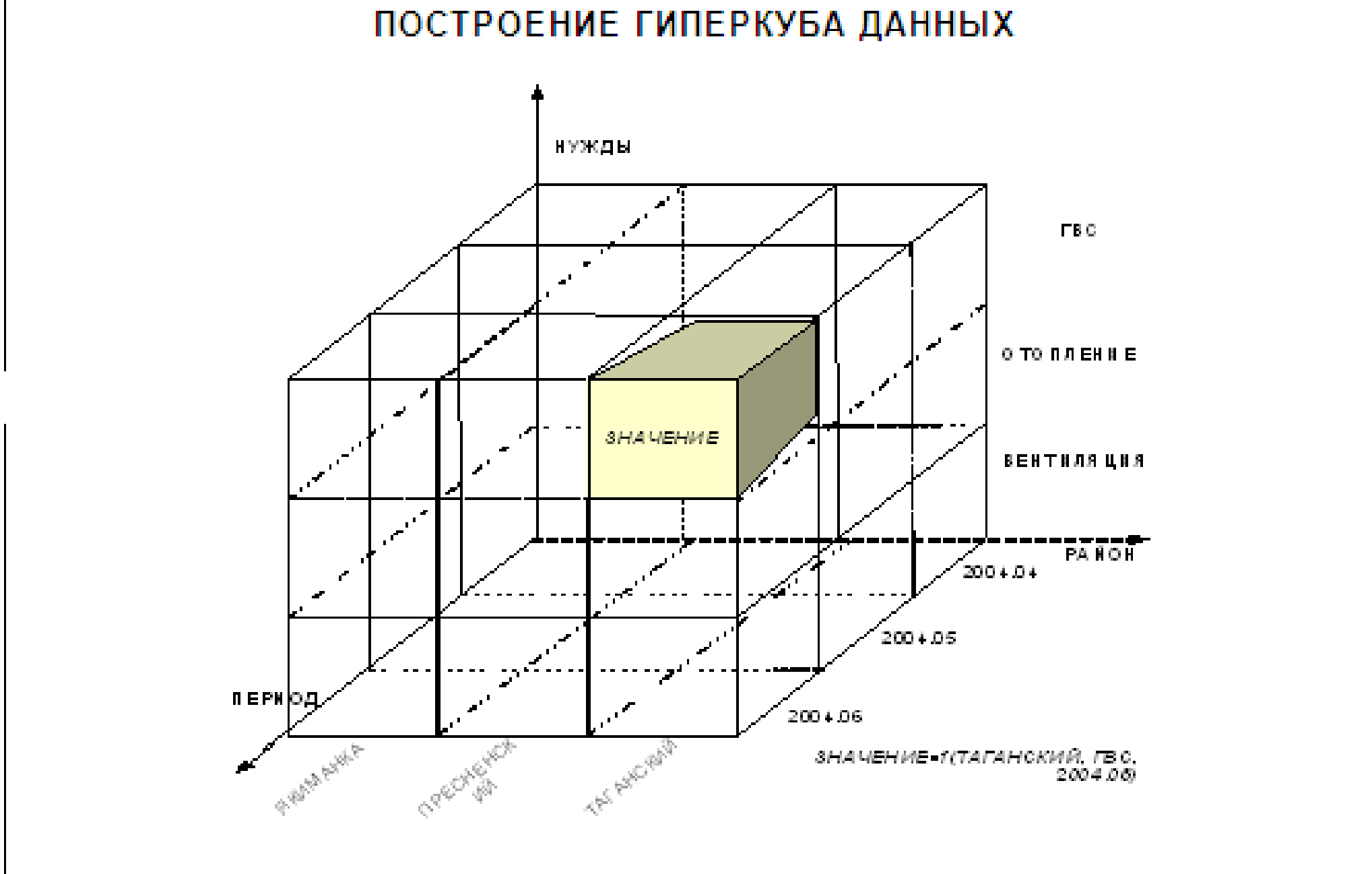
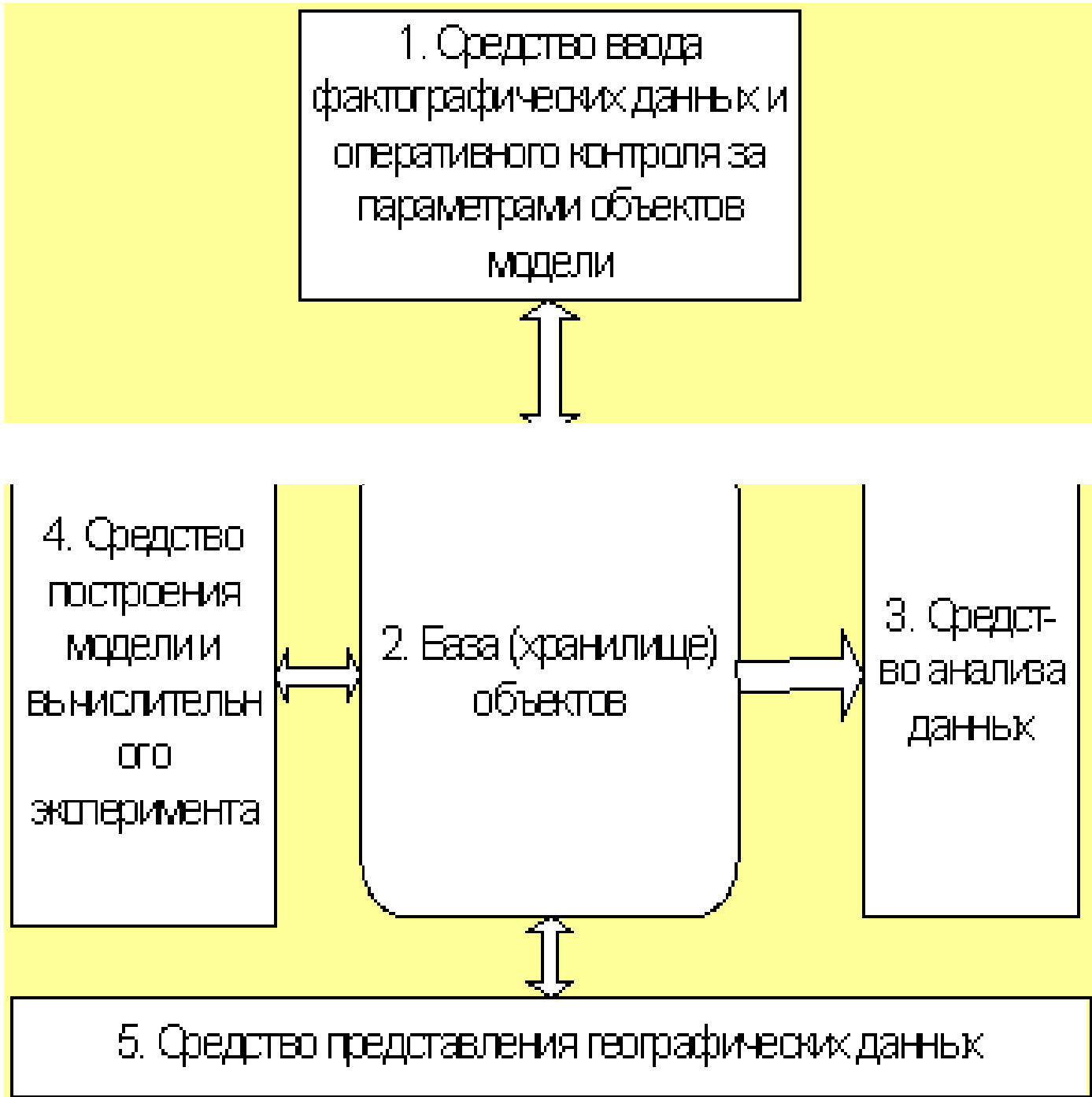
ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ МЕТОДОЛОГИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПКТС

Цели и задачи методологии	Функционал блоков и составных частей методологии	Инструментарий и его особенности
Поэтапное повышение когнитивных возможностей выявления проблем и резервов разного типа и природы	Поэтапное и согласованное применение моделей (и процедур) анализа и синтеза на разных системных уровнях	Выделение требуемых срезов (иерархий) в сложных системах и их каскадное раскрытие по элементам с помощью модели-конфигуратора в ИАС
Выявление базовых типов и параметров возникающих системных целостностей разного уровня	Стыковка частных и системно-типологических (кластерных) моделей в многомерных типологических диаграммах	Методы выбора ключевых типологических параметров для объемного представления и визуализации системных объектов в многокоординатных диаграммах
Снижение неопределенности (искажений) исходной информации, идентификация расчетных моделей через фактические параметры объектов и систем	Увязка расчетно-теоретических моделей и комплекса фактических параметров (в реляционных базах данных), статических и динамических параметров объектов и систем	Технология поэтапного накопления и сопоставления статической и динамической информации в реляционных хранилищах данных («гипер-кубах») для идентификации моделей, достоверного анализа (OLAP) и мониторинга параметров систем

МОДЕЛЬ СОПРЯЖЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПКТС



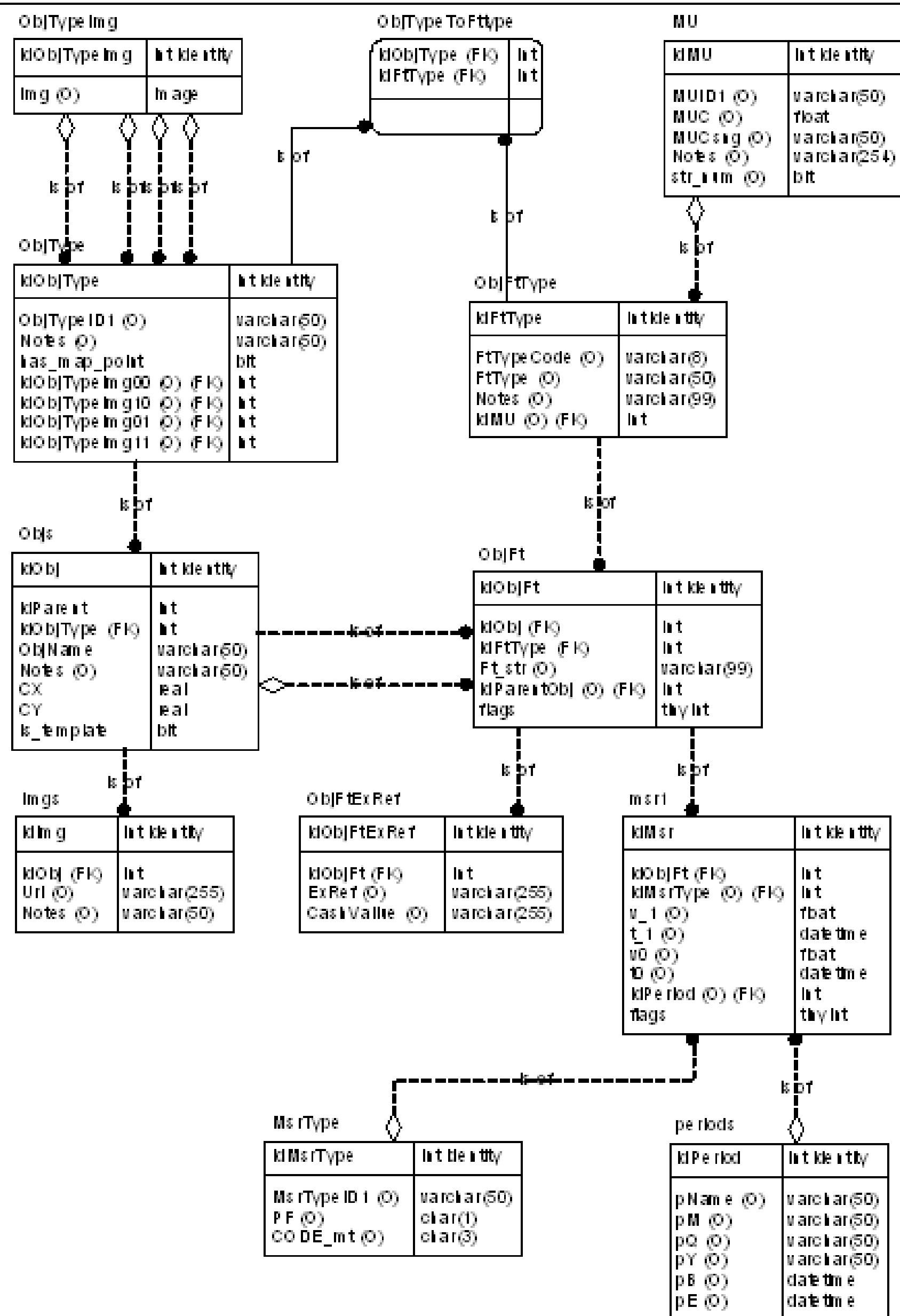
ИЕРАРХИЯ РЕЛЯЦИОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ОБЪЕКТОВ И СЕКТОРОВ ПКТС И ЕЕ НАПОЛНЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ГИПЕРКУБА ДАННЫХ



Пример отображения данных по потреблению ряда ресурсов

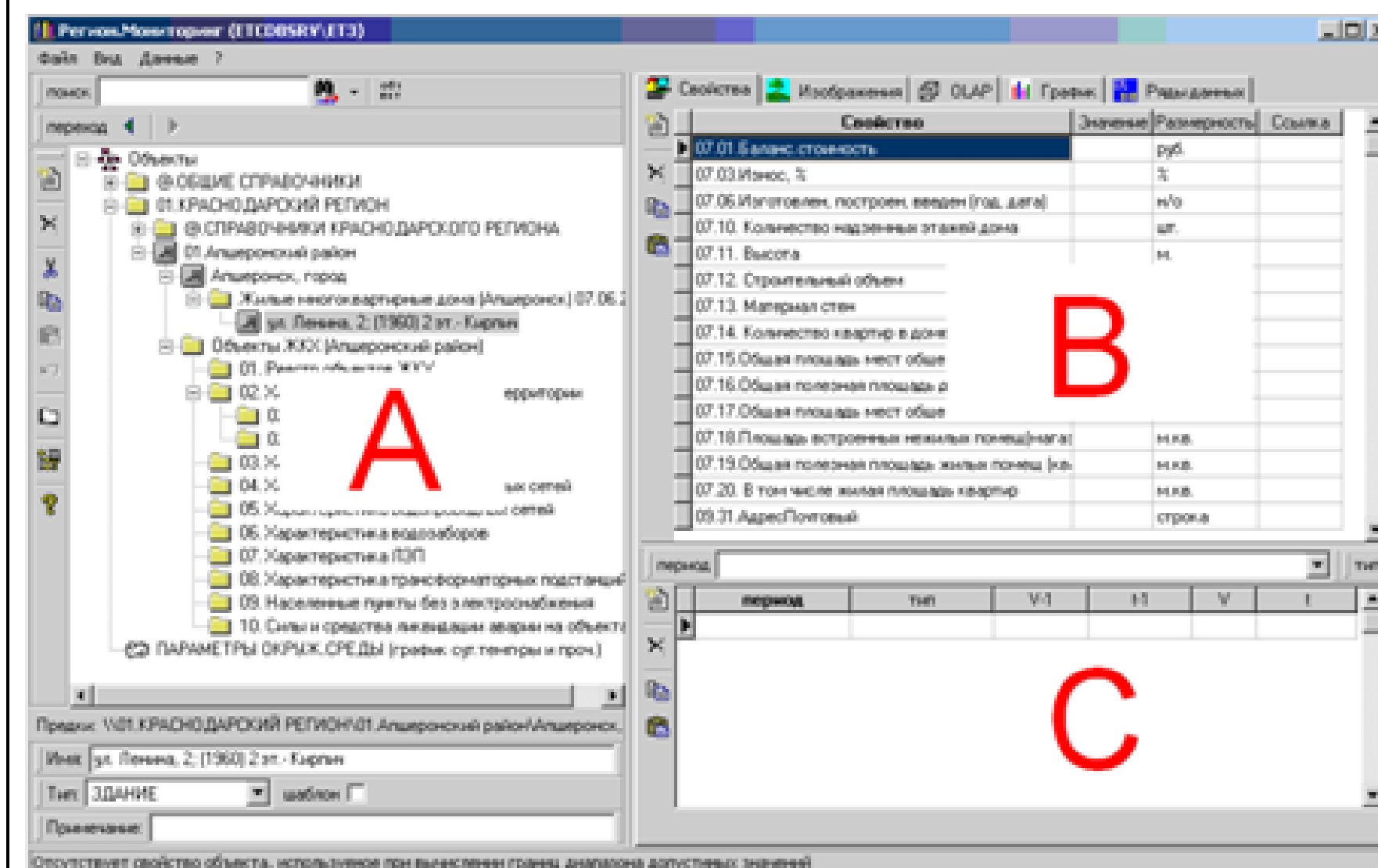
Округ	Район	Тип объекта	Имя объекта	Группа потреб.	Нужды	Ед. измерения	Период	Значения
...	...	...	...	...	...	...	...	...
ЦАО	Якиманка	Здание	Донская, д. 23	G23	ГВС	Гкал	2003.04	258,47
ЦАО	Якиманка	Здание	Донская, д. 23	G23	ГВС	Гкал	2003.05	135,00
ЦАО	Якиманка	Здание	Донская, д. 23	G23	ГВС	Гкал	2003.06	173,33
ЦАО	Пресненский	ЦТП	717/101	-	Отопление	Гкал	2003.07	0,00
ЦАО	Таганский	ЦТП	518/119	-	Отопление	Гкал	2003.09	0,00
ЦАО	Тверской	ЦТП	117/025	-	Отопление	Гкал	2003.10	360,00
ЦАО	Якиманка	Здание	Калужск. пл., 1/2	G23	Отопление	Гкал	2003.07	219,17
...	...	...	...	...	...	...	...	...

- Визуальное моделирование иерархии объектов системы сбора информации о потреблении ресурсов;
- Сбор и хранение информации о значениях свойств объектов в данный период времени, хранение истории параметров объектов;
- Анализ потребления ресурсов в разрезе округов, районов, ЦТП, потребностей потребителей, групп потребителей;
- Импорт, хранение и обработка агрегированной информации о платежах потребителей по районам;
- Контроль и предупреждение ошибочных действий операторов при вводе данных (попадание вводимых величин в некоторый допустимый диапазон значений);
- Контроль за действиями пользователей с целью разрешения коллизий и организационных противоречий при вводе и коррекции данных;
- Работа с территориально-распределенными базами данных



13

№	Название таблицы	Назначение	Описаны в параграфах
1.	Objs	Список экземпляров объектов предметной области	1.4.1. – панель А
2.	ObjType	Список типов объектов	
3.	ObjFt	Список свойств объектов	1.4.1. – панель В
4.	ObjFtype	Список типов свойств объектов	
5.	MU	Список единиц измерений	
6.	Msr1	Список замеров значений свойств объектов (в т.ч. изменяющихся во времени – динамические свойства)	1.4.1. – панель С
7.	MsrType	Список типов замеров	
8.	Periods	Список периодов (задает периодичность замеров величин свойств объектов изменяющихся во времени)	
9.	Imgs	Список представлений ассоциированных с объектами	
10.	ObjTypeImg	Список пиктограмм типов объектов в визуальной иерархии	



А – отображает иерархию системных объектов;
 В – представляет статические (достаточно медленно меняющиеся) свойства выделенного объекта в иерархии системных объектов;
 С – показывает динамические (достаточно быстро меняющиеся) свойства выделенного объекта в иерархии системных объектов;

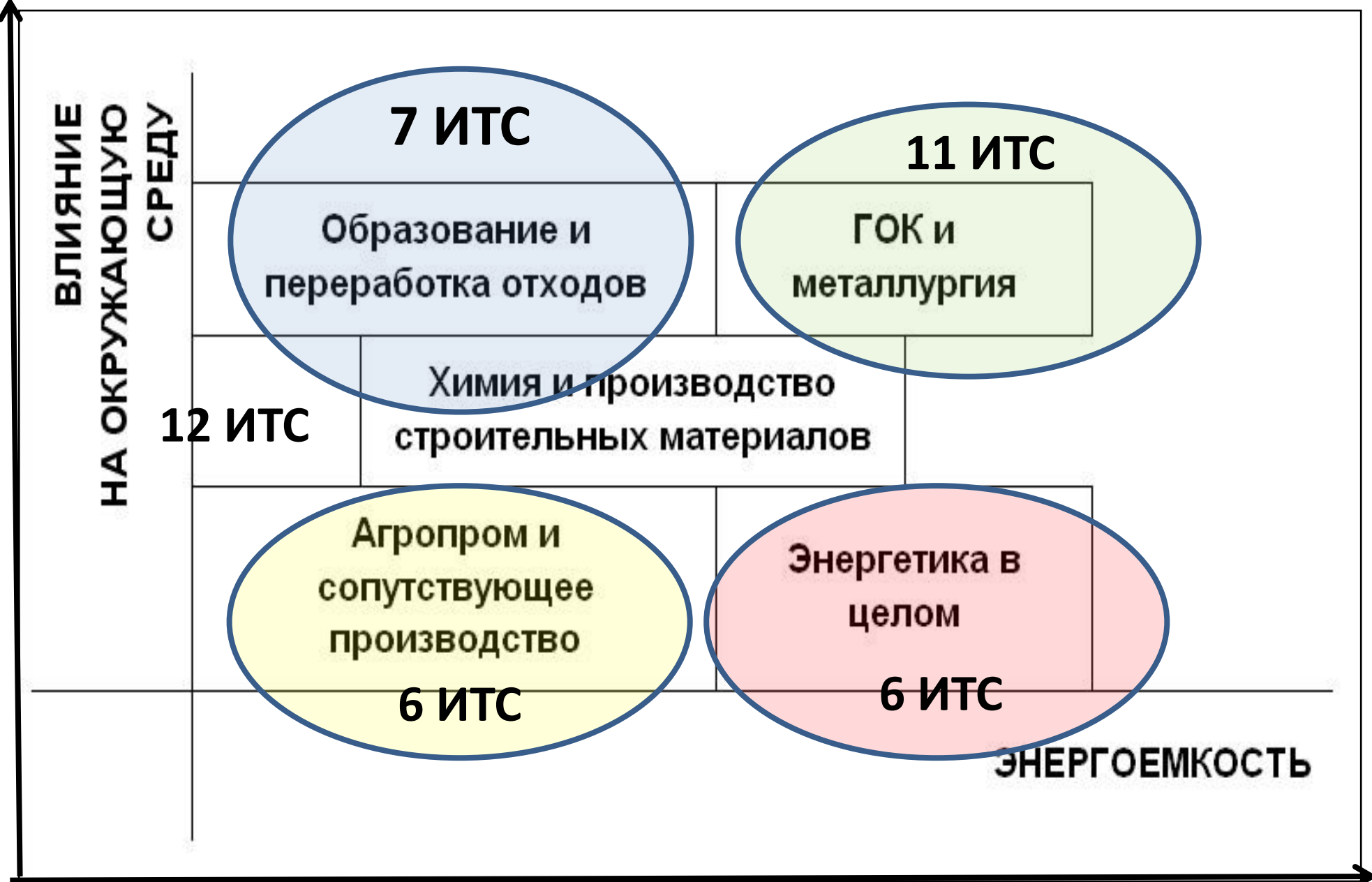
КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗЕРВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

В целом предприятия по энерго-экологической эффективности составляют следующие группы:

Предприятия I категории (наиболее «грязные» и энергоемкие) переходят на регулирование с помощью наилучших доступных технологий НДТ:

Они ответственны за следующие параметры потребления и отходов*:

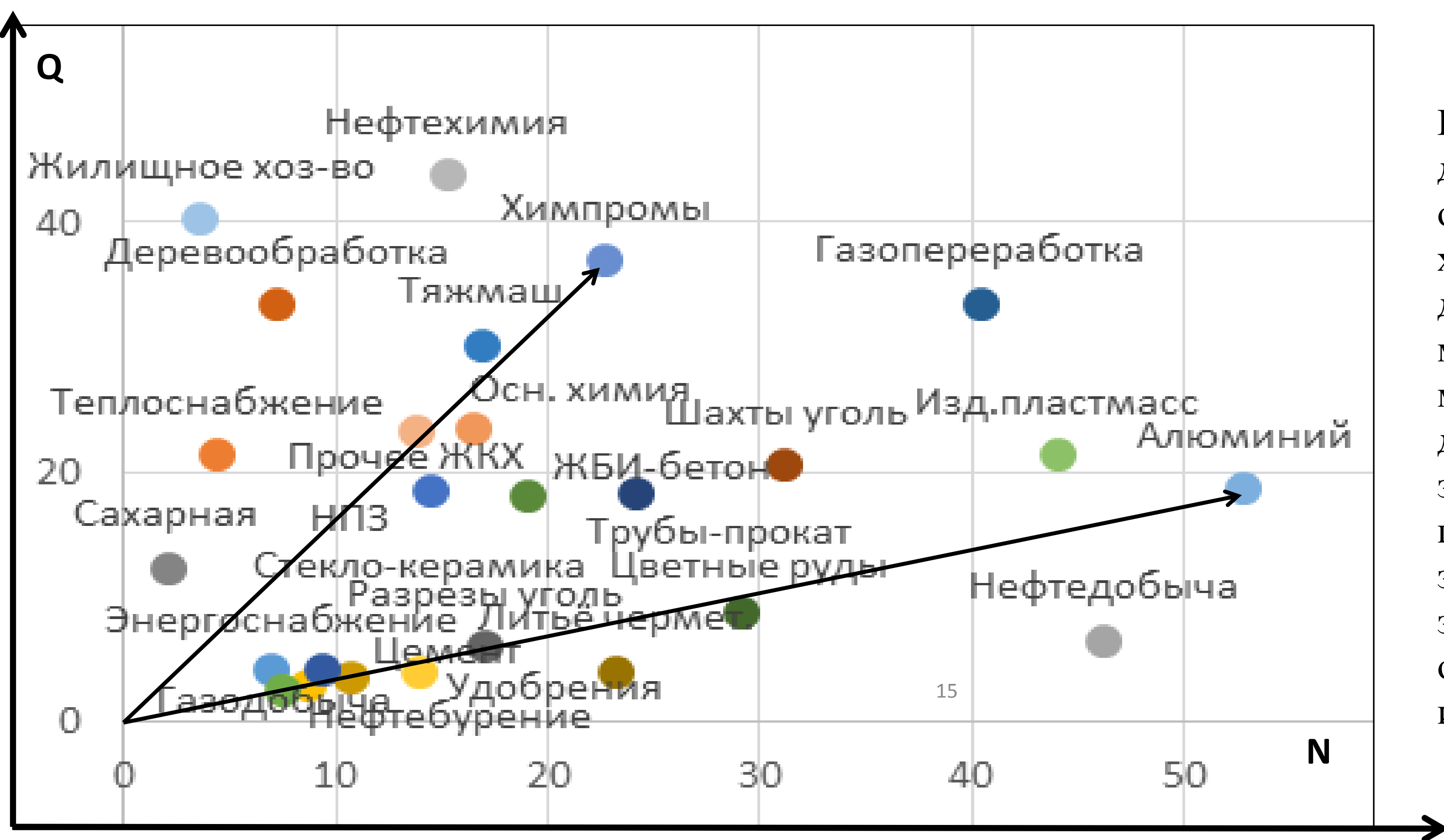
«На входе»	«На выходе»
52 % топливно-энергетических ресурсов	75 % выбросов в атмосферу
68,7 % воды	68,7 % стоков
18 % земли (кроме ГЭС)	79,8 % отходов
17 % занятых	11,6 % выхлопов



Отрасли и справочники НДТТ типологизированы в координатах энергоемкости и экотовоздействия

- Из 51 разработанных информационно-технических справочников ИТС по НДТ
- 23 относятся к энергоемким отраслям,
 - 21 к экологическим загрязнителям,
 - 7 справочников являются межотраслевыми (рамочными).

* Расчет произведен по базе данных 4500 предприятий. www.interfax-era.ru



ИТС № 48 – «Наилучшие доступные технологии при осуществлении хозяйственной и/или иной деятельности» является межотраслевым методическим документом для выявления резервов энергосбережения и повышения энергетической эффективности в разных отраслях промышленности и ЖКХ.

Предложенный метод комплексного (векторного) анализа полной энергоемкости продукции позволяет:

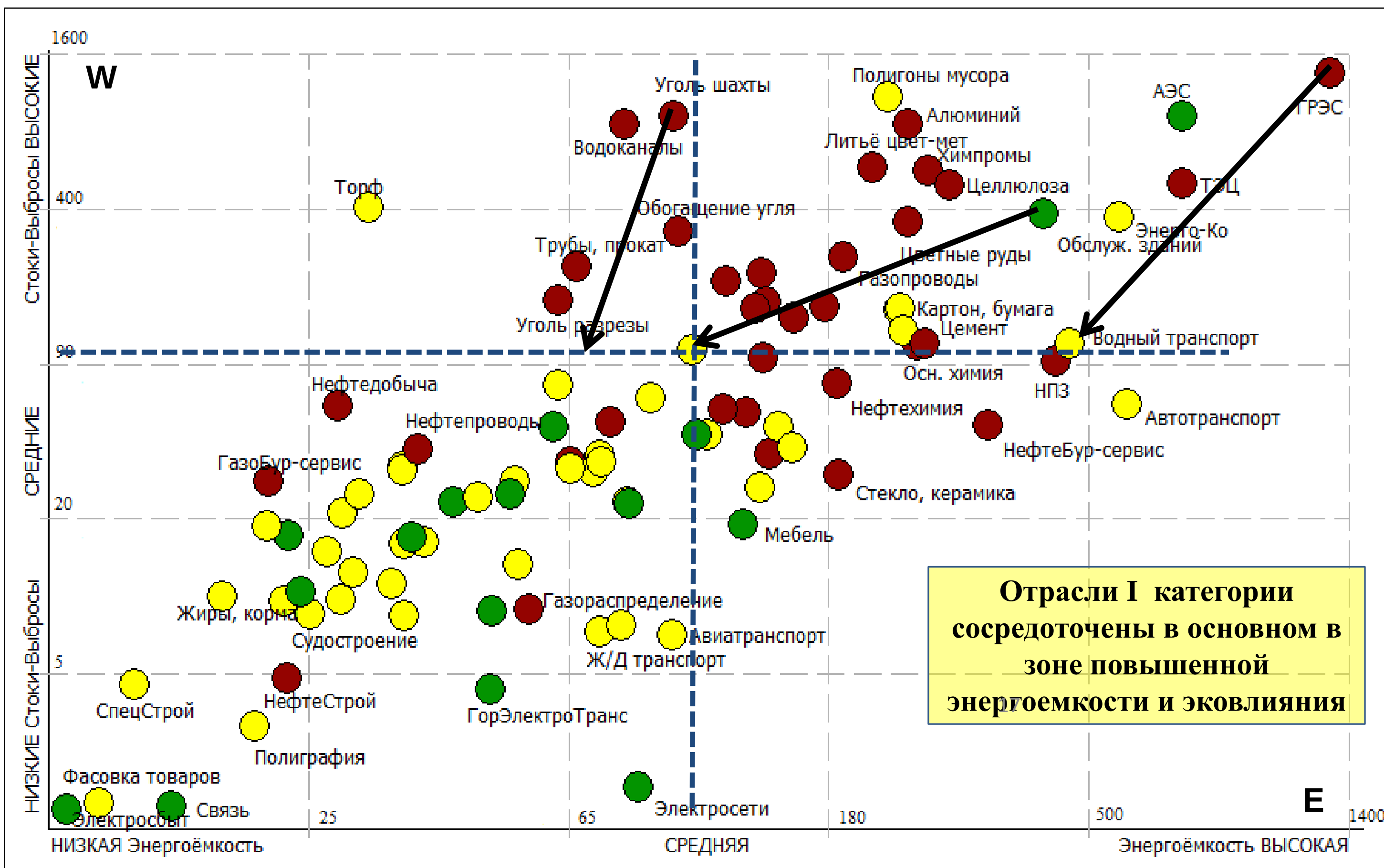
- производить общую оценку энергоемкости продукции и ее составляющих;
- дать наглядное представление использования в разных технологических процессах энергии разного потенциала;
- увидеть резервы взаимозаменяемости энергоресурсов, роста электровооруженности (на стороне потребителей);
- осуществить подбор эффективных гибридных источников энергии разного типа и потенциала;
- дать интегральную оценку экологического влияния технологии;
- выявить резервы повышения эффективности многостадийных теплотехнологических комплексов и энергопромышленных кластеров.

Алгоритм выбора оптимальных векторов повышения экологической и энергетической эффективности

	Содержание этапов		Примечание
1	Выбор начального состояния предприятия I категории в диаграмме «энергоемкость-эковлияние»		При наличии нескольких производств выбираются наиболее «грязные»
2	Выбор приоритетного вектора энерго-экологической модернизации		Вектор выбирается по приоритетным технологиям/маркерным веществам
	$\Delta E / \Delta W \geq 1$	$\Delta E / \Delta W \leq 1$	$\Delta E \Delta W$
3	Сравнение конечных показателей процессов с требуемыми по маркерным веществам		Производится по отраслевым справочникам ИТС по НДТ
4	Выбор ключевых мер достижения требований по маркерным веществам		«Фильтр» / «горелка» / «рекуперация» (сочетание)
5	Утилизация ВЭР, энерготехнологическое комбинирование (черная и цветная металлургия, НПЗ, ПСМ)	Сокращение выбросов и сбросов (ГРЭС, шахты), оборотные системы	Переход к малоэнергоемким переделам, схемные решения, замена и модернизация технологий на НДТ
6	Увязка выбранных мер по росту энергоэффективности и экобезопасности		Использование рамочного «горизонтального» справочника по энергоэффективности ИТС 48
7	Оценка экономической эффективности мер с позиции роста производства		Производится по отраслевым справочникам ИТС по НДТ
8	Оценка возможных мультипликативных эффектов на предприятии (регионе)		Методическая база в стадии разработки (фрагментарна)

Этапы алгоритма

1. определяется место отрасли в координатах «энергоемкость-эковлияние»;
2. выявляется ключевой вектор повышения энергетической и экологической эффективности;
3. для выбранного вектора определяются меры и технологии реализации заданного направления (в том числе из отраслевых ИТС);
4. определяются способы увязки заданных показателей ресурсо-эффективности, энергосбережения и экологической безопасности;
5. в качестве приоритетных мер выбираются дающие максимальные сопутствующие эффекты промышленного / территориального роста



Предложен алгоритм выбора наиболее оптимальных векторов повышения экологической и энергетической эффективности ЭПК за счет выбора и реализации оптимальных для данной отраслевой группы предприятий комплекса резервов энергосбережения и повышения энергетической (экологической) эффективности с учетом отраслевых НДТ.

АЛГОРИТМ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

№	Этап методики	Содержание работ
1.	Сбор исходных данных	Уточнение параметров энергоносителей, потенциалов, режимов выхода ВЭР, особенностей их состава
2.	Анализ структуры потребностей в ТЭР	Составление балансов по потенциалам энергоносителей
3.	Расчет условно-постоянных затрат на энергоресурсы	Фонд оплаты труда, начисления на фонд оплаты труда, ремонтные работы, амортизация, прочие затраты
4.	Расчет стоимостной доли топлива, преобразующегося в поток вторичных энергоресурсов	$k = \frac{\mathcal{E}_{отх.2}}{\mathcal{E}_{топл}} = \frac{g \left(i_1 - i_2 - cT_0 \ln \frac{T_1}{T_2} \right)}{\beta Q_g^p} \quad (7)^1$
5.	Оценка себестоимости выработанных ВЭР по разным агрегатам производства	Для этого необходимо выполнить ¹⁸ детальный расчет энергоемкости продукции, как для каждого агрегата с учетом его режимных особенностей, так и по всей цепочке тепловых переделов (пар 100 – пар 40 – пар 18 – пар 7 и т.д.), с учетом прямых и косвенных затрат энергоносителей и энергоемкости полуфабрикатов по стадиям технологического производства
6.	Сравнение вариантов энергоиспользования ВЭР на покрытие потребностей разного потенциала (если тепловая энергия в агрегате выделяется в результате экзотермических реакций, следует сопоставить химическую эксергию перерабатываемого сырья и физическую эксергию отходящих газов)	Полученные значения по стоимости тепловой энергии, производимой на основе использования ВЭР, варьируются в широком диапазоне. Причиной этого является наличие экзотермических реакций, тепловая энергия которых не учтена в данном расчете. Широкий диапазон топливной составляющей (от 5 до 100 руб./Гкал) для различных производств может быть эффективным инструментом энергетического планирования на производстве.
7.	Выбор вариантов	Подготовка инвестиционных программ и бизнес-планов реализации проектов использования ВЭР

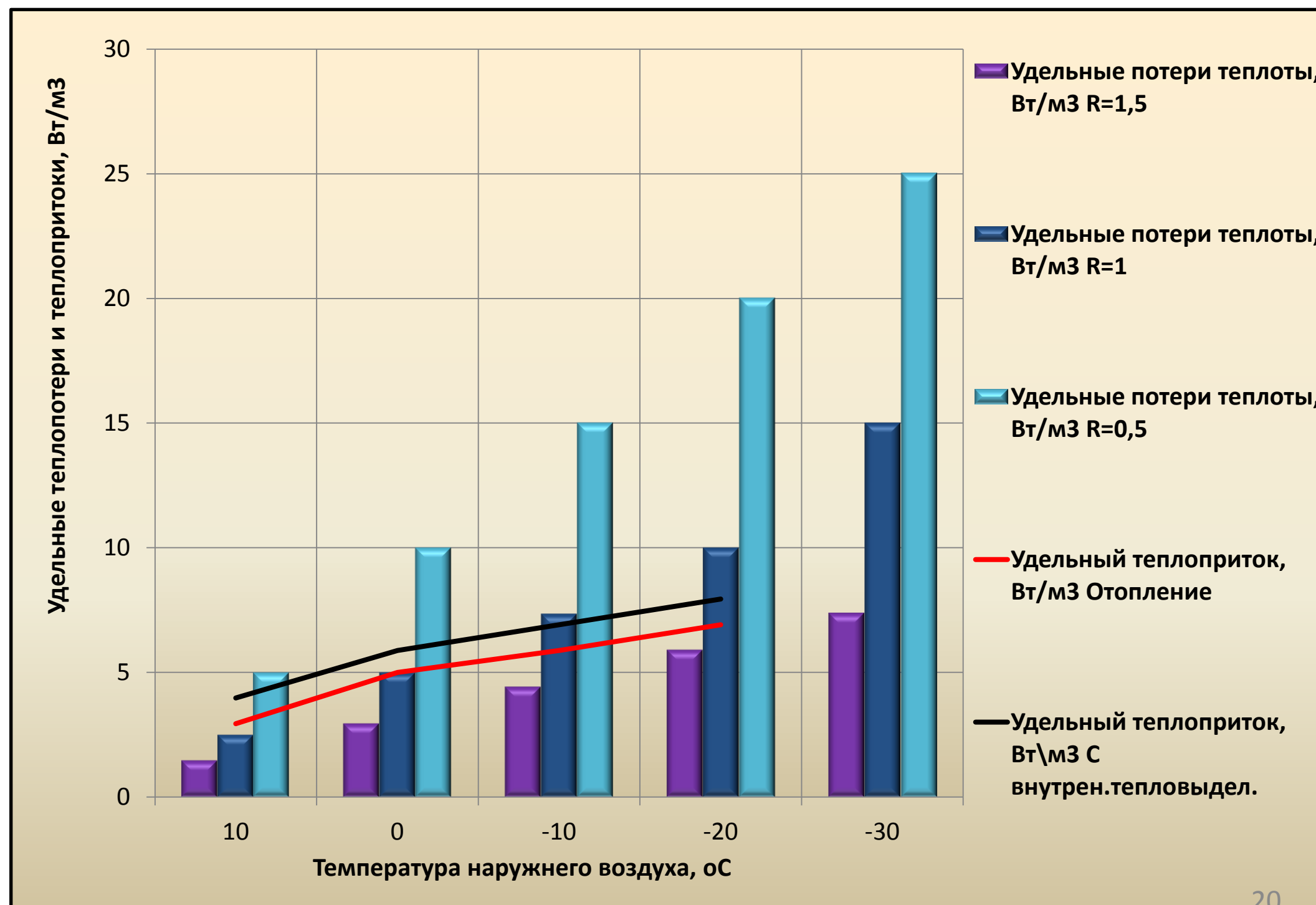
■ Резервы разного типа (природы) определены для разных типов сложности промышленных теплотехнологических систем и комплексов

■ Для стимулирования реализации выявленных резервов в целях роста производительности и рентабельности энерготехнологических агрегатов разработана методика оценки себестоимости пара ВЭР на основе эксергетического анализа.

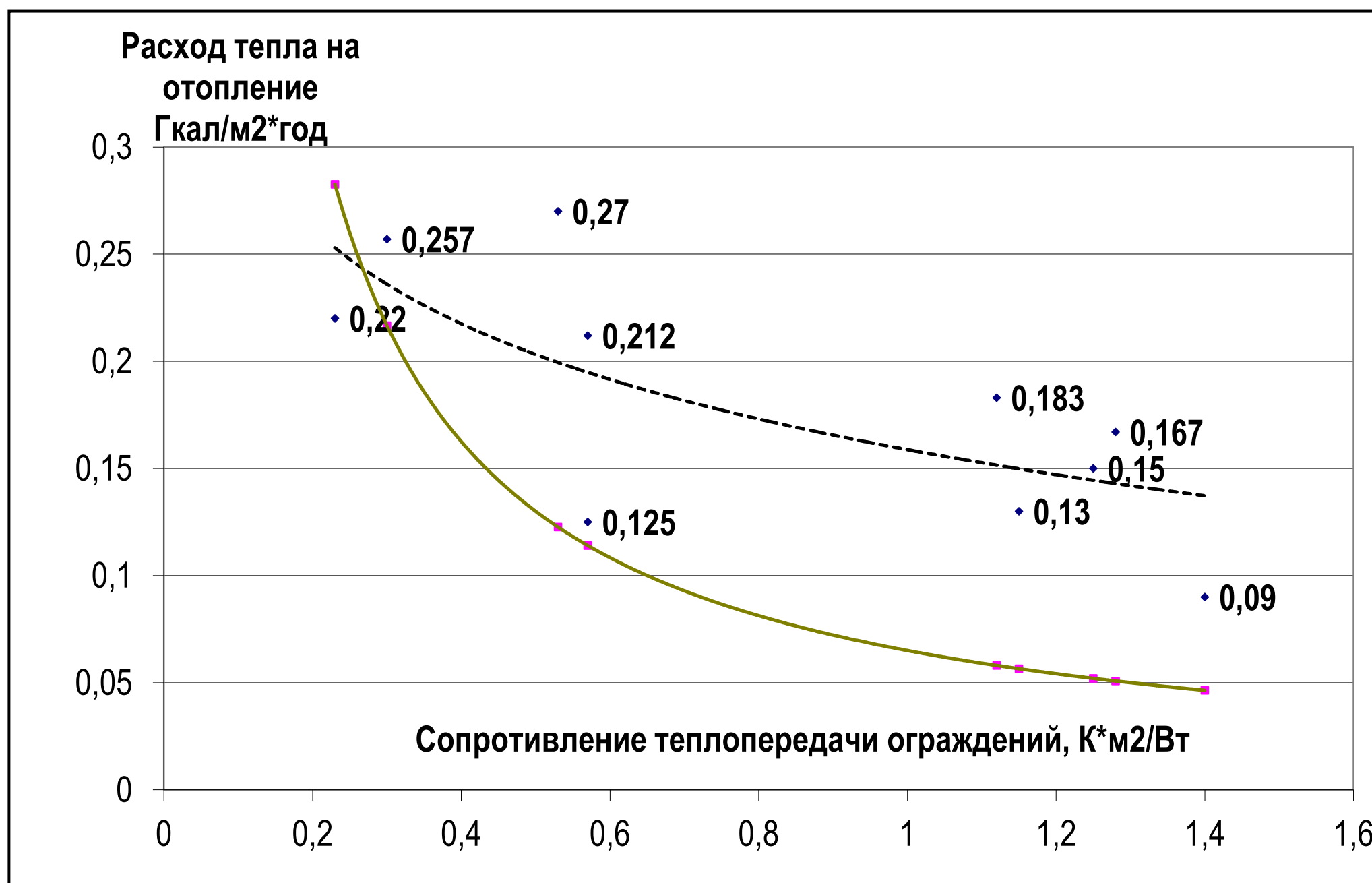
■ Разработанный методологический подход и алгоритмы определения резервов разного типа отражены в разработанном под руководством автора и утвержденном Росстандартом в 2017 г. информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям ИТС 48-2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности».

Уровни сложности ПКТС	Природа резервов и пути реализации	Примеры реализации резервов разного уровня в производственных комплексах
Высокотемпературные нагревательные агрегаты с совмещением генерации и диссипации энергии	Оптимизация пространственных параметров ВТУ, совершенствование диссипативных процессов, регенерация тепла	Устойчивость процессов диссипации изучалась в промышленном эксперименте на прокатном стане 2000 НЛМК, в результате которого получены представительные данные о динамике тепловой релаксации горячего проката в разных условиях охлаждения. Исследованы особенности процесса остывания горячего проката и отбора тепла с целью его утилизации, определены фактические тепловые потоки разной природы от нагретого металла (в разных температурных диапазонах).
Тепло- и энерготехнологические комплексы с разнесенными процессами генерации энергии и диссипации.	Использование всего потенциала ТЭР, скрытых энергопотоков, переход к энерготехнологическому комбинированию	Для более полного использования вторичного потока энергии разработана система утилизации тепла горячего проката, позволяющая регулировать теплоотвод от горячего металла и тем самым согласовывать выход вторичной энергии и ее потребление. Переход от использования утилизаторов КУ-125 и КУ-150 нагревательных печей к установке энергетических котлов с выработкой пара 90 ат и теплофикационных турбин Т-25-90, Р-6-90 (суммарной электрической мощностью до 90 МВт) на прокатном стане 2300- 2500.
Многостадийные и много-потокowe тепло-технологические системы и комплексы	Использование полной внутренней энергии сырья, продукции. Замыкание и взаимоувязка разных потоков, вторичных энергоресурсов (по теплу и давлению)	Для условий многопотоковой теплоэнергетической системы (ОЭМК) предложена схема утилизационной ТЭЦ, использующей разные вторичные ресурсы: избыточное давление природного газа (14 МВт), дросселируемого пара котельной (24 МВт), вторичное тепло печей металлизации и нагрева (20 МВт). Переход от последовательной к параллельной схеме внешнего энерготехнологического комбинирования в агрегатах реформинга природного газа с выработкой пара 100 ат для привода особо мощных технологических компрессоров. Рационализация потоков пара разного давления (100-40-16-12-6-3 ат) в распределенной теплоэнергетической системе химического комбината с выработкой электроэнергии и холода.

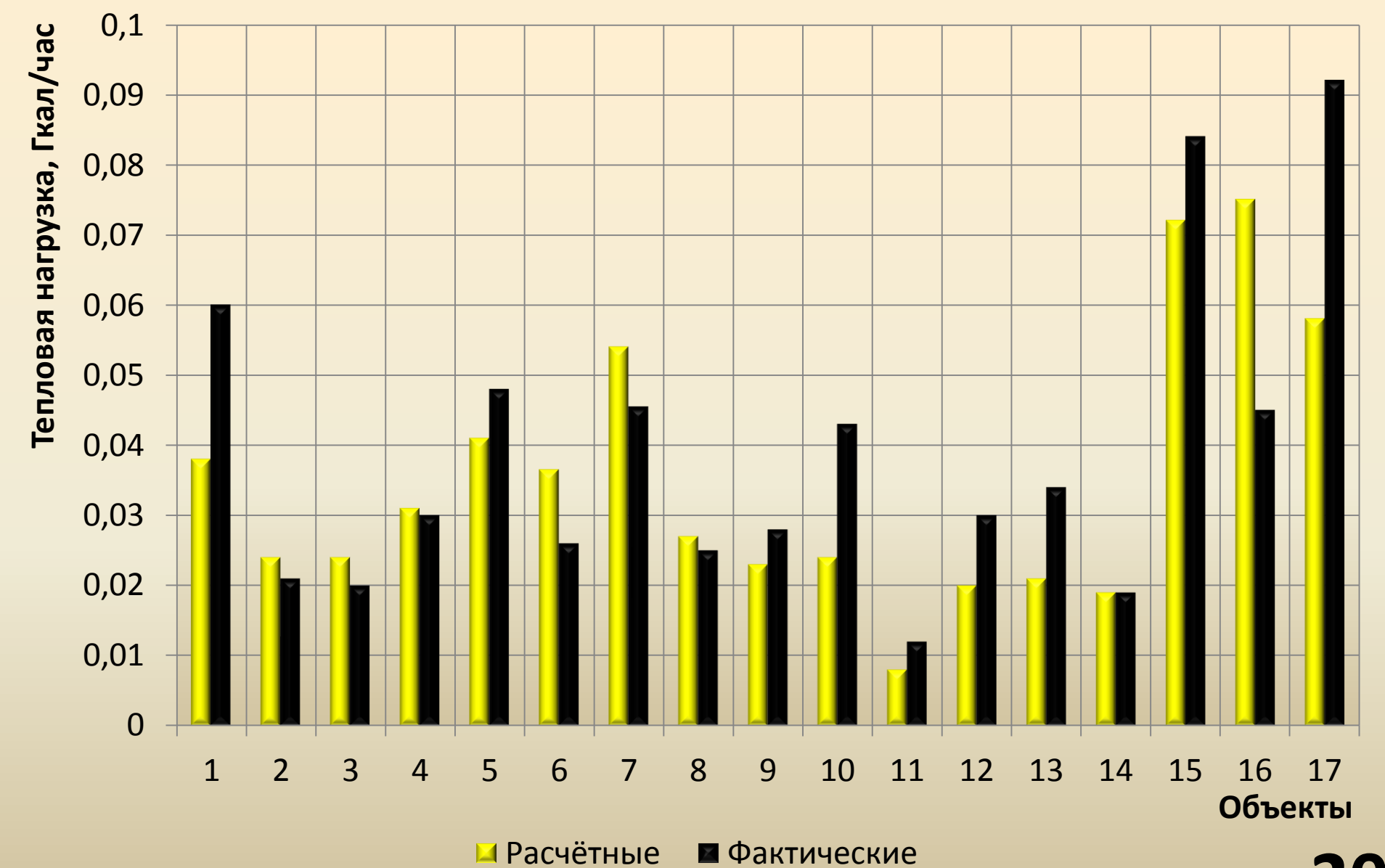
Результаты проведения работ анализа эффективности использования тепловой энергии в тепловых сетях и зданиях ряда городов РФ



20



Отличия фактических отопительных нагрузок от расчётных

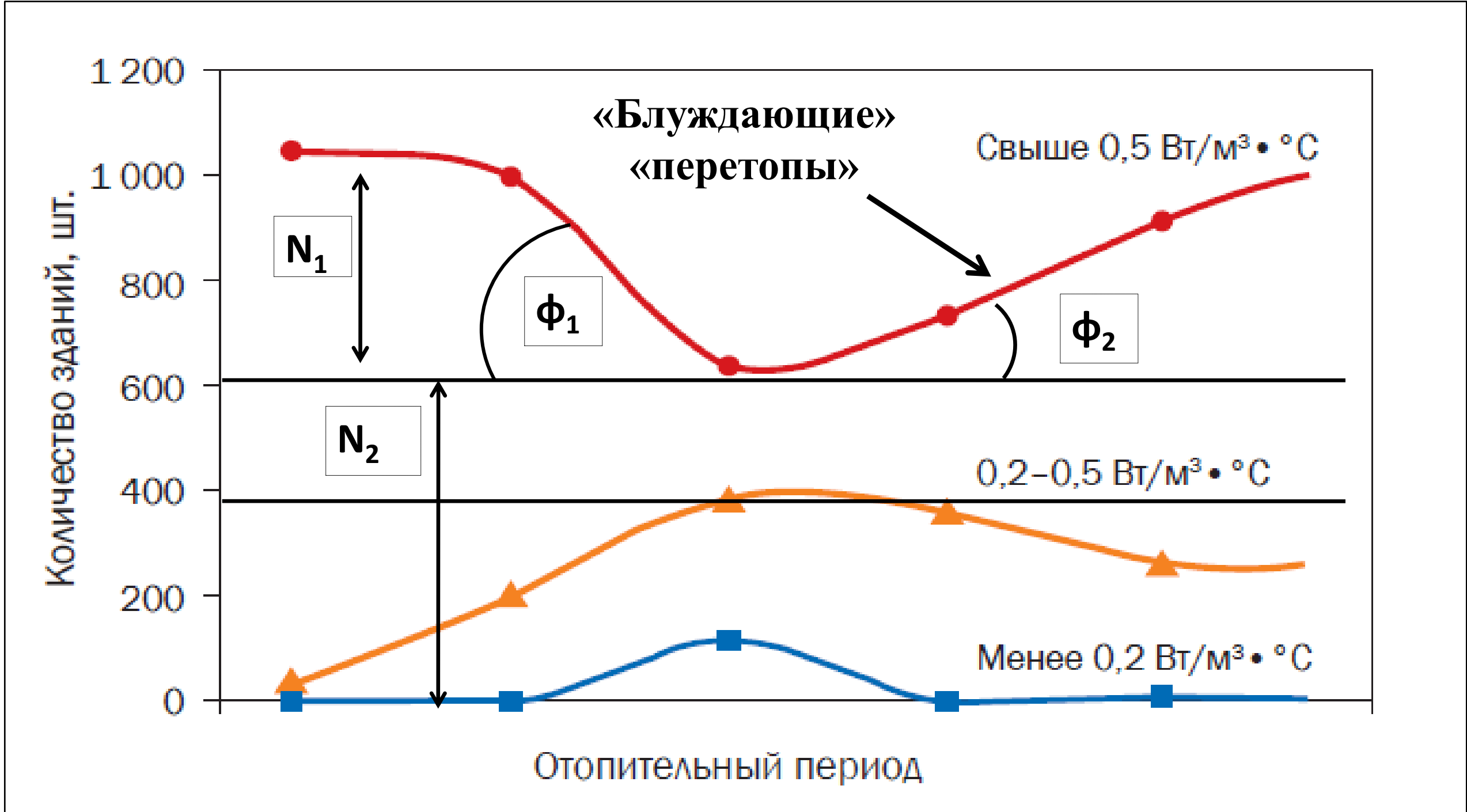


20

**АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛА ЗДАНИЯМИ ЮЖНОГО АДМИНИСТРАТИВНОГО ОКРУГА
МОСКВЫ ЗА ЗИМУ 2013/2014 г. ПО БАЗЕ ДАННЫХ УЗЛОВ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Южный округ Москвы: население ~1,4 млн.чел. ~ 3050 МКД. 30% узлов учета тепла не прошли поверку и находятся в неработоспособном состоянии. Подавляющее большинство зданий – 1965-1975 г. постройки

Технологические параметры	окт.2013	ноя.2013	дек.2013	январ.2014	фев.2014	мар.2014	апр.2014
Общее количество счетчиков в жилых домах	3028	3033	3034	3029	3029	3029	3034
Количество строений с превышением расчетной нагрузки, (средний % превышений)	1128	1212	1155	1113	1197	1268	1446
	127,0 %	127,8 %	125,7 %	121,7 %	125,8 %	127,6 %	137,2 %
Средняя температура воздуха за месяц, (° С)	6,7	3,8	-1,9	-8,4	-2,1	3	7,4
Кол-во строений с зафиксированным перетопом по температуре Т3, (% от общего количества)	651	544	533	418	549	578	715
	57,7 %	44,8 %	46,1 %	37,5 %	45,9 %	45,6 %	49,4 %
Количество строений с зафиксированным несоответствием по температуре Т4, (% от общего количества)	237	292	167	262	258	327	172
	21%	24%	14,4 %	23,5 %	21,5 %	25,7 %	11,9 %
Усредненный год постройки строений (с превышениями расчетной нагрузки)	1970	1971	1970	1970	1970	1970	1972
Количество зданий с выявленными значениями удельных отопительных характеристик строений							
менее 0,2 Вт/м³*град	339	2	119	10	11	2	203
0,2 - 0,5 Вт/м³*град	428	207	390	364	267	263	331
более 0,5 Вт/м³*град	361	1003	646	739	919	1003	912

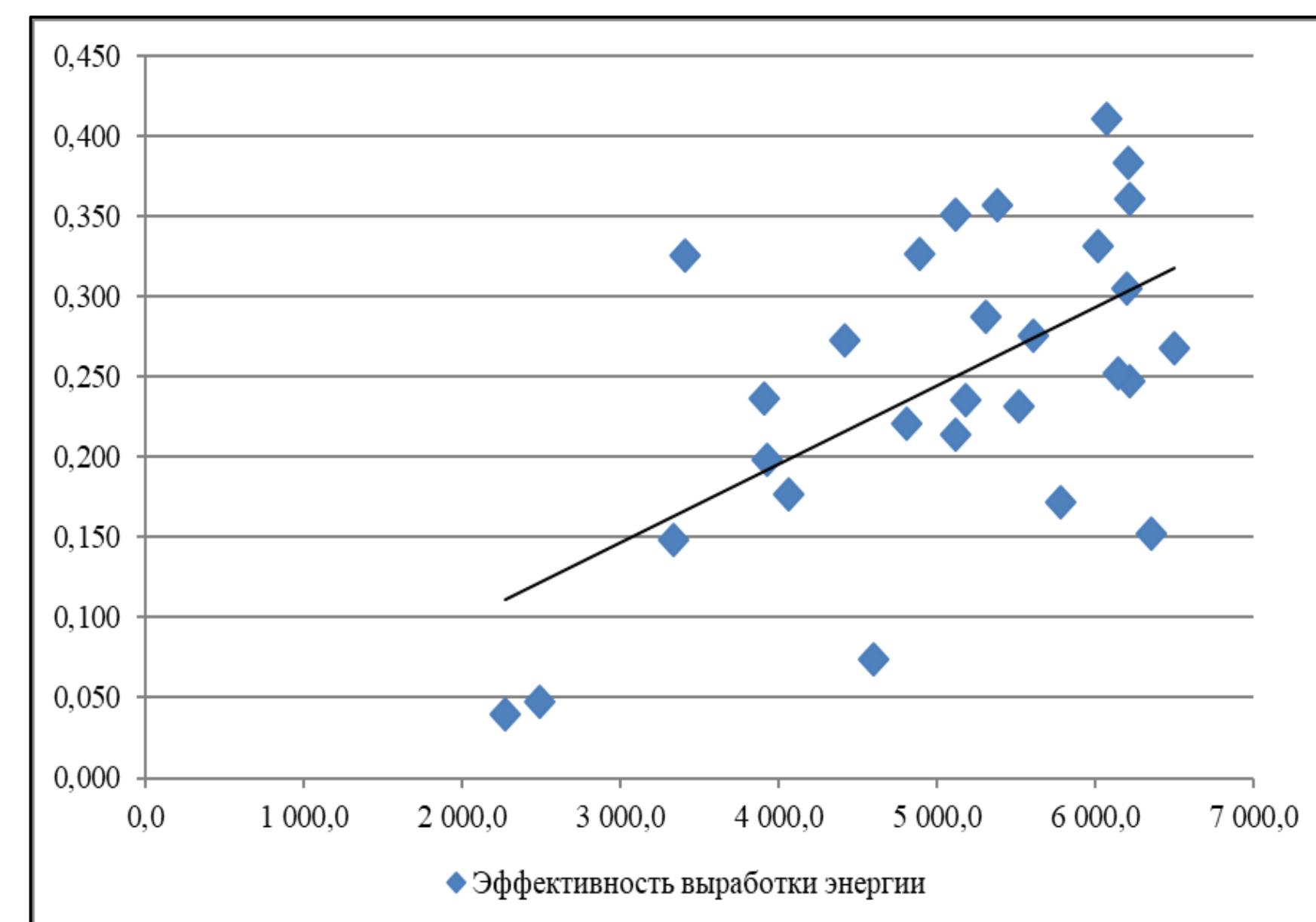
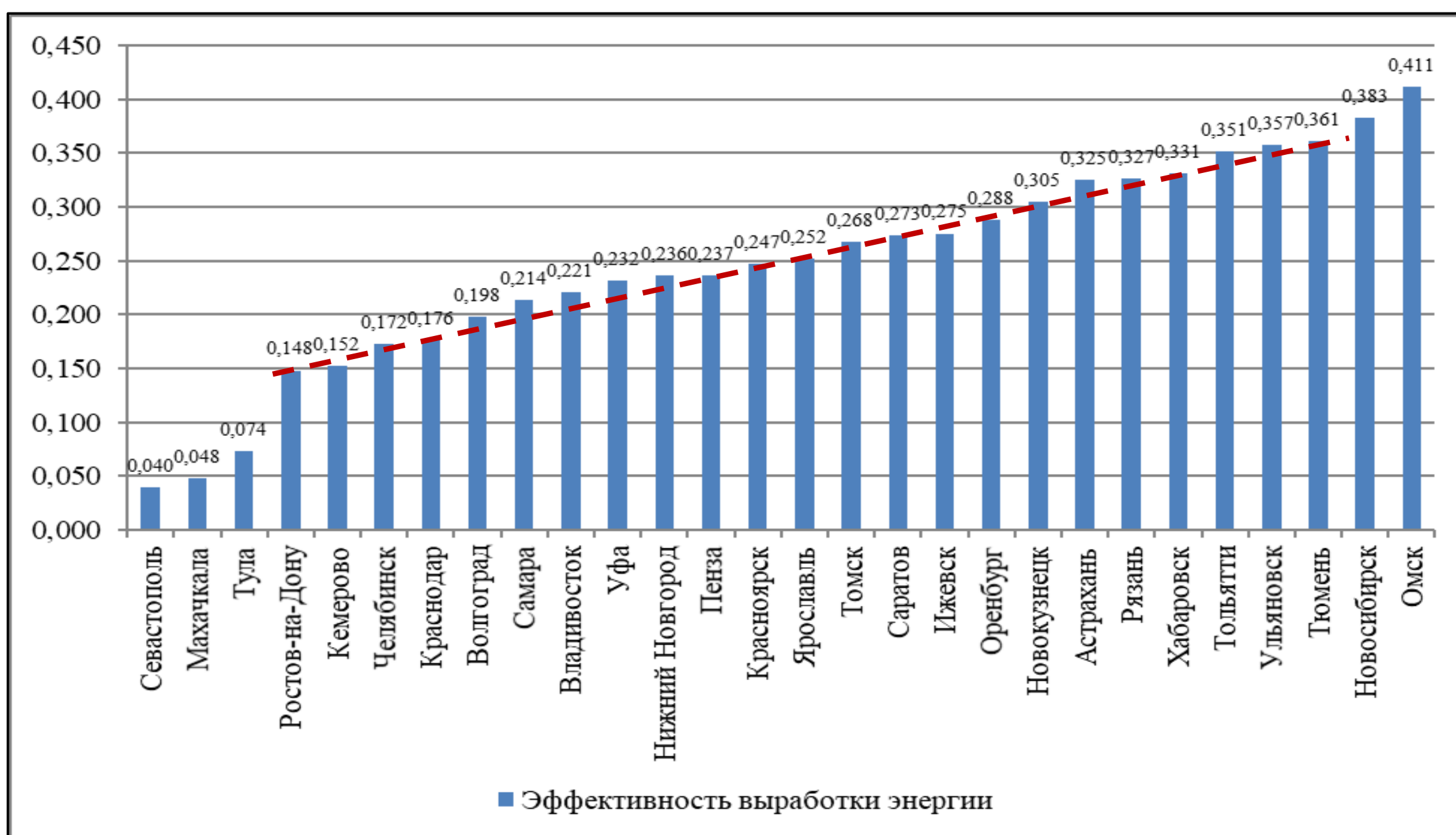
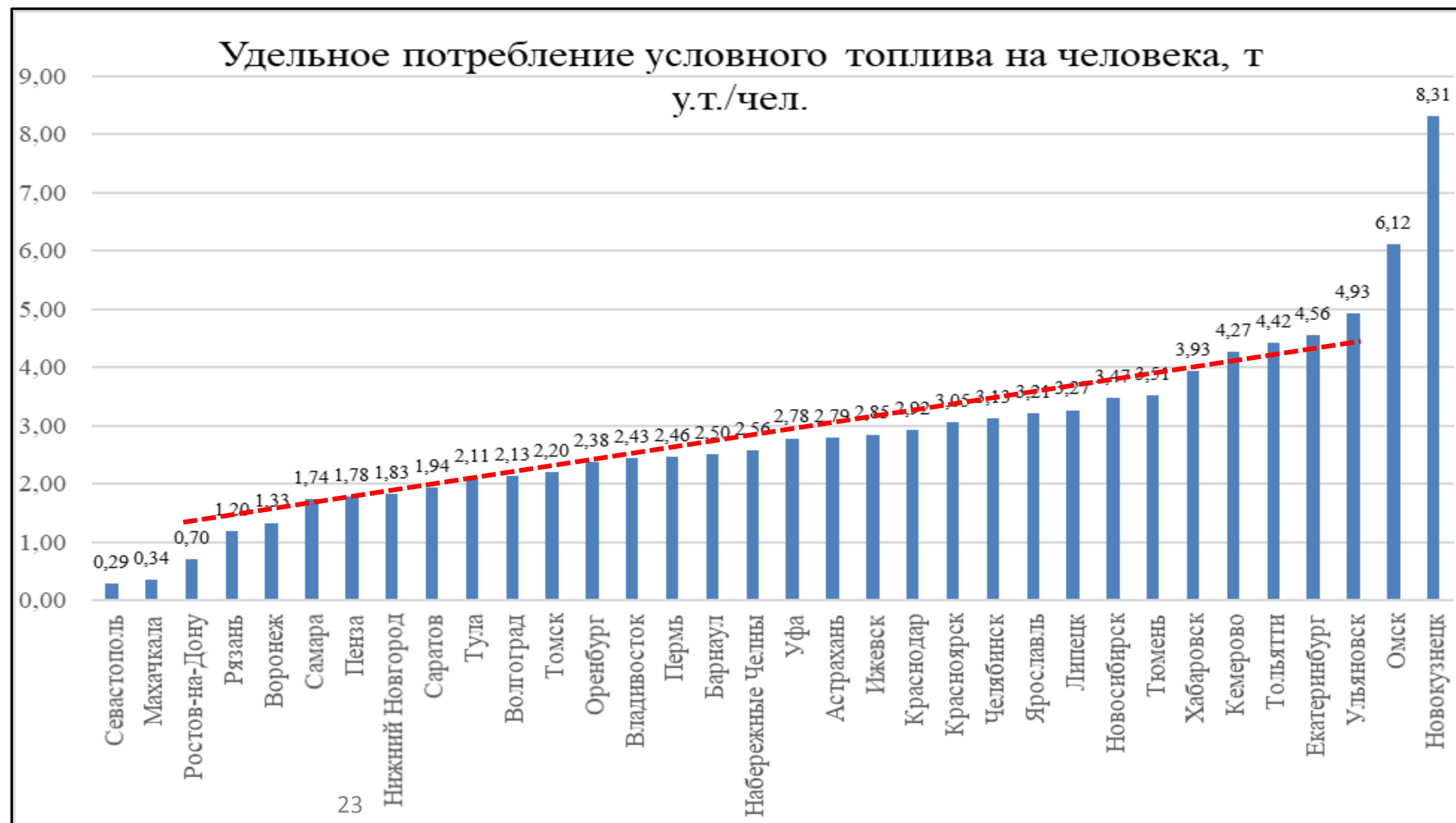


Анализ базы данных приборов учета тепловой энергии крупных территориальных образований г.Москвы показывает неоднозначную динамику «миграции» дисбалансов по месяцам отопительного периода

Выявление разных типов дисбалансов поставок тепловой энергии потребителям – важный резерв сокращения потерь и роста эффективности

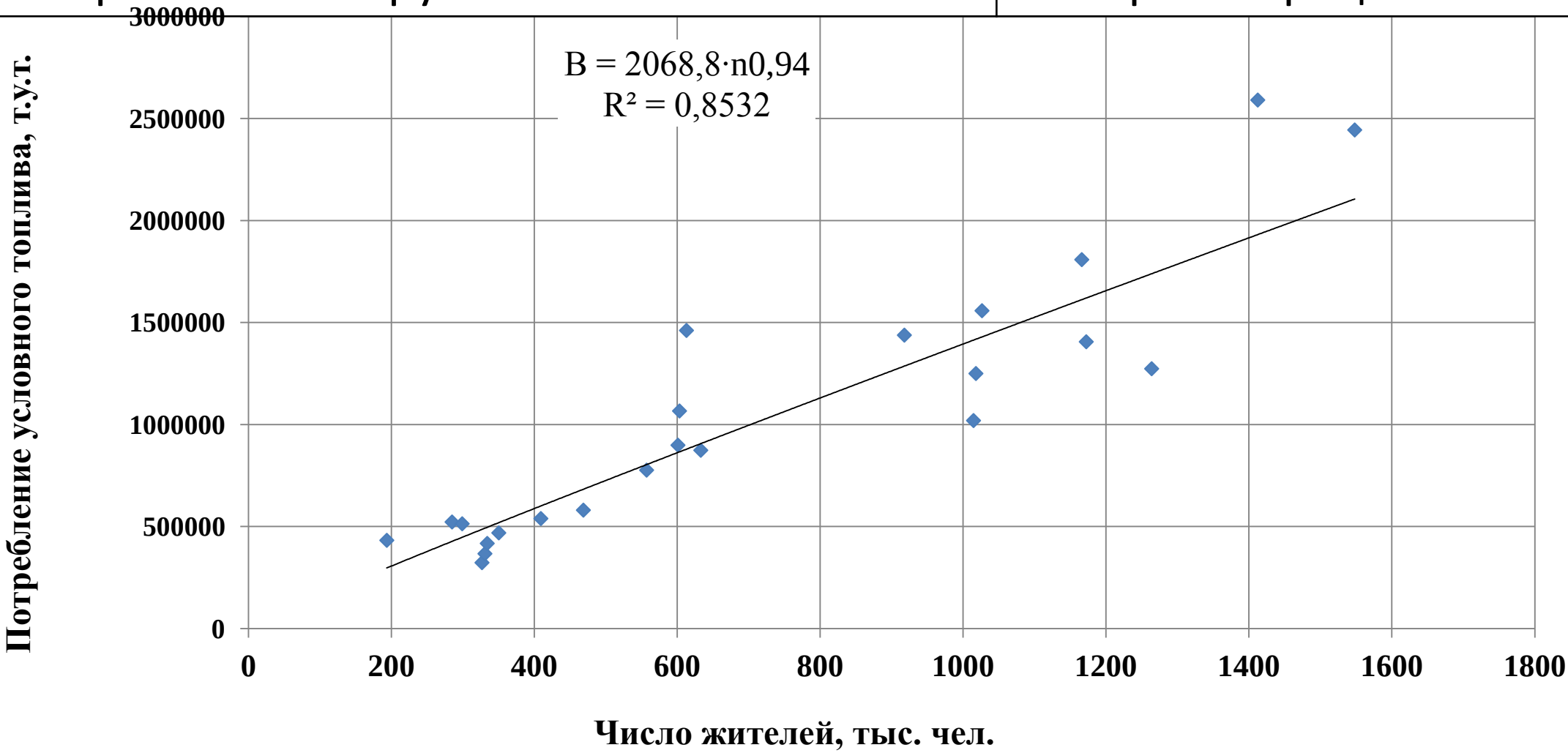
Дисбалансы и причины их возникновения	Методы нейтрализации дисбалансов
Перерасходы тепла в зданиях разного возраста после проведения капитального ремонта	Настройка автоматизированных узлов управления теплоснабжением АУУ
Перетопы зданий постройки начала XX века с $R = 1,0 \text{ К} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$ вследствие достаточных теплотехнических параметров	Согласование режимов и настроек АУУ в зданиях с режимами ЦТП
Перетопы зданий постройки 1960-1970-х годов вследствие падения теплозащитных способностей в условиях повышенной влажности и переходов через 0°C	Проведение комплекса мер повышения влагоустойчивости теплозащитных свойств ограждающих конструкций
Перерасходы тепла системами вентиляции различных (бюджетных) объектов	Согласование и перераспределение нагрузок отопления и вентиляции
Гидравлическая разрегулированность зданий и внутренних контуров ЦТП	Промывка инженерных систем зданий, ЦТП, гидравлическая наладка
Перепоставки тепла в новые здания постройки XXI века вследствие несоответствия фактических показателей теплозащиты проектным	Перенастройка параметров АУУ и ИТП под фактические параметры тепловой защиты ограждающих конструкций

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ ВЫПОЛНЕН НА ОСНОВЕ ОБЗОРА СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 35 КРУПНЫХ ГОРОДОВ РФ

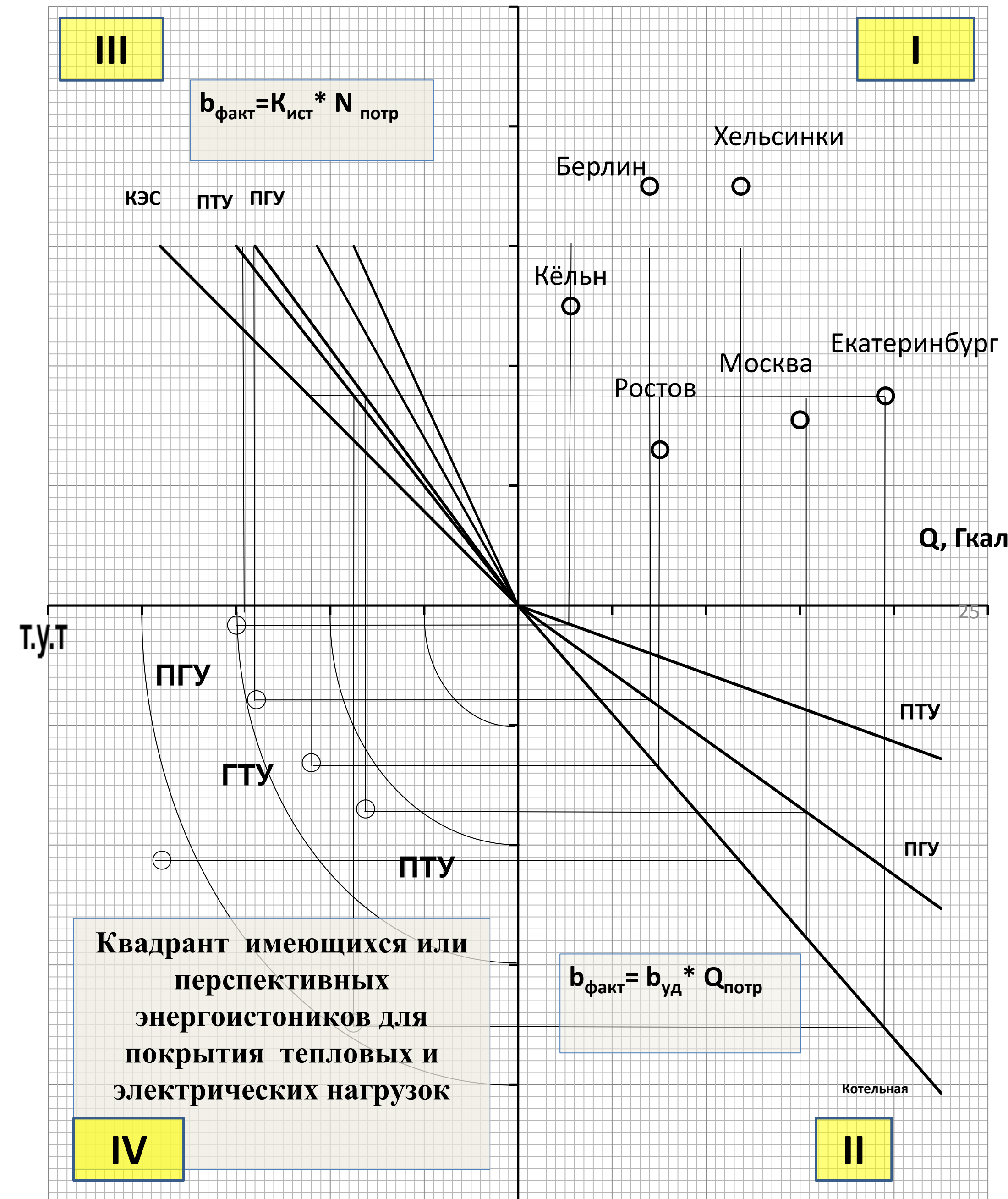


ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК:
ПОТРЕБИТЕЛИ ПРОТИВ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ

Факторы на стороне потребителей	Факторы на стороне источников
Повышение теплозащиты строящихся зданий и снижение расчетных тепловых нагрузок на отопление	Реконструкция и вывод из эксплуатации устаревших котлов и турбин, с переходом на ГТУ и ПГУ
Рост доли новых (отремонтированных) зданий с повышенной теплозащитой	Строительство ТЭЦ с повышенной долей электрической мощности (ПГУ)
Проведение реконструкции зданий с заменой инженерных коммуникаций, систем освещения	Оснащение крупных котельных ГТУ для комбинированной выработки
Оснащение зданий системами управления теплопотреблением	Рост установок «распределенной генерации» разной мощности (на ВИЭ)
Рост оснащенности зданий бытовой электропотребляющей техникой (в том числе системами кондиционирования)	Использование промышленных ТЭЦ, теплоутилизационных ТЭЦ, других различных ВЭР
Рост числа торгово-офисных, развлекательных центров с преобладанием электрической нагрузки	Использование местных ресурсов для развития дополнительной тепловой и электрогенерации



N, тыс.кВт*ч



Методика сравнительного анализа полной энергоемкости систем энергоснабжения городов, позволяющая наглядно представлять энергоемкость (резервы) полного энергопотребления, анализировать эффективность покрытия тепловых и электрических нагрузок существующими энергоисточниками.

Методика позволяет оценивать необходимость замены и модернизации состава и структуры генерирующих мощностей в зависимости от масштабов проведения энергосберегающих работ в конечном потреблении, от изменения структуры и графиков тепло- и электропотребления.

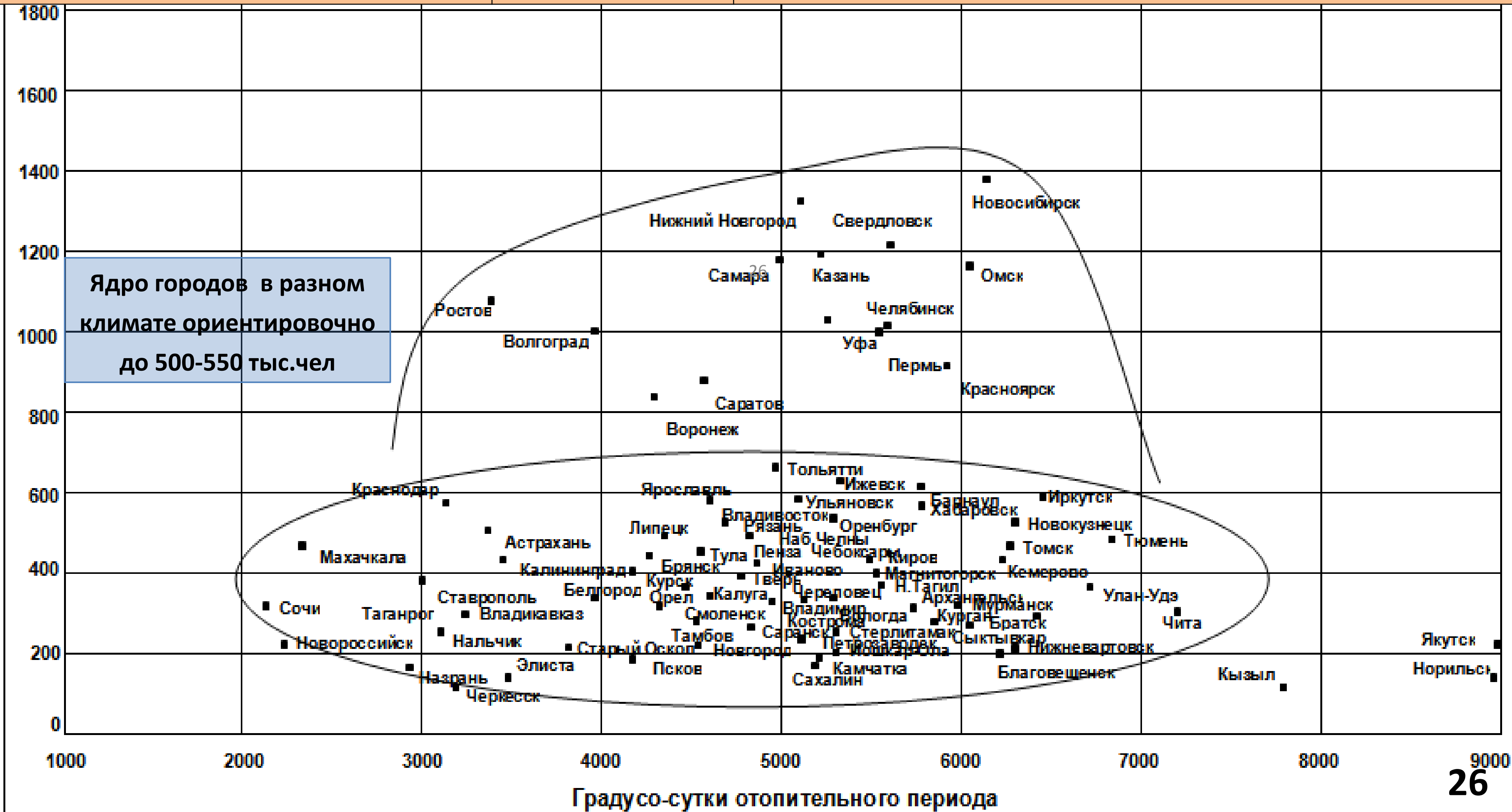
I квадрант - наглядное представление структуры потребления тепловой и электрической энергии,

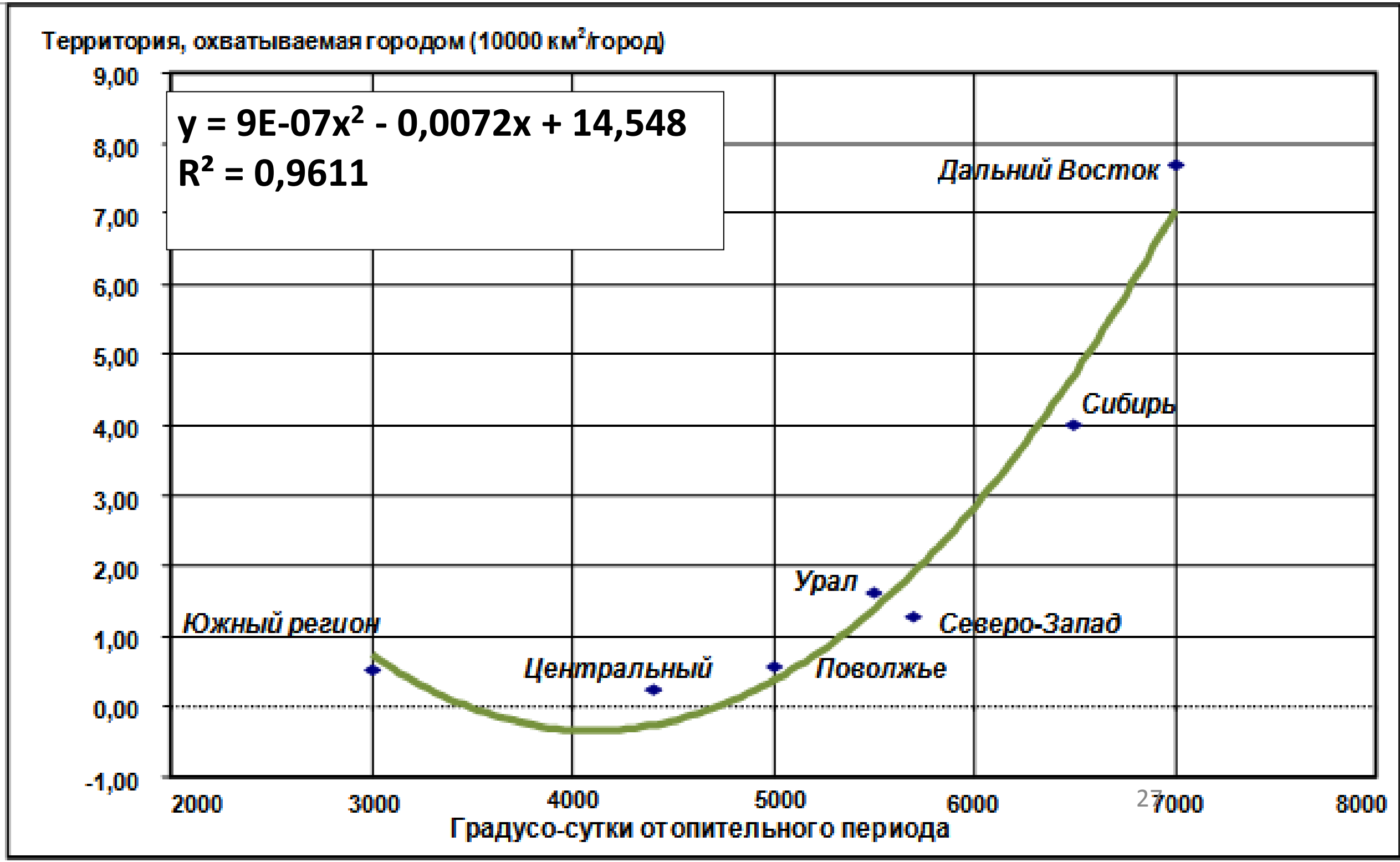
II квадрант – вниз – переход к затратам топлива для разных источников покрытия тепловой нагрузки

III квадрант – влево – переход к затратам топлива для разных источников покрытия электрической нагрузки (КЭС, ГТУ, ПТУ, ПГУ).

Пересечения соответствующих линий в левом **нижнем квадранте** показывают нам область минимальной энергоемкости (т.е. удельного расхода топлива источниками) на обеспечение выбранных потребителей тепловой и электрической энергией.

Пороги эффективности ТТС городов	Людность городов	Природа порогов и их ориентировочные эффекты
Рост концентрации проживания (снижение коэффициента формы).	80 - 130 тыс. чел.	Снижение удельных затрат на отопление в 2,5-3,5 раза за счет роста числа многоквартирных зданий
Повышение компактности	200 - 250 тыс. чел	Общее снижение транспортных издержек на 35-45%
Широкое применение теплофикации (в том числе ПТУ и ПГУ)	350 - 400 тыс. чел.	Экономия топлива на 26-38% за счет комбинированной выработки тепла и электроэнергии

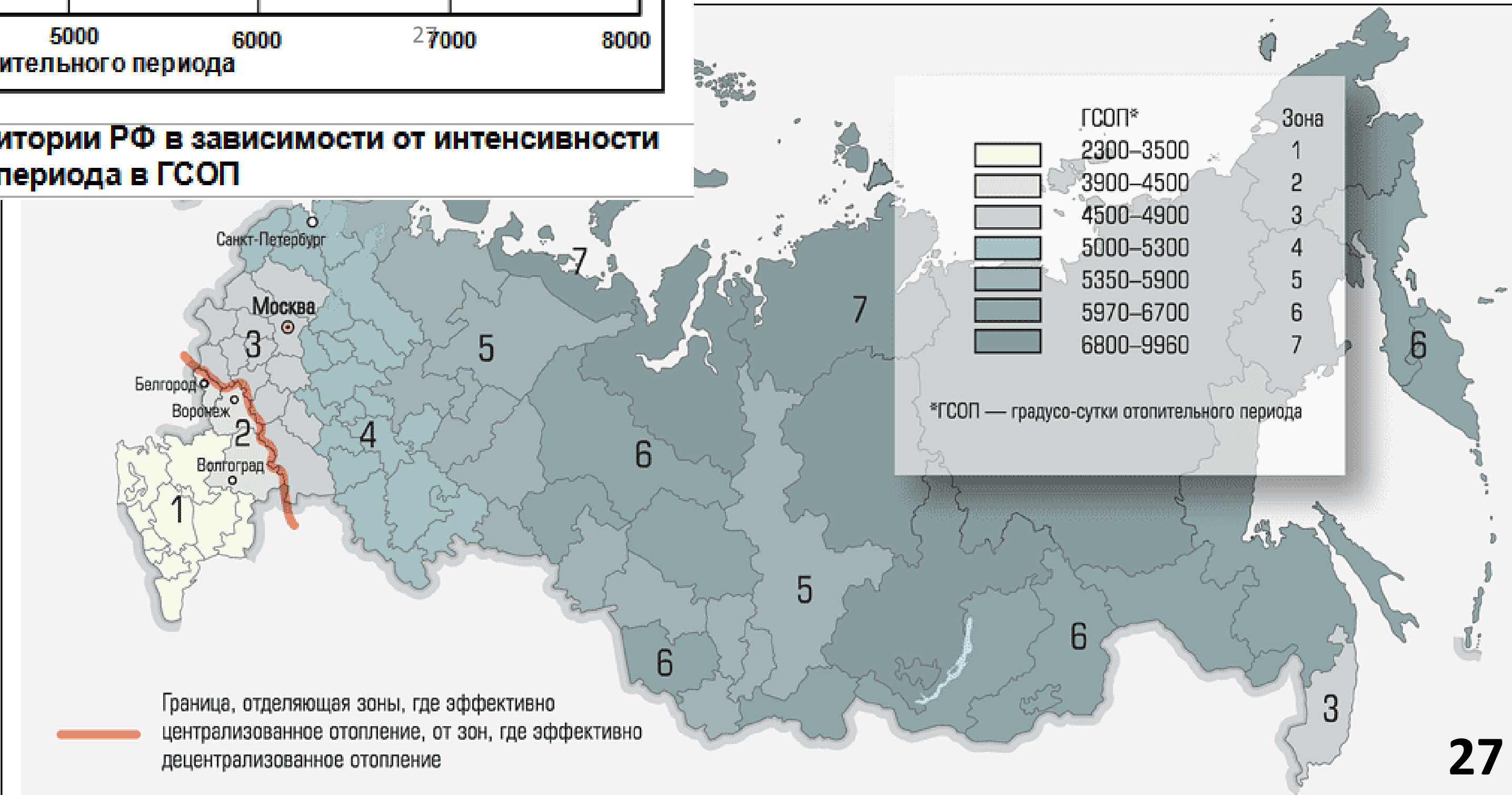


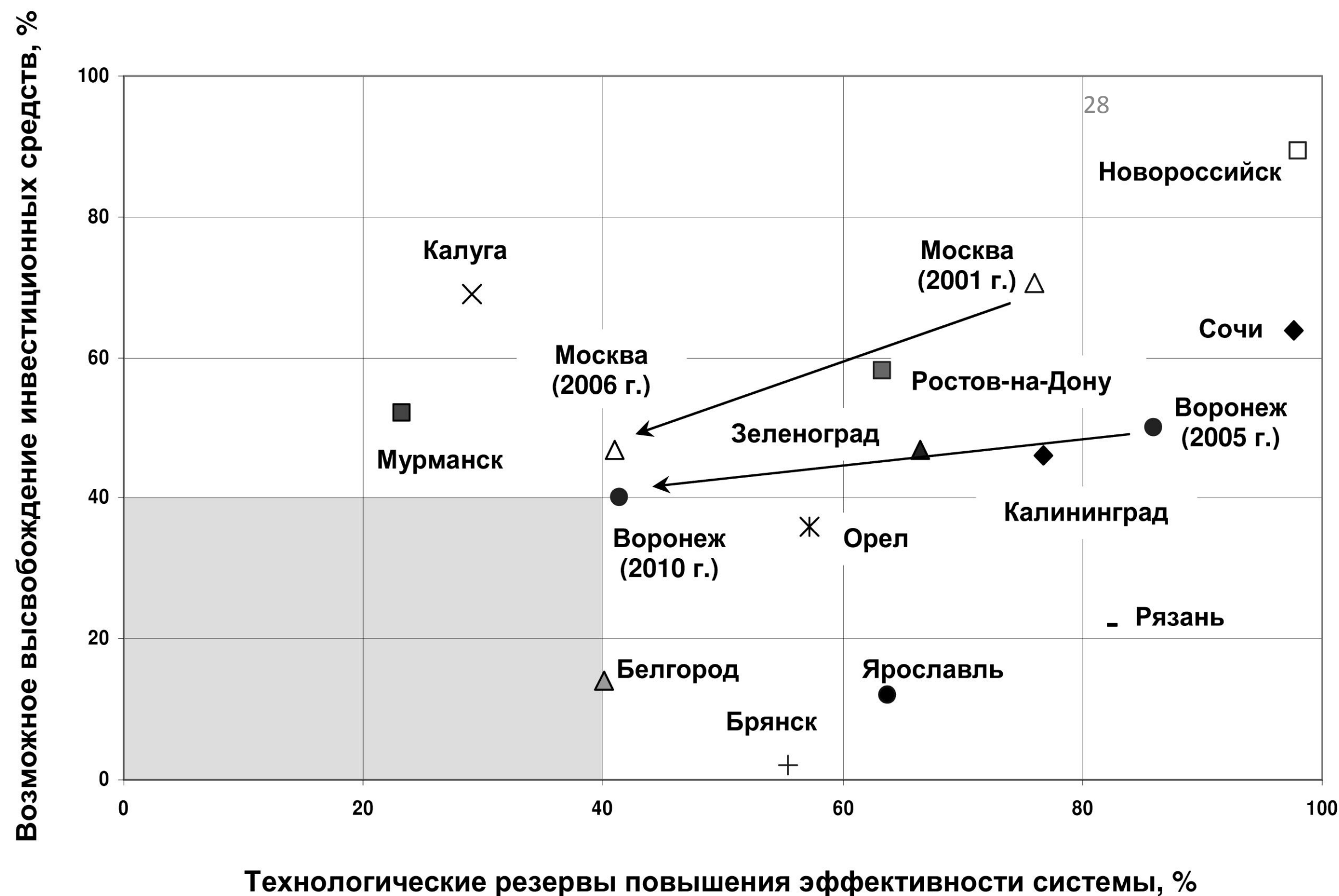
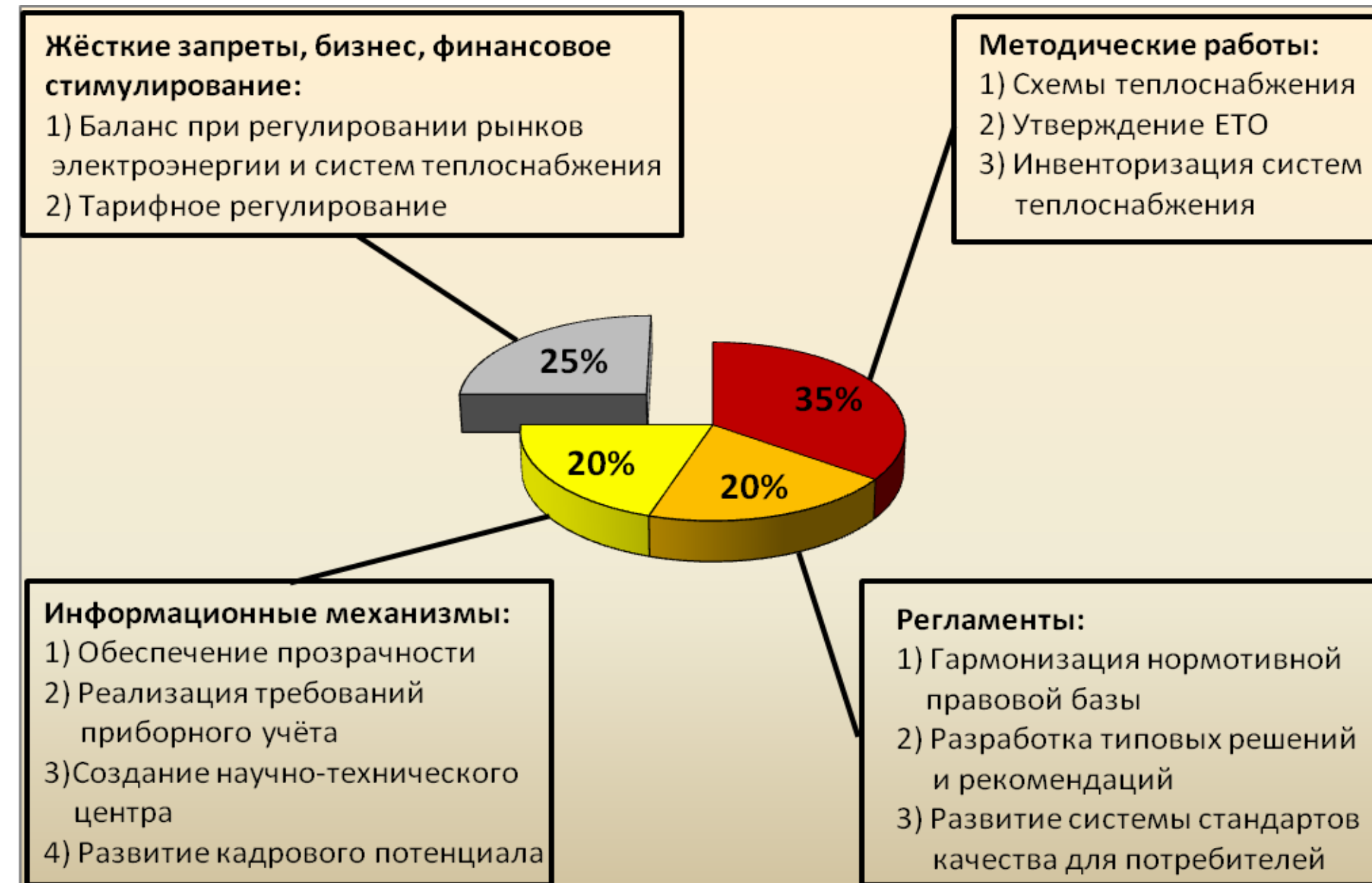
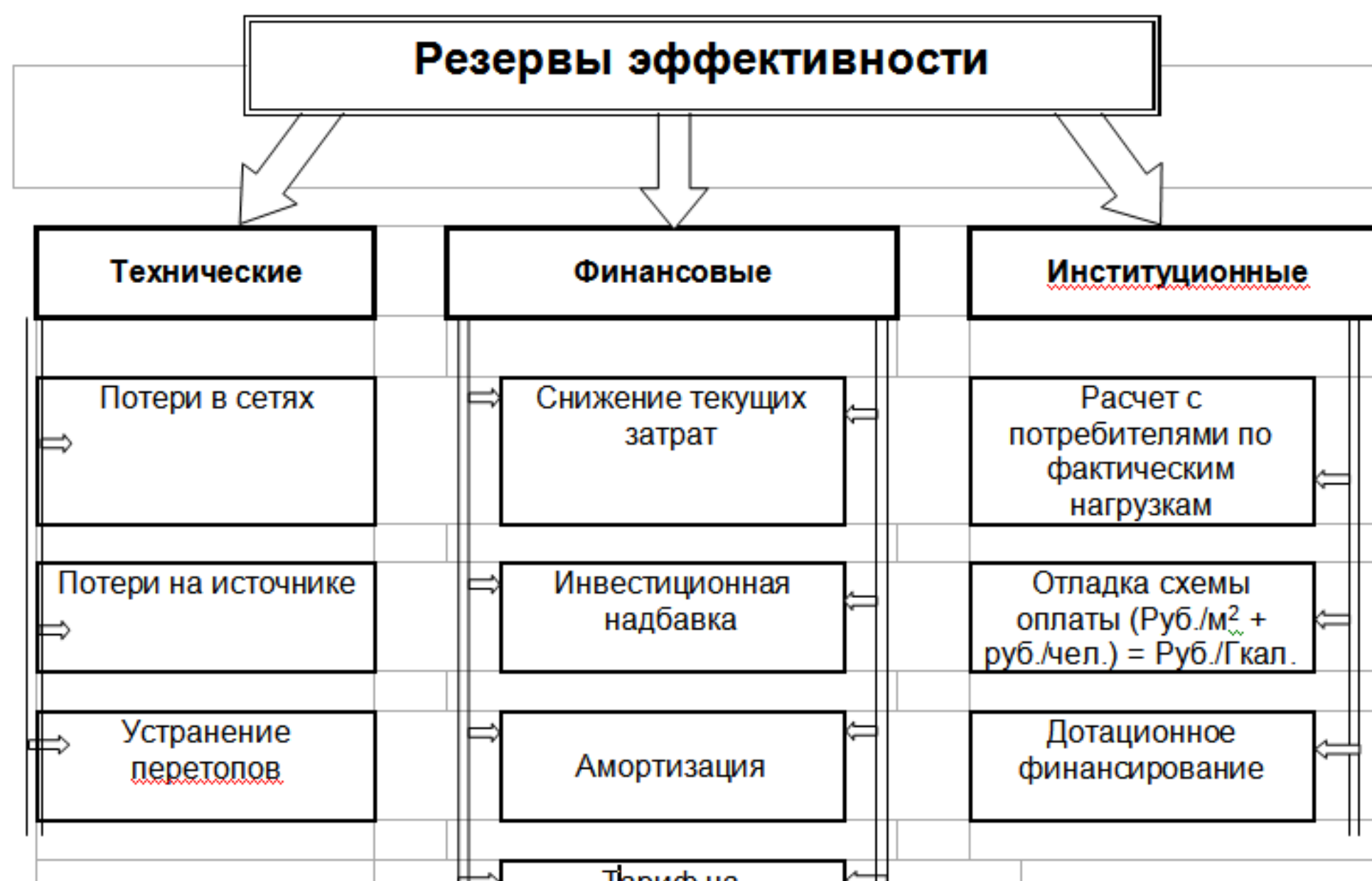


ЗАВИСИМОСТЬ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ПРОЖИВАНИЯ (ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ) ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Степень концентрации расселения по территории РФ в зависимости от интенсивности отопительного периода в ГСОП

Резервы оптимальной централизации /децентрализации систем теплоэнергоснабжения городов





Определение технологических и институциональных резервов систем теплоснабжения городов:

- резервы централизации;
- резервы размеров/масштабов;
- резервы сокращения дисбалансов в зданиях;
- резервы сбалансированного разнообразия энергоисточников;
- резервы оптимальных режимов загрузки энергоисточников;
- институциональные резервы.

Распределение регионов РФ по удельной энергоемкости ВРП

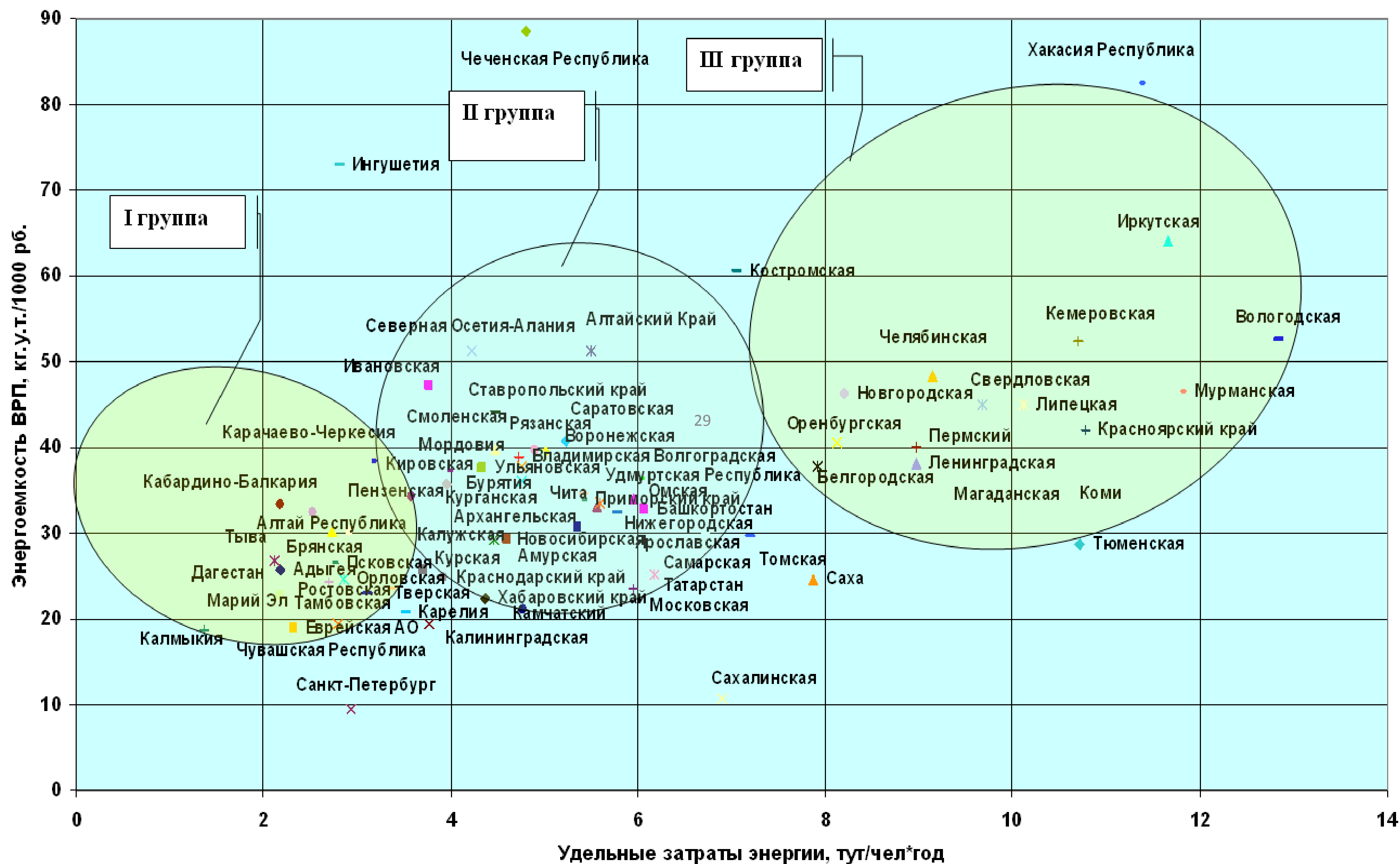
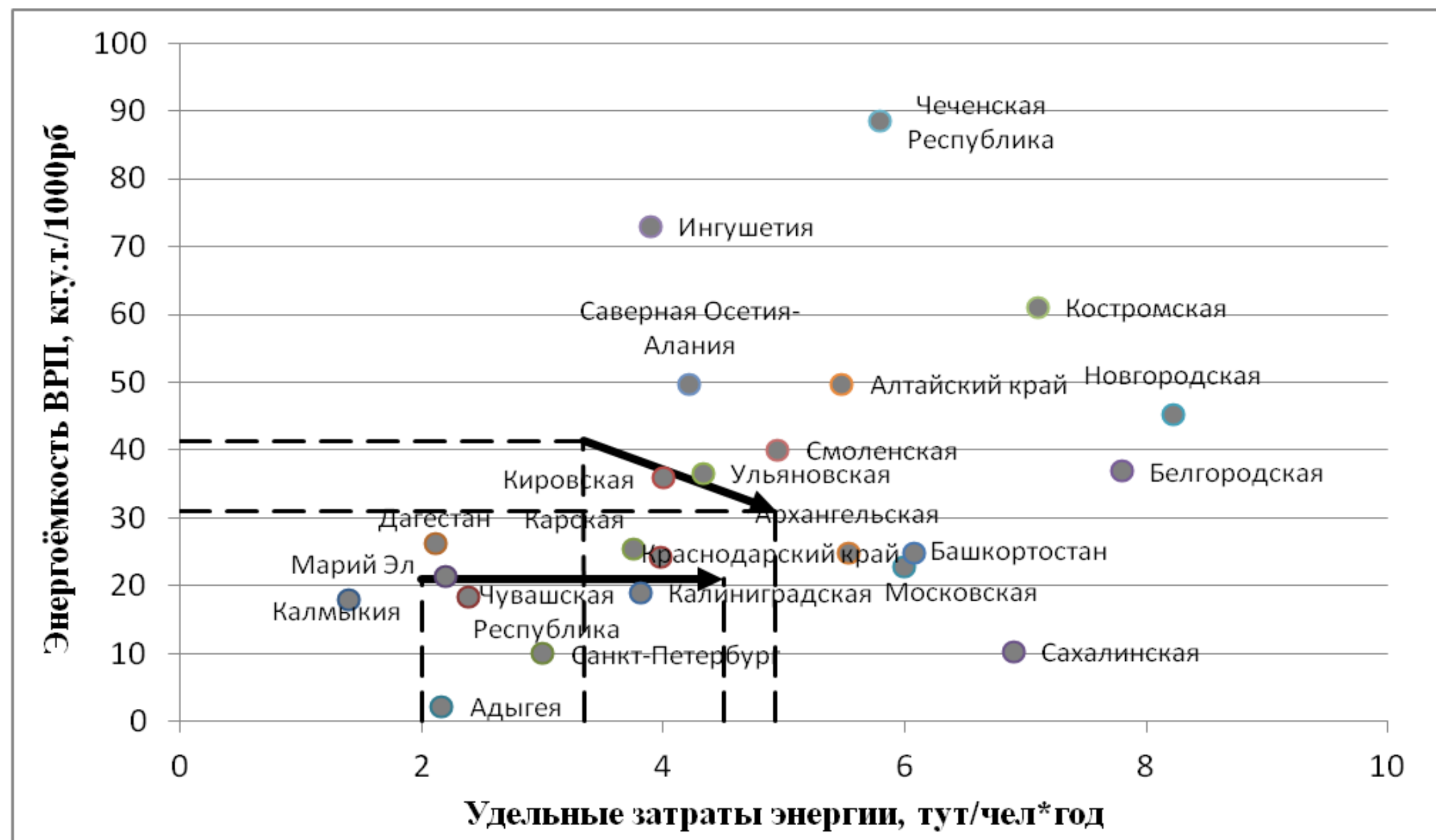


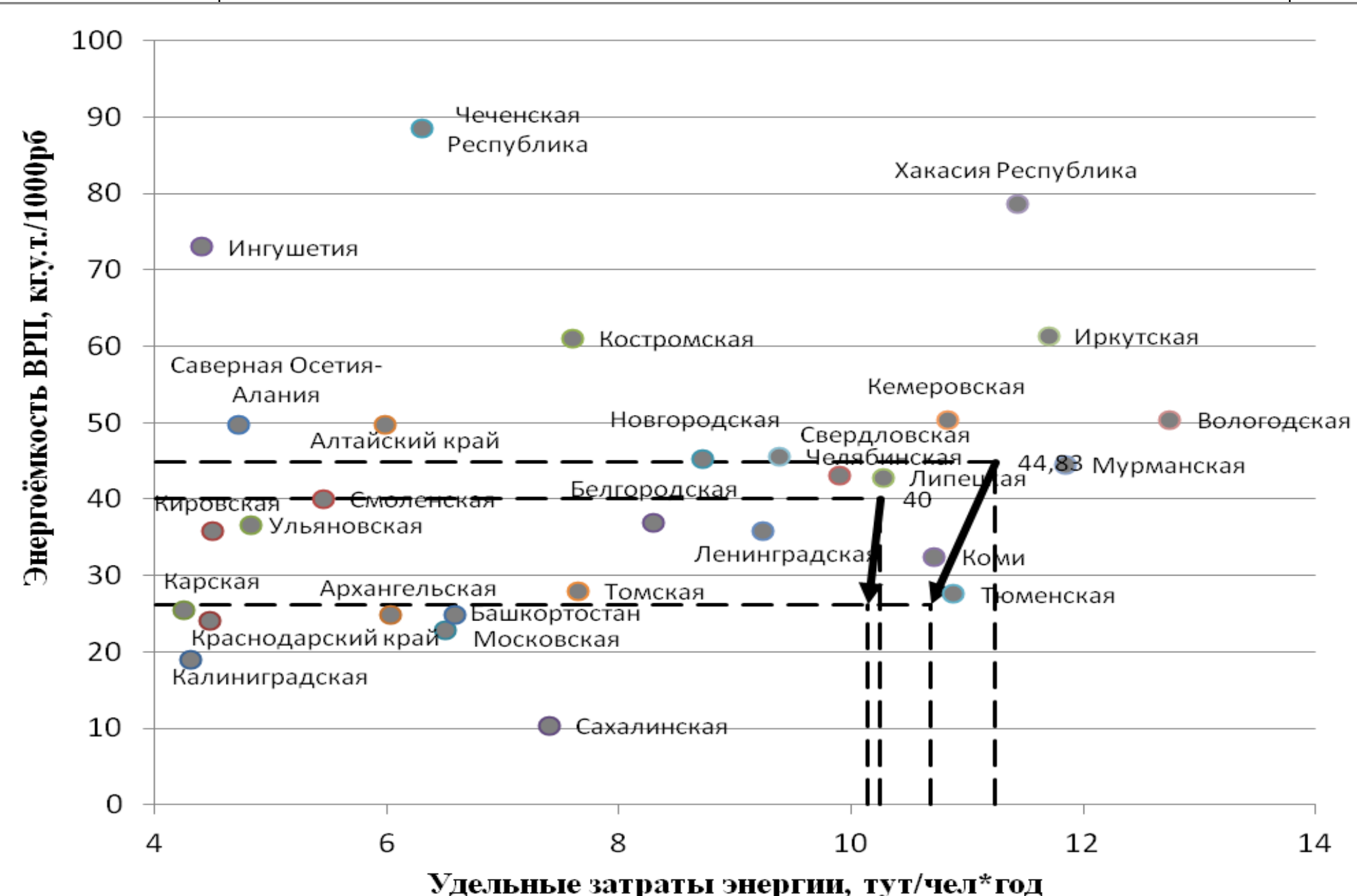
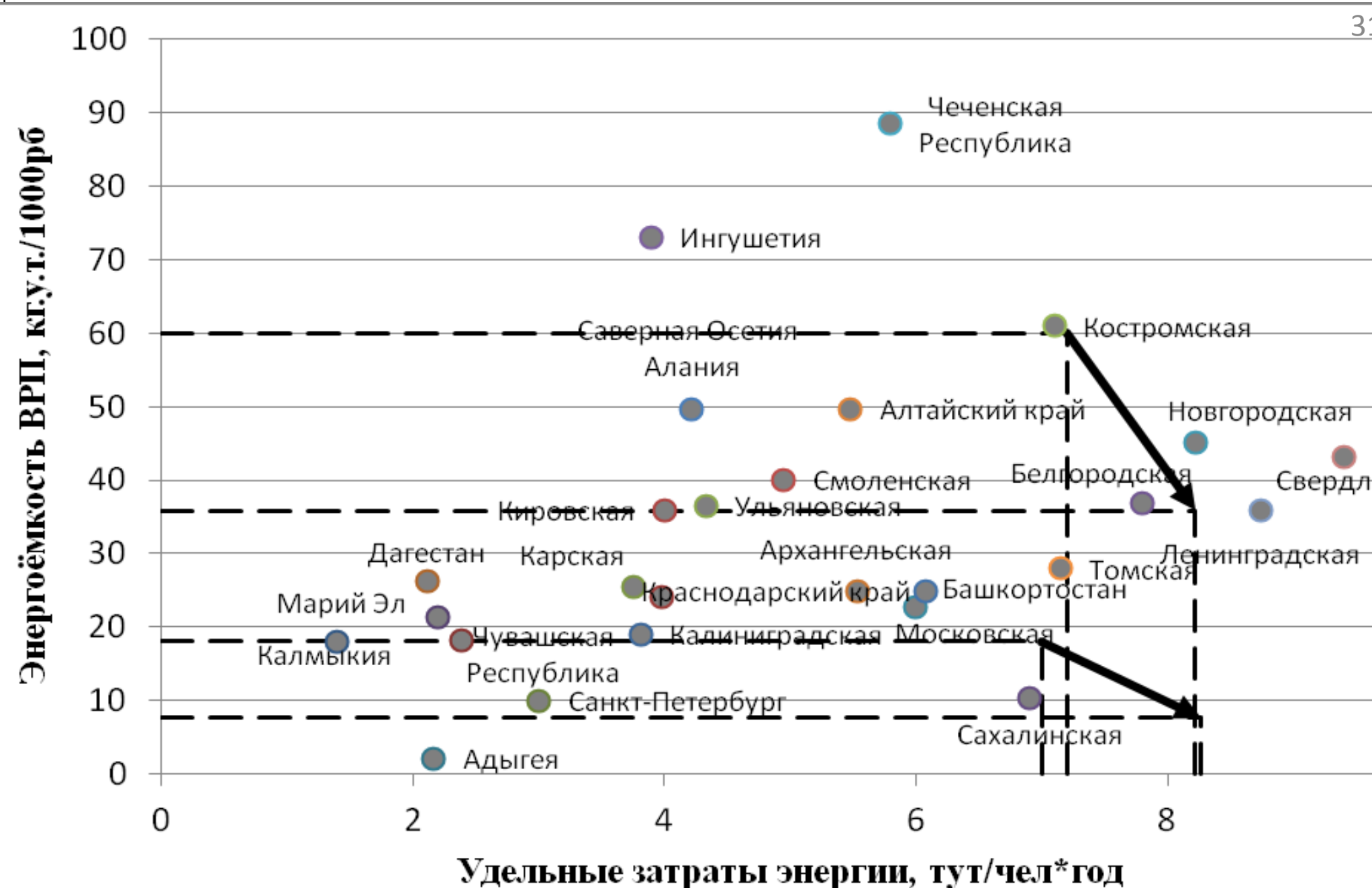
Таблица 9. Параметры модели выделения приоритетов энергоэффективного развития региональных ПТС

Модельное представление	Особенности и приоритеты регионального развития
$BPII' \geq BPII = \sum_{j=1}^n (O - C)_j \quad (3)$ где, $BPII'$ – перспективная величина валового регионального продукта, $BPII$ – существующая величина валового регионального продукта, j – производства-резиденты региона, n – их количество, O – валовой выпуск, C – промежуточное потребление	Стратегия для первой группы – это значительный рост энерговооруженности, наращивание валового регионального продукта в целом, в том числе путем развития энерготехнологических процессов и технологий. В широком контексте это означает толчок развитию территории за счет активизации энергетических потоков, развития энергетических инфраструктур городов и удаленных труднодоступных поселений (в том числе на местных, возобновляемых ресурсах, отходах промышленного и сельскохозяйственного производства).
$V = V_t - V_a \quad (4) \text{ где}$ V_t – объем потребления невозобновляемых энергетических ресурсов, V_a – объем потребления возобновляемых энергетических ресурсов, тогда $V_t' \leq V_t$ то есть потребление невозобновляемых ресурсов должно снижаться, а $V_a' \geq V_a$ потребление возобновляемых ресурсов должно расти.	Вторая группа регионов должна сочетать рост энерговооруженности как гарантию экономического развития с повышением эффективности существующих процессов. Величину затрачиваемых энергетических ресурсов в формуле можно представить как разность между величиной традиционных невозобновляемых видов топлива и энергии и альтернативных возобновляемых. Для регионов со средним потреблением топлива (около 6,5 т.у.т/чел в год) стратегия состоит в последовательном повышении эффективности всех секторов городского хозяйства, согласовании энергосбережения в конечном потреблении с активной модернизацией энергоисточников. Для регионов с распределенным размещением населенных пунктов речь идет об их активном развитии на основе модернизируемых энергоисточников и инфраструктур (в том числе с использованием местных и возобновляемых энергоресурсов).
$\sum_{i=1}^n V_i' \leq \sum_{i=1}^n V_i \quad (5)$ где V_i' – перспективный объем потребления ресурса i, V_i – текущий объем потребления ресурса i	Для третьей группы регионов, характеризующейся высокими энерговооруженностью и энергоемкостью ВРП, необходима срочная модернизация энергоемкого технологического комплекса с целью снижения энергоемкости промышленных и технологических процессов, активное использование всех ресурсов (энерготехнологическое комбинирование, использование ВЭР разного потенциала).



Рост генерации в «теплых» регионах северного Кавказа (Краснодарский край, Крым) и рост энерговооруженности малоразвитых регионов центральной России (Ивановская, Кировская, Псковская обл., Марий Эл). Горизонтальный вектор – показывает только чистую энергетическую составляющую (рост ВРП равен приросту энергопотребления), «падающий» вектор демонстрирует позитивные экономические последствия продуктивного роста энергопотребления в регионе (опережающий рост ВРП приводит к сокращению энергоемкости).

Разный угол наклона векторов: с одной стороны это степень эффективности использования новых (или вовлекаемых имеющихся) мощностей, а с другой – важен существующий, уже достигнутый уровень энергоэффективности, и реконструкция более ветхого оборудования может дать более существенный рост энергоэффективности.



АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ РЕГИОНА И ЭТАПЫ ОТБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ СЦЕНАРИЕВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

ЭТАП 1: Сбор исходных данных, определение формата программы

- **Выход этапа:** База данных по региону

ЭТАП 2: Составление ТЭБ региона, определение потенциалов и резервов энергосбережения

- **Выход этапа:** Комплекс региональных балансов,
структура потенциала энергосбережения

ЭТАП 3: Выбор приоритетных направлений энергосбережения, формирование структуры программы

- **Выход этапа:** Концепция программы
энергосбережения

ЭТАП 4: Отбор наиболее эффективных мероприятий программы, их увязка между собой

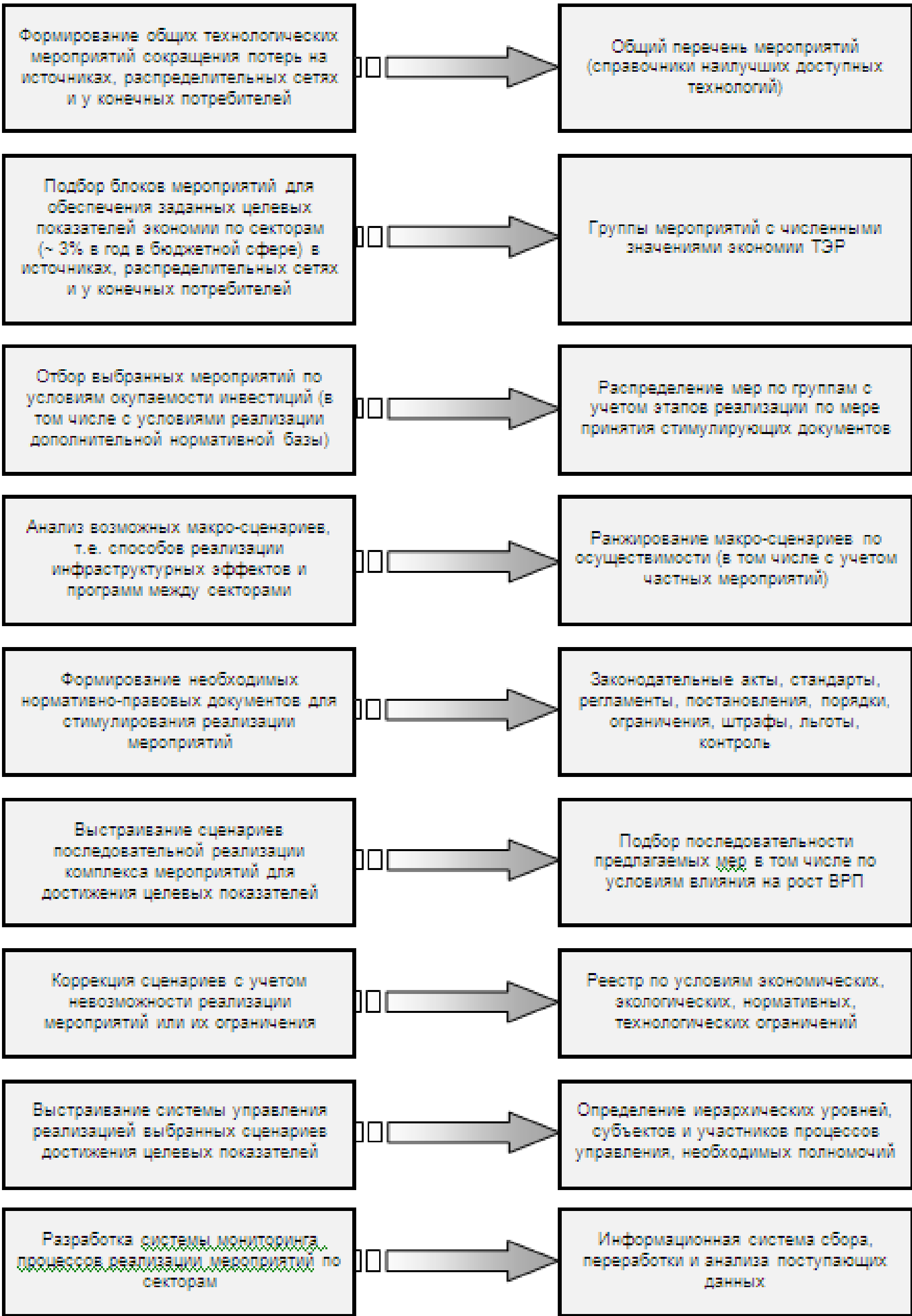
- **Выход этапа:** Набор взаимоувязанных мероприятий
энергосбережения

ЭТАП 5: Подбор мотивирующих механизмов для осуществления мероприятий программы

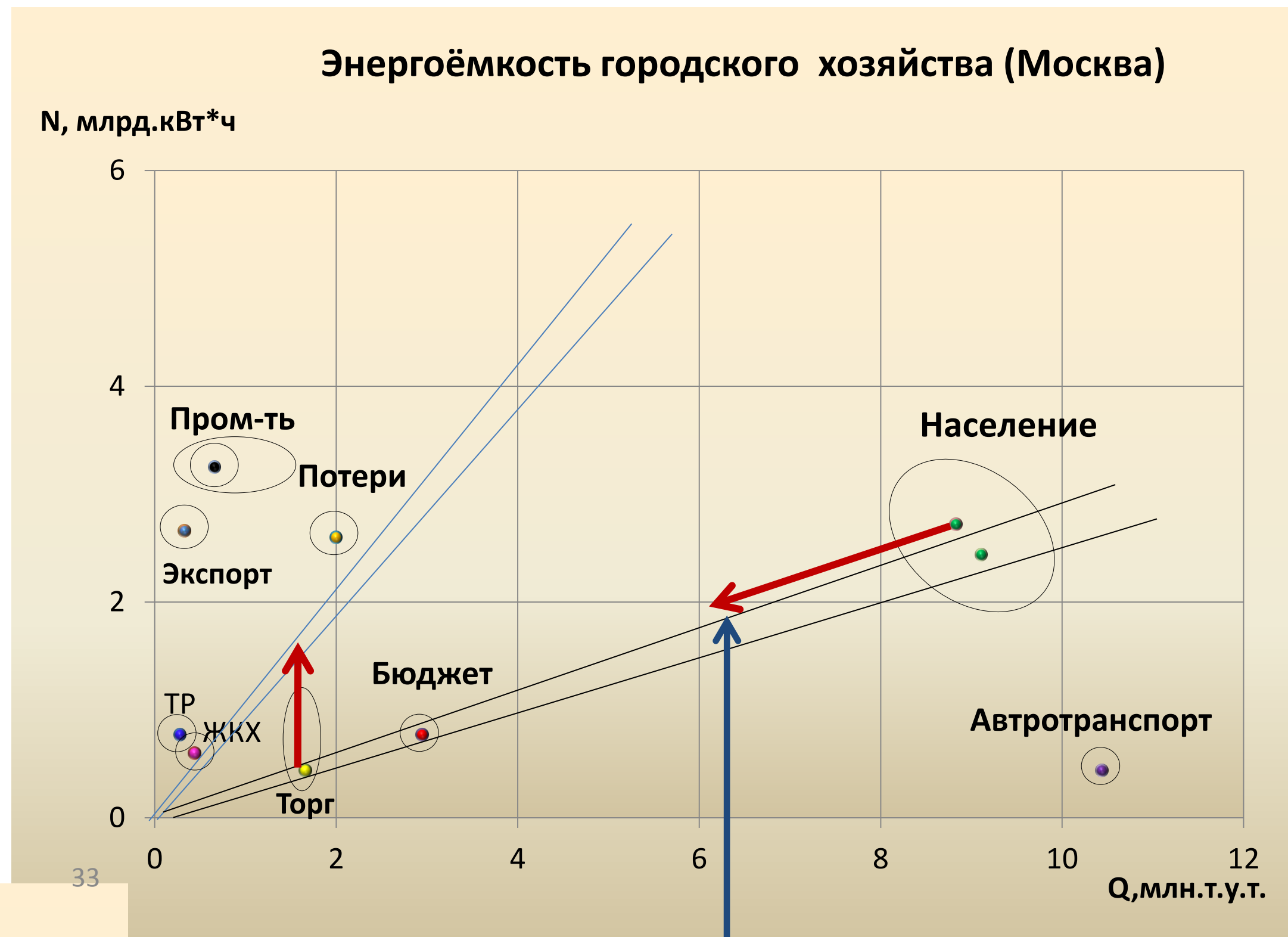
- **Выход этапа:** Комплексная программа
энергосбережения

32

ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ОТБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ СЦЕНАРИЕВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ



Комплексный векторный анализ энергоемкости крупных городов позволяет наглядно видеть ключевые резервы энергосбережения и повышения энергетической эффективности



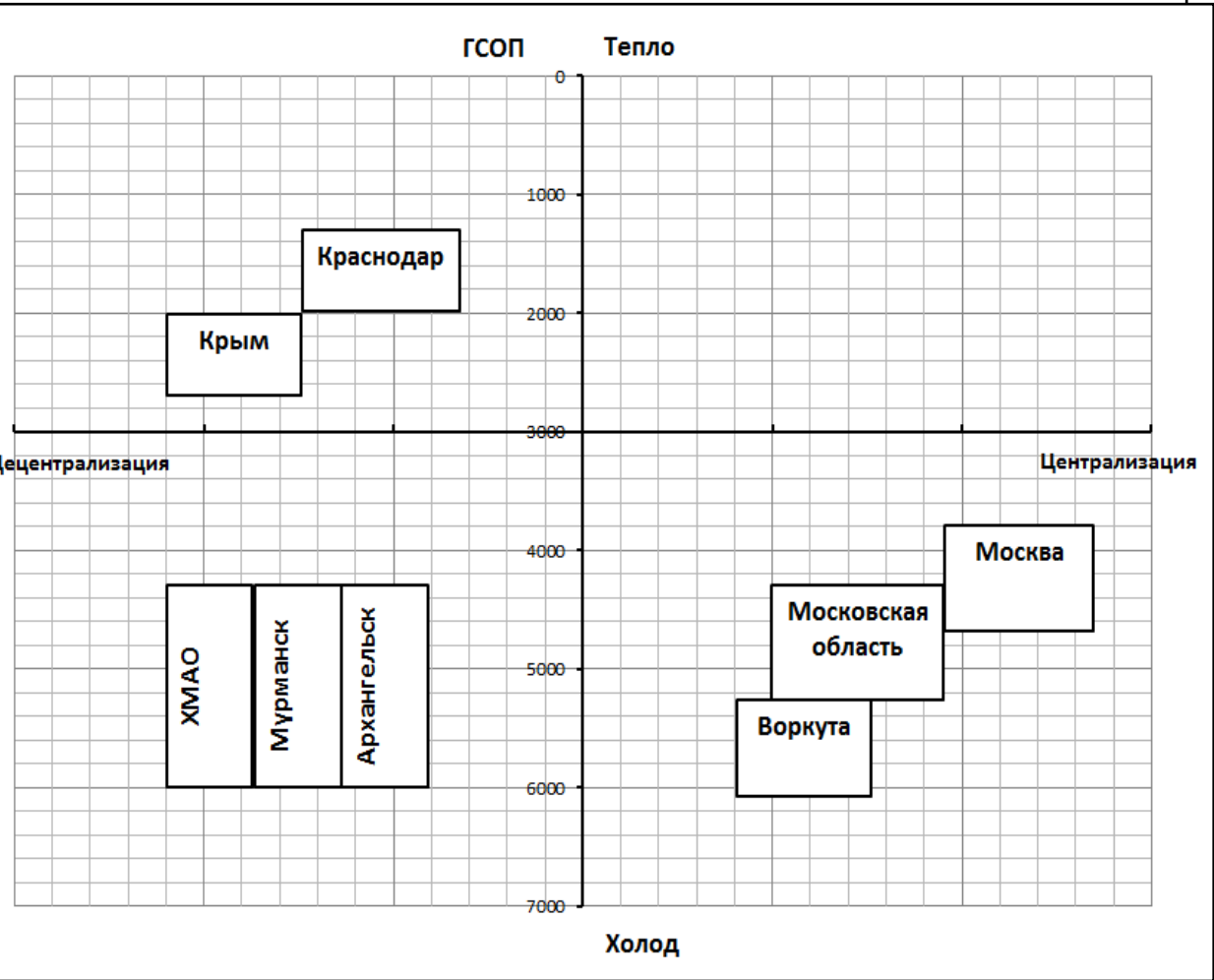
$$34 + 29 = 63\%$$

За счет комплексного энергосбережения произошло высвобождение тепловой мощности: за счет этого за 2011-2017 годы свыше 55 млн м² недвижимости введено и подключено к тепловым сетям практически без роста теплопотребления.

Все четыре подпрограммы, заложенные при разработке программы энергосбережения Москвы на 2009-2013 и на перспективу до 2020 года , реализованы в значительной степени: на источниках введены блоки ПГУ суммарной мощностью 2861 МВт (эл), существенно модернизированы тепловые и электрические сети, активно проводится переключение тепловой нагрузки, идет капитальный ремонт и модернизация жилого фонда и бюджетной сферы. Планируемый во всех прогнозах тех лет рост потребления газа на рубеже 2012-2013 годов сменился на спад, и по отношению к 2008 сокращение составляет около 12-12,5%

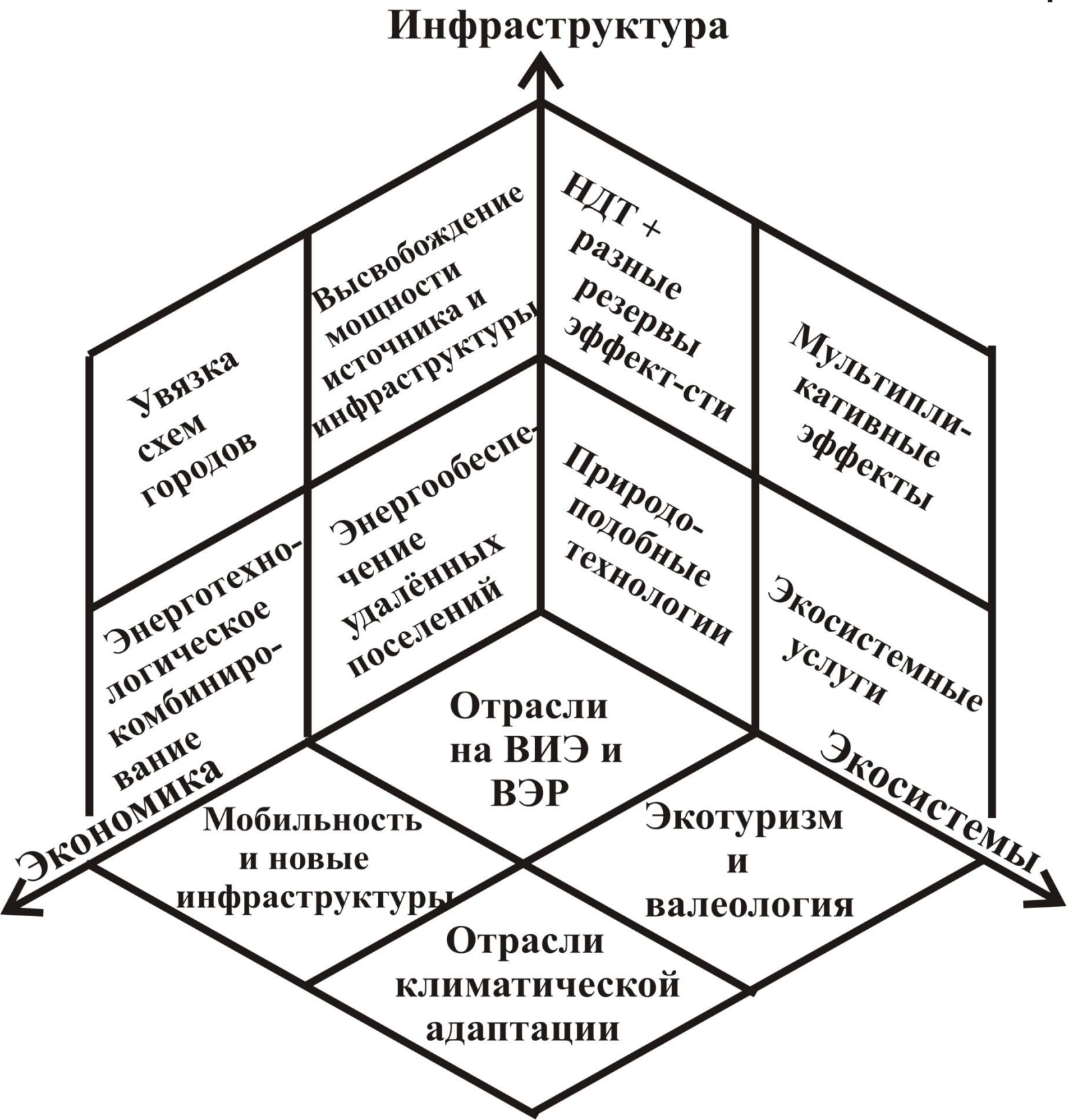


ПРИМЕРЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ ТИПИЧНЫХ ГРУПП РЕГИОНОВ (ГОРОДОВ) РФ



Типичные регионы и поселения	Примеры	Комплекс выявленных резервов и приоритетов
Поселения, пром- узлы с падающей нагрузкой	Воркута	Загрузка энергоисточников, санация зданий, наладка сетевого комплекса
Растущие города, мегаполисы	Москва, Уфа, Екатеринбург	Комплекс мер во всех секторах, схемные решения в энергокомплексе
	Санкт-Петербург	Загрузка ТЭЦ, закрытие мелких котельных, энергосбережение у потребителей, согласование схемы теплоснабжения и схемы электроснабжения Ленинградского энергоузла
Регионы с малой плотностью населения и наличием удаленных поселений	ХМАО – Югра, ЯНАО	Надежное энергообеспечение удаленных поселений, утилизация ВЭР газоперекачки, газохимия
	Архангельская область	Энергообеспечение удаленных поселений за счет ВИЭ, местного топлива
	Мурманская область	Снижение мазутозависимости за счет электроотопления на основе загрузки АЭС и каскада ГЭС
	Псковская область	Развитие экономики мало-заселенных районов за счет добычи и переработки торфа
Регионы с высокой плотностью населения	Краснодарский край	Сокращение импорта ТЭР и дефицита мощностей за счет активного развития источников на местном топливе и ВИЭ
	Крым	Модернизация ТЭЦ, тепловых и электрических сетей. Энергосбережение у потребителей. Вовлечение ВИЭ для выработки холода и пресной воды.

МЕХАНИЗМЫ СОПРЯЖЕНИЯ
МЕР ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
С ПРОМЫШЛЕННЫМ/
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ



Наименование	Существо механизма	Источник роста
Увязка схем тепло-, водо-, топливо-, электро-снабжения городов	Сбалансированность инфраструктур и режимов передачи энергоносителей	Экономия ресурсов и затрат на модернизацию сетей и систем в целом
Высвобождение электрической/тепловой мощности источников (системы в целом)	Резервы для новых подключений потребителей	Ликвидация дефицита мощности источников и сетей в результате энергосбережения
Развитие мало-энергоемких отраслей с высокой маржой	Использование ВЭР для низкоэнергоемкого производства товаров	Наличие низко-потенциальных ВЭР, ВИЭ разного типа
Энергообеспечение удаленных и трудно-доступных поселений	Развитие экономики жизнедеятельности в труднодоступных точках	Наличие эффективной энергетической инфраструктуры
Развитие экотуризма в труднодоступных точках	Привлечение туристов в труднодоступные места в регионах РФ	Наличие инфраструктуры доставки и комфортного размещения туристов
Отрасль валеологии и курортного дела	Развитие производства лекарственных добавок и отрасли оздоровления	Наличие инфраструктуры сбора, переработки сырья и размещения людей
Отрасли климатической адаптации	Снижение заболеваемости и повышение адаптации к климатическим рискам	Производство товаров и услуг диагностики и защиты от климата

Научная новизна исследования заключается в разработке методологии, состоящей из методов и подходов, использование которых обеспечивает решение крупной прикладной задачи повышения энергетической эффективности промышленных и коммунальных теплоэнергетических систем в сопряжении с промышленным и региональным развитием экономики. Разработаны научно-методологические основы совершенствования, включая повышение энергетической и экологической эффективности, снижения климатической уязвимости ПКТС городов, энергопромышленных кластеров и регионов:

- разработаны и апробированы методы определения различных типов резервов повышения энергетической и экологической эффективности ПКТС на базе выявленных особенностей трансформации ПКТС разного типа в условиях климатических, социально-экономических изменений, роста экологических требований;
- предложены и апробированы кластерно-типологические модели синтеза устойчивых свойств и параметров ПКТС на основе формализации задач совершенствования и выявления резервов энергосбережения с учетом изоморфизма ПКТС разных типов и природы;
- определены методы и механизмы самоорганизации распределённых теплоэнергетических систем городских поселений в зависимости от климатических и других важнейших параметров и региональных особенностей;
- на основе открытых механизмов создания и функционирования теплоэнергетических систем городов и регионов в современных условиях предложены принципы и методики сопряжения схемных решений, различных резервов модернизации важнейших энергетических инфраструктур;
- разработаны и апробированы методы оценки климатической уязвимости энергетических инфраструктур городов, способы ее снижения и повышения адаптации к климатическим изменениям;
- разработаны алгоритмы определения наилучших доступных технологий (НДТ), методов и практик повышения энергоэффективности, предусматривающие поэтапный анализ решений, применимых на отраслевом и межотраслевом уровнях, с учётом критериев определения НДТ, установленных в Российской Федерации.

Практическая ценность и реализация работы:

В процессе проведения промышленных экспериментов и обследований ряда предприятий энергоёмких отраслей промышленности определены приоритеты использования различных резервов повышения энергетической эффективности при производстве и потреблении энергии, мер энерготехнологического комбинирования, направленные на реализацию государственной задачи 40%-го снижения энергоёмкости ВВП к 2020 г. по сравнению с 2007 г.

Основные положения работы использованы в практической деятельности при подготовке целевых программ энергосбережения территориальных административных округов г.Москвы, целевой программы энергосбережения г. Москвы на 2009-2011 гг. и на перспективу до 2020 г., при разработке стратегий и программ энергосбережения Московской, Мурманской, Архангельской области, г.о. Воркуты, Крыма и Краснодарского края, «Концепции повышения энергоэффективности муниципальных образований РФ». Разработка и реализация комплексной региональной программы энергосбережения и энергоресурсоэффективности г. Москвы, проводимые в 2001-2006 гг. в Центральном административном округе г. Москвы, удостоены премии Правительства РФ в 2008 г.

Разработаны и апробированы универсальные информационные системы мониторинга на основе универсальных реляционных хранилищ данных со встроенными инструментами анализа и представления оценок, создающие разноплановые аналитические возможности выявления резервов повышения эффективности.

Под руководством автора разработан и утвержден Росстандартом РФ в 2017 г. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 48-2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности». Автором разработаны стандарты «Руководство по планированию показателей (индикаторов) энергоэффективности» (ГОСТ Р 54195-2010), «Руководство по идентификации всесторонних аспектов энергоэффективности» (ГОСТ Р 54196-2010), «Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности» (ГОСТ Р 54198-2010), введенные в действие с 1.01.2012 г.

Разработки и рекомендации автора являются основой для составления «Алгоритма формирования региональных программ энергосбережения», выпущенного в 2010 г. под эгидой Всемирного банка, стратегии климатической адаптации г. Москвы.

Научные и практические результаты работы используются в учебном процессе при подготовке специалистов и магистров по направлению «Теплотехника и теплоэнергетика», а также на курсах переподготовки и повышения квалификации в Национальном исследовательском университете МЭИ и Корпоративном энергетическом университете.

Основные результаты диссертационной работы (1):

1. Поставлена и решена задача определения и реализации резервов энергосбережения разных типов в теплотехнологических и теплоэнергетических системах городов и регионов в тесной связи с промышленным и региональным развитием экономики. Разработаны методики определения резервов энергосбережения и повышения энергетической эффективности разной природы, принципы согласования резервов и схемных решений, механизмы стимулирования их реализации. Ключевыми принципами нового методологического подхода, позволяющего осуществлять выявление резервов разного типа в условиях искажений и неопределенности исходных данных, являются сочетание микро и макромоделей (моделей анализа и синтеза распределенных систем), статических и динамических характеристик, согласование расчетно-теоретических и экспериментальных данных.
2. Разработаны алгоритмы определения наилучших доступных технологий (НДТ), методов и практик повышения энергоэффективности, предусматривающие поэтапный анализ решений, применимых на отраслевом и межотраслевом уровнях, с учётом критериев определения НДТ, установленных в Российской Федерации. Разработаны модели и методы совершенствования теплотехнологических и теплоэнергетических систем на основе реализации принципов наилучших доступных технологий и согласования ключевых резервов энерго- и ресурсосбережения, встраивания нетрадиционных, вторичных и возобновляемых энергоресурсов в энергетический баланс потребителей.
3. В процессе проведения промышленных экспериментов и обследований ряда предприятий энергоемких отраслей промышленности определены приоритеты использования различных резервов повышения энергетической эффективности, мер энерготехнологического комбинирования в промышленности, направленные на реализацию государственной задачи 40%-го снижения энергоемкости ВВП к 2020 г. Предложен метод определения приоритетов энерготехнологического комбинирования и использования ВЭР высокотемпературных производств и технологий для покрытия сопутствующих энергетических потребностей разного потенциала на основе разработанной методики экономической оценки ВЭР.
4. Выявлены механизмы самоорганизации распределенных теплоэнергетических систем и кластеров в зависимости от климатических и других важнейших параметров и региональных особенностей. Установлено, что при росте городов в неблагоприятных климатических условиях проявляются несколько порогов (связанных с определенными значениями численности (плотности) населения), приводящих к качественному росту эффективности инфраструктур жизнеобеспечения, т.е. минимизации их полной энергоемкости. Показано, что распределение городов по размеру (численности населения) и климатическим параметрам демонстрирует тенденцию централизации расселения, как непосредственно по территориям, так и по макрорегионам РФ.
5. На основе полученных данных о фактическом потреблении ресурсов коммунальным хозяйством городов выявлены различные виды дисбалансов у потребителей, предложен комплекс мер по их устранению (нейтрализации) с целью сокращения непроизводительных потерь и повышения эффективности всей системы теплоснабжения в целом. Разработана и апробирована методика определения технических и институциональных резервов повышения эффективности теплоэнергетических систем городов разного размера и разных климатических зон.

6. На основе выявленных механизмов создания и функционирования теплоэнергетических систем городов в современных условиях предложены принципы и методики увязки схемных решений по модернизации важнейших энергетических инфраструктур. Согласованная модернизация источников и потребителей энергоресурсов, сбалансированное сочетание централизованных и распределенных пиково-аккумулирующих устройств позволяет существенно (в 2-2,5 раза) снизить мощность централизованных энергоисточников, повысить гибкость и надежность функционирования ТТС.
7. Предложены взаимоувязанные приоритетные направления развития в энергетическом комплексе и промышленности для достижения задачи 40%-го снижения энергоемкости ВРП к 2020 г. для трех основных групп регионов. Для выявления ключевых резервов энергосбережения и повышения энергетической эффективности региональных ТТС с учетом сопутствующих региональных факторов и особенностей предложена кластерно-типологическая модель структуры энергоемкости региона.
8. Результаты диссертации являются основой для составления «Алгоритма формирования региональных программ энергосбережения», выпущенного в 2010 г. под эгидой Всемирного банка. Основные положения работы использованы в практической деятельности при подготовке целевых программ энергосбережения территориальных административных округов г.Москвы, целевой программы энергосбережения г. Москвы на 2009-2011 гг. и на перспективу до 2020 г., при разработке стратегий и программ энергосбережения Московской, Мурманской, Архангельской области, г.о. Воркуты, Крыма и Краснодарского края, «Концепции повышения энергоэффективности муниципальных образований РФ».
9. Реализация предложенных принципов в комплексной целевой программе энергосбережения г. Москвы на 2009-2011 гг. и на перспективу до 2020 г. позволила при росте экономики города за 9 лет добиться существенного роста энергетической эффективности с сокращением суммарного расхода топлива на 12-13%, снижению выбросов в атмосферу, снижению пиковых⁴⁰ нагрузок, повышению надежности и климатической устойчивости функционирования систем теплоэнергоснабжения мегаполиса.
10. На примере Москвы разработаны и апробированы методы оценки климатической уязвимости энергетических инфраструктур городов, способы ее снижения и повышения адаптации систем теплоэнергоснабжения города к климатическим изменениям. На основании интеграции мер по энергосбережению и снижению экологического воздействия в разных отраслях и секторах экономики города предложены ключевые показатели и приоритеты климатической стратегии столицы, дополнительные меры по созданию и развитию новой отрасли климатической адаптации.
11. Для анализа эффективности, мониторинга и выявления резервов совершенствования ТТС городов и промышленных узлов создана информационно-аналитическая система, включающая в себя комплекс иерархических моделей состава и режимов разнородных потребителей, реляционные базы данных и аналитические инструменты с применением OLAP-технологий многомерного анализа.
12. Разработан комплекс стандартов серии ГОСТ-Р: «Руководство по определению показателей (индикаторов) энергоэффективности» (ГОСТ Р 54195-2010), «Руководство по идентификации всесторонних аспектов энергоэффективности» (ГОСТ Р 54196-2010), Руководство по планированию показателей (индикаторов) энергоэффективности» (ГОСТ Р 54197-2010), «Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности» (ГОСТ Р 54198-2010). В 2010 г. качестве методического пособия разработан «Алгоритм формирования региональных программ энергосбережения». Под руководством автора в 2017 г. разработан и утвержден Росстандартом РФ информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 48-2017«Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности».