

MODELS AND INFORMATION TECHNOLOGY OF ENERGY-EFFICIENT DEVELOPMENT OF THE REGION

The report was written within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 26.4131.2017/ PCh, the project "Development of methods and information technologies for macroeconomic modeling and strategic planning of the energy-efficient development of the fuel and energy complex of the subject of the Russian Federation".

V. Tsybatov, G. Khasaev,

Samara State University of Economics

May, 2018



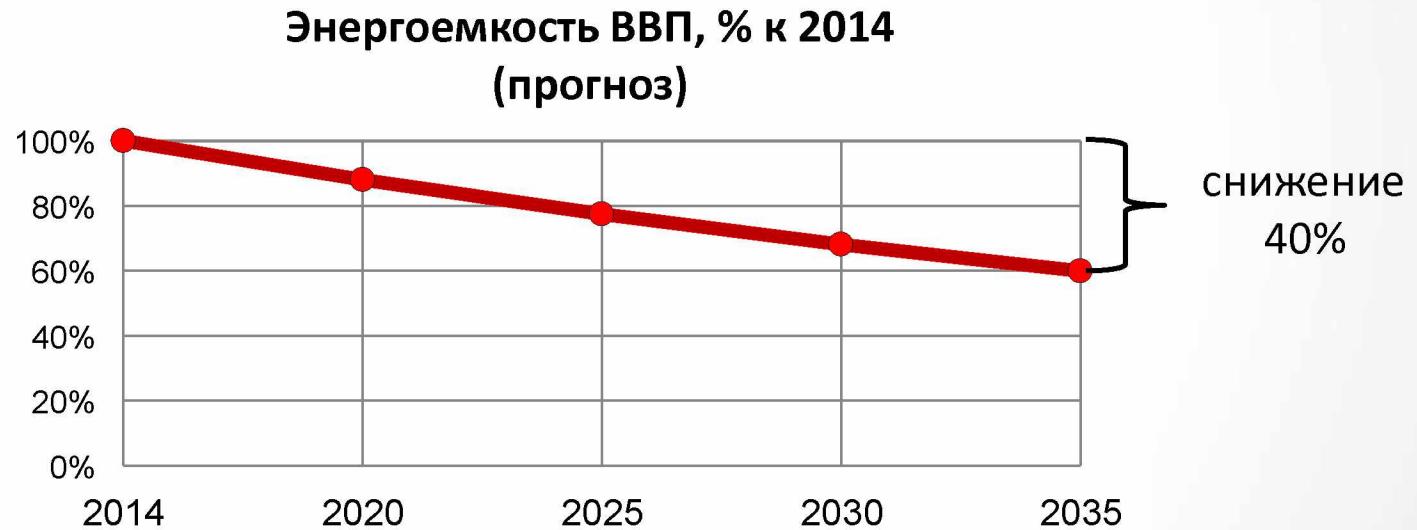
Экономическое развитие должно быть энергоэффективным.

Согласно Энергетической стратегии России под **энергоэффективным развитием** региона понимается создание устойчивой и способной к саморегулированию системы обеспечения региональной энергетической безопасности с учетом оптимизации территориальной структуры производства и потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Целевые энергоиндикаторы стратегии предполагают:

- снижение удельных расходов на производство ТЭР,
- увеличение производства основных энергоресурсов,
- снижение удельной энергоемкости и электроемкости ВРП,
- увеличение объемов экспорта первичной энергии,
- снижение удельных показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух,
- снижение уровня эмиссии парниковых газов и другое.

**Согласно энергетической стратегии России –
энергоемкость ВВП - важнейший показатель
энергоэффективного регионального развития**



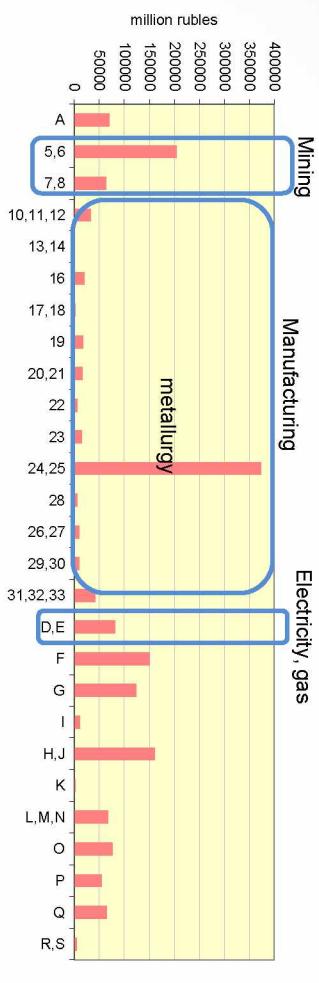
Source: Проект энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года
(редакция от 01.02.2017). URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1920>

Стоит отметить, что требование по снижению энергоемкости ВРП может противоречить решениям по развитию энергоемких производств

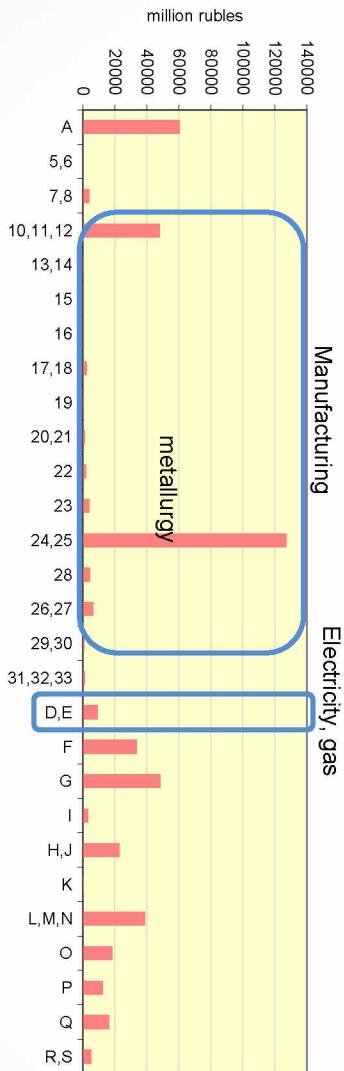
Это в полной мере относится к ресурсодобывающим и энергопроизводящим регионам России, таким как, например, Красноярский край, Липецкая область и др.

Наилучшие энергоэффективные показатели достигаются при переходе от энергоемких производств к услугам, что невозможно для многих российских регионов из-за существующей структуры российского ТЭК

GDP of Krasnoyarsk region



GDP of Lipetsk region



Поэтому целевые установки энергоэффективного развития субъекта РФ должны быть сбалансированы с целевыми установками социально-экономического развития региона

То есть, эффективность энергетических решений необходимо увязывать с общеэкономической эффективностью регионального развития

Формальная постановка задачи

Обозначим общую систему индикаторов регионального развития

$$E = [E_{econ}, E_{ener}]^T, \quad (1)$$

где E_{econ} - вектор индикаторов, характеризующий социально-экономическое развитие региона, а именно: уровень благосостояния населения и потенциал региональной экономики;

E_{ener} - вектор энергоиндикаторов, характеризующий развитие региональной экономики с точки зрения энергоэффективности.

Обозначим

$$E^0(t) = [E_{econ}^0(t), E_{ener}^0(t)]^T - \quad (2)$$

вектор целевых значений, установленных для индикаторов развития на горизонте стратегирования $[0, t_T]$ в точках $t = t_1, t_2, \dots, t_T$, причем, вектор целевых установок для энергоиндикаторов $E^0(t)$ имеет смысл целевого плана энергоэффективного развития.

Добавление вектора $E_{ener}^0(t)$ в общий кортеж региональных целей (2) придает региональному развитию «энергоэффективную окраску».

Формальная постановка задачи

Задача энергоэффективного развития региона (субъекта РФ) сведена к задаче многокритериальной оптимизации:

$$\|E(U,t) - E^0(t)\| \rightarrow \min_{U(t) \subset D_U}; \quad t = t_1, t_2, \dots, t_T; \quad (3)$$

$$E(U,t) = M_O(R,U,t); \quad (4)$$

$$dR(t)/dt = M_R(R,U,t); \quad (5)$$

$$R(t) \subset D_R(U,t). \quad (6)$$

Здесь: $M_O(U,t)$ - модель наблюдения, позволяющая рассчитывать оценки значений индикаторов $E(t)$ для того или иного сценария развития региональной экономики и ТЭК:

$$U(t) = \begin{bmatrix} U_{econ}(t) \\ U_{ener}(t) \end{bmatrix}, \quad U(t) \subset D_U, \quad (7)$$

где $U_{econ}(t)$ - вектор параметров развития региональной экономики (сценарий развития экономики); $U_{ener}(t)$ - вектор параметров развития ТЭК (сценарий развития ТЭК);

D_U - пространство управлеченческих решений; $R = [r_1, r_2, \dots, r_m]^T$ - вектор ресурсов региона; $M_R(R,U,t)$ - модель региона; $D_R(U,t)$ - ресурсные ограничения.

Решаемые задачи

- 1 - разработка системы целевых индикаторов энергоэффективного развития региональной экономики**
- 2 - разработка модели ТЭК региона как динамической многоотраслевой модели в составе модели экономики субъекта РФ**
- 3 - разработка методологии и информационной технологии формирования многовариантного отчетного и прогнозного регионального ТЭБ, позволяющей прогнозировать энергопотребление и энергоемкость экономики, в том числе, энергоемкость ВРП, оценивать энергоэффективность и энергобезопасность экономики, выявлять «узкие» места и угрозы в развитии**

Решаемые задачи

4 - разработка информационной технологии, обеспечивающей сведение и итеративное согласование сценарных прогнозов энергопотребления и производства энергоресурсов в регионе по основным видам ТЭР

5 - разработка инструментария поиска согласованных сценариев развития ТЭК и экономики региона, при которых достигается максимальное приближение к целевым установкам для предложенной системы индикаторов, характеризующей развитие региональной экономики с точки зрения экономической и энергетической эффективности.

1. Предлагаемая система целевых индикаторов энергоэффективного развития региональной экономики

Система экономических индикаторов *E_{econ}*
формируется на основе современных представлений о
сущности категории "благосостояние", изложенные в
материалах доклада комиссии Стиглица-Сена-Фитусси*.

Предлагаемая система экономических показателей
содержит 2 группы показателей, характеризующих
уровень благосостояния населения и потенциал
региональной экономики

*Stiglitz, J.E., Sen, A. and J. Fitoussi. 2009. "Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress," CMEPSP available at:
http://ec.europa.eu/environment/beyond_gdp/download/CMEPSP-final-report.pdf

Индикаторы экономического развития

| Направление | Индикаторы |
|--|--|
| 1. Уровень жизни населения региона | 1. Рост реальных душевых располагаемых денежных доходов населения, % к базовому году 2. Коэффициент замещения для пенсионных доходов, % 3. Доля населения с доходами ниже прожиточного минимума, % 4. Децильный коэффициент дифференциации доходов 5. Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя, кв. м 6. Суммарный коэффициент рождаемости, чел. 7. Уровень младенческой смертности, промилле 8. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет 9. Обеспеченность дошкольными образовательными учреждениями, мест на 1000 детей дошкольного возраста 10. Количество зарегистрированных преступлений), на 100 тыс. человек 11. Расходы на образование, в % к ВРП региона |
| 2. Воспроизводственный потенциал экономики региона | 12. Доля занятых в экономике от численности трудовых ресурсов, % 13. Уровень безработицы (по методологии МОТ), % 14. Степень износа основных фондов на конец года, % 15. Степень загрузки производственных мощностей, % 16. Доля высокотехнологичной и научёмкой продукции в ВРП, % 17. Рост экспорта (в том числе ТЭР) к базовому году, % 18. Доля собственных доходов в структуре регионального бюджета, % 19. Дефицит регионального бюджета, % 20. Государственный долг региона, в %к ВРП |

Рост энергоэффективности проявляется себя через уменьшение энергоемкости, увеличение энергосбережения и энергобезопасности

Также энергоэффективность распределена по субъектам региона, причем, одни субъекты являются производителями энергоресурсов, а другие – конечными потребителями

Поэтому при разработке системы энергоиндикаторов будем рассматривать энергоэффективность как в разрезе ее основных аспектов (энергоемкость, энергосбережение, энергобезопасность), так и в разрезе субъектов региона (производителей и потребителей ТЭР)

Энергоёмкость продукции, работ и услуг - это отношение полных энергозатрат на производство продукции, работ и услуг к объемам их производства [ГОСТ 31607-2012, 2013].

Важнейшими индикаторами энергоемкости экономики региона являются энергоемкость ВРП, а также энергоемкость ТЭК.

Энергосбережение (экономия энергии) – это реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование ТЭР и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Деятельность в области энергосбережения характеризуют показателями: фактической экономии ТЭР; снижения потерь ТЭР; снижения энергоемкости производства [ГОСТ 31532-2012, 2013].

В рамках настоящего исследования энергосбережение оценивалось как снижение потерь первичных и произведенных ТЭР при их производстве, преобразовании и конечном использовании.

Энергетическая безопасность – это состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения (Проект энергостратегии РФ на период до 2035 года, 2017).

Обеспечение энергетической безопасности определяется ресурсной достаточностью, экономической доступностью, экологической и технологической допустимостью.

Индикаторы энергетической безопасности характеризуют:

- надежность поставок ТЭР и их резервирование;
- диверсификацию поставщиков и видов поставляемых ТЭР;
- энергетическую самостоятельность;
- экономическую доступность ТЭР для всех потребителей.

Система энергетических индикаторов

| Субъекты | Аспекты энергоэффективного развития | | Энергобезопасность |
|--|---|---|--|
| | Энергоемкость | Энергосбережение | |
| 1. Региональный ТЭК | <p>1. Энергоемкость ТЭК, в % к базовому году.</p> <p>2. Удельный расход топлива на отпуск электрической энергии, в % к базовому году.</p> <p>3. Удельный расход топлива на отпуск тепловой энергии, в % к базовому году.</p> | <p>1. Удельные потери ТЭР при распределении, в % к базовому году.</p> <p>2. Удельные потери электроэнергии в электрических сетях, в % к базовому году.</p> <p>3. Удельные потери в тепловых сетях, в % к базовому году.</p> | <p>1. Увеличение производства (добычи) ТЭР, в % к базовому году:</p> <ul style="list-style-type: none"> - первичная энергия: гидроэнергия, нефть, газ, - производимые ТЭР: нефтепродукты; электроэнергия; тепловая энергия. <p>2. Степень загрузки (использования) мощностей предприятий ТЭК, %.</p> <p>3. Износ основных средств ТЭК, %.</p> <p>4. Норма накопления основного капитала в ТЭК, %</p> <p>5. Доля возобновляемых источников энергии в выпуске ТЭР, %.</p> <p>6. Отношение объема экспорта энергетических товаров к объему производства ТЭР в регионе, %.</p> |
| 2. Реальный сектор экономики (без ТЭК) | <p>1. Энергоемкость реального сектора экономики в целом, в % к базовому году.</p> <p>2. Энергоемкость основных видов деятельности, % к базовому году:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сельское хозяйство; - добыча полезных ископаемых (кроме ТЭР); - обрабатывающие производства (кроме ТЭР); | <p>1. Экономия электроэнергии в реальном секторе экономики, в % от ее потребления в базовом году.</p> <p>2. Экономия тепловой энергии в реальном секторе экономики, в % от ее потребления в базовом году.</p> | <p>1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, % к базовому году</p> |

Система энергетических индикаторов (продолжение)

| | Энергоемкость | Энергосбережение | Энергобезопасность |
|-----------------------------------|--|--|---|
| 3. Сектор нерыночных услуг | 1. Энергоемкость сектора нерыночных услуг (кг у.т./руб.), в % к базовому году. | 1. Экономия электроэнергии в секторе нерыночных услуг, в % от ее потребления в базовом году. 2. Экономия тепловой энергии в секторе нерыночных услуг, в % от ее потребления в базовом году. | 1. Затраты бюджетных средств на потребление ТЭР, % от расходов регионального бюджета. |
| 4. Домашние хозяйства | 1. Потребление ТЭР на душу населения (кг у.т./ чел.), в % к базовому году. 2. Потребление электроэнергии на душу населения (кВт*час./чел.), в % к базовому году. 3. Удельное потребление энергии на обогрев жилых зданий (Гкал./м2.), в % к базовому году. | 1. Индекс изменения доли расходов домашних хозяйств на ТЭР в общих расходах, % от базового уровня. 2. Экономия электроэнергии в домашних хозяйствах, в % от ее потребления в базовом году. 3. Экономия тепловой энергии в домашних хозяйствах, в % от ее потребления в базовом году. | 1. Отношение расходов домашних хозяйств на ТЭР к величине прожиточного минимума, %. 2. Доля ветхих, устаревших, изношенных жилых зданий, %. |
| 5. Регион в целом | 1. Энергоемкость ВРП субъекта РФ, в % к базовому году. 2. Электроемкость ВРП субъекта РФ, в % к базовому году. 3. Теплоемкость ВРП субъекта РФ, в % к баз. году. 4. Интегральный коэффициент энергоэффективности (доля полезно используемых ТЭР). | 1. Отношение экономии ТЭР к затратам на энергосберегающие мероприятия, %. 2. Экономия электроэнергии в субъекте РФ, в % от ее потребления в базовом году. 3. Экономия тепловой энергии и электроэнергии в субъекте РФ, в % от ее потребления в базовом году. | 1. Обеспеченность региональной экономики собственными энергоресурсами, %. 2. Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %. 3. Отношение объема ввоза энергетических товаров к общему объему потребления ТЭР в регионе, %. |



2. Модели экономики и энергетики

Секторы и виды деятельности модели ТЭК

Модель энергетики представлена моделью ТЭК, который объединяет секторы экономики, производящие и распределяющие ТЭР

| Сектор модели ТЭК | Вид деятельности по ОКВЭД |
|--|---|
| Сектор добычи и производства топлива | 05. Добыча угля. 06. Добыча сырой нефти и природного газа. 09. Предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых. 19. Производство кокса, нефтепродуктов. 35.2. Производство и распределение газообразного топлива. |
| Сектор производства электрической и тепловой энергии | 35.1. Производство, передача и распределение электроэнергии. 35.3. Производство, передача и распределение пара и горячей воды. |
| Трубопроводный транспорт | 49.50.1. Транспортирование по трубопроводам нефти и нефтепродуктов. 49.50.2. Транспортирование по трубопроводам газа и продуктов его переработки. |

Топливно-энергетический комплекс Самарской области

**Сектор
добычи и
производства
топлива**

**Сектор
производства
электрической
и тепловой
энергии**

**Трубопроводный
транспорт**

Добывающие организации

ЛиндеГазРус, ООО
Лукойл Волга
Лукойл Бурение
Самара-Нафта
СамараНефтегаз

Перерабатывающие заводы

Сызранский НПЗ - Первичная переработка нефти и конденсата
Куйбышевский НПЗ - Первичная переработка нефти и конденсата
Новокуйбышевский НПЗ - Первичная переработка нефти и
конденсата
Нефтегорский ГПЗ
Отрадненский ГПЗ

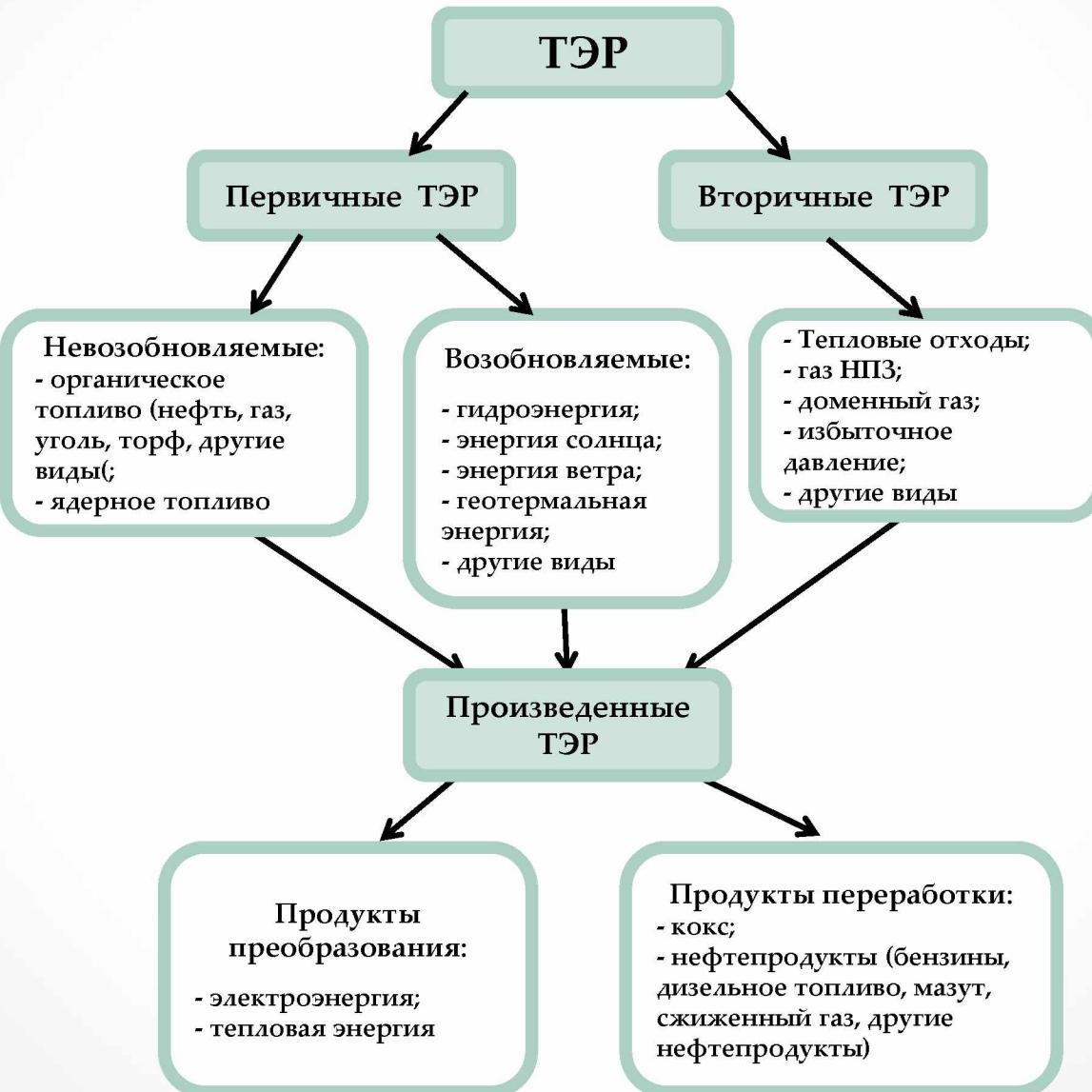
Электростанции, ТЭЦ и котельные

Жигулевская ГЭС
ТЭЦ ВАЗа в эксплуатации
Тольяттинская ТЭЦ
Новокуйбышевская ТЭЦ-1
Новокуйбышевская ТЭЦ-2
Самарская ТЭЦ
Сызранская ТЭЦ
Безымянская ТЭЦ
Самарская ГРЭС
ТЭЦ ОАО "Куйбышевский НПЗ"
Сызранская ГЭС
Тольяттинская ТЭЦ
Муниципальные котельные

Трубопроводы

Магистральные нефтепроводы "Дружба", АО
Приволжский нефтепровод
Транснефть
Транснефть-Приволга, АО
Самаратрансгаз, ООО (ОАО «Газпром»)
Газпром энергохолдинг, ООО

Классификация ТЭР



Использование ТЭР



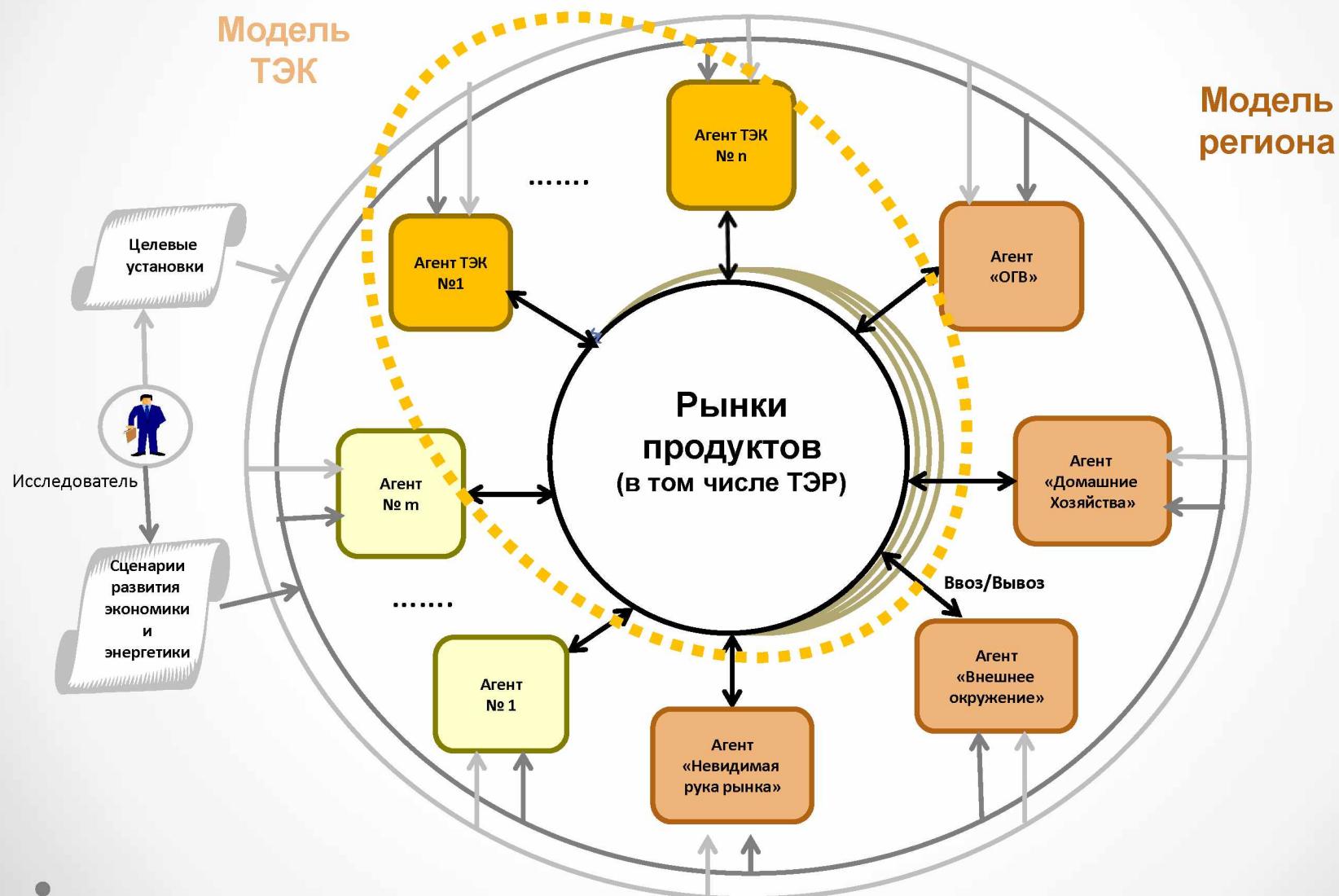
Поскольку ТЭК тесно связан с другими секторами экономики, то модель ТЭК разрабатывалась в составе общей модели социально-экономической деятельности региона.

За основу взята модель субъекта РФ, разработанная в классе CGE-моделей (Цыбатов, 2015).

Эта модель рассматривает развитие экономики как результат деятельности экономических агентов - основных субъектов региона.

Экономика региона разбита на совокупность экономических агентов по границам разделов и классов деятельности ОКВЭД2 с добавлением агентов: «домашние хозяйства», «органы государственной власти», «внешнее окружение» и агента «невидимая рука рынка», отвечающего за равновесие спроса и предложения на моделируемых рынках

Модель ТЭК в составе модели региона



Моделируемый набор условных продуктов

1 - промежуточные товары и услуги

- сырье и материалы
- **топливно-энергетические продукты**
- услуги финансового посредничества

2 - инвестиционные товары и услуги

3 - потребительские товары и услуги

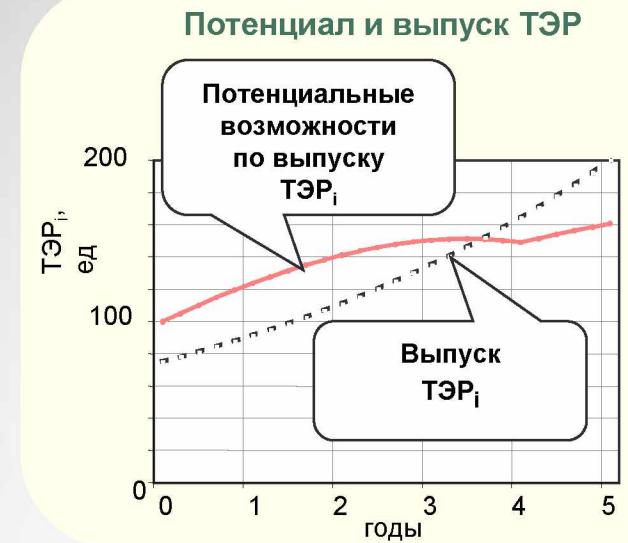
- продовольственные товары
- непродовольственные товары
- **топливно-энергетические продукты**
- платные услуги

4 - инфраструктурные услуги

5 - государственные услуги

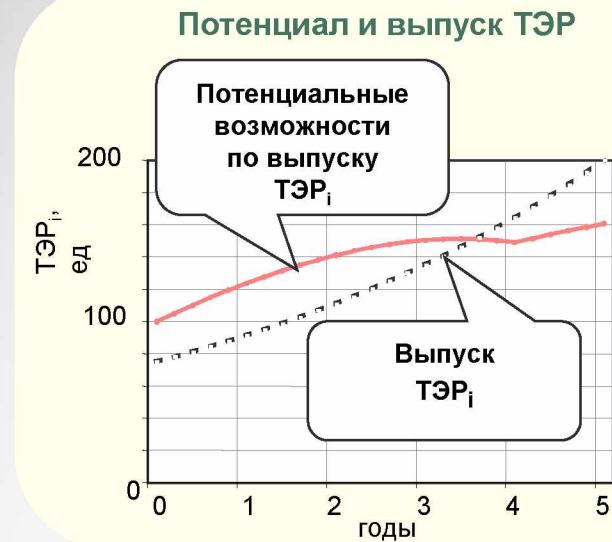
6 - трудовые услуги

Модель отрасли ТЭК (производство первичных ресурсов)



Модель отрасли ТЭК

(преобразование в электроэнергию и тепло;
переработка в другие виды ТЭР)



Модель неэнергетического вида экономической деятельности (переработка в неэнергетические продукты)



Модель неэнергетического вида экономической деятельности



Модель потребления ТЭР населением



3. Методология и алгоритмы формирования отчетного ТЭБ субъекта РФ

Методологические основы построения ТЭБ

1 – методические разработки и терминология Росстата

«Об утверждении официальной статистической методологии составления топливно-энергетического баланса Российской Федерации» ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ГОСУДАРСТВЕННОЙ СТАТИСТИКИ. ПРИКАЗ от 4 апреля 2014 года N 229

2 - методические разработки Минэнерго

Приказ Министерства энергетики РФ от 14 декабря 2011 г. N 600
"Об утверждении Порядка составления топливно-энергетических балансов субъектов Российской Федерации, муниципальных образований". С изменениями и дополнениями от 19 ноября 2015 г.

3 – подходы к анализу ТЭБ, используемые в Европейской комиссии по энергетике

4 - методические рекомендации Евростата и Международного Энергетического Агентства (МЭА)

5 - подходы к составлению балансов, используемые в Институте Энергетических исследований РАН

6 – опыт Самарской области и Красноярского края

Частный баланс ТЭР

| № строки | Статьи баланса |
|----------|--|
| 1 | 1. Ресурсы ТЭР |
| 2 | Производство (добыча) ТЭР |
| 3 | Изменение запасов |
| 4 | Ввоз |
| 5 | Вывоз |
| 6 | 2. Предложение ТЭР в регионе |
| 7 | 3. Общее потребление ТЭР в регионе |
| 8 | 3.1. Преобразование и переработка |
| 9 | 3.1. Преобразование топлива в электроэнергию и тепло в том числе: |
| 10 | на ТЭС общего пользования |
| 11 | в котельных и прочих источниках |
| 12 | 3.1.2. Переработка в другие виды топлива |
| 13 | 3.1.3. Использование ТЭР в качестве сырья и на нетопливные нужды |
| 14 | 3.2. Конечное потребление в регионе |
| 15 | 3.2.1. Конечное потребление ТЭК всего |
| 16 | Собственное потребление в том числе: |
| 17 | электроэнергетика |
| 18 | топливная промышленность |
| 19 | трубопроводный транспорт |
| 20 | Потери при добыче и производстве |
| 21 | Потери при распределении |
| 22 | 3.2.2. Конечное потребление (без ТЭК), в том числе: |
| 23 | сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство |
| 24 | добыча полезных ископаемых |
| 25 | обрабатывающие производства |
| 26 | производство и распределение электроэнергии, газа и воды |
| 27 | строительство |
| 28 | транспорт и связь |
| 29 | прочие |
| 30 | отпуск населению |

Формирование отчетных ТЭБ на примере Самарской области

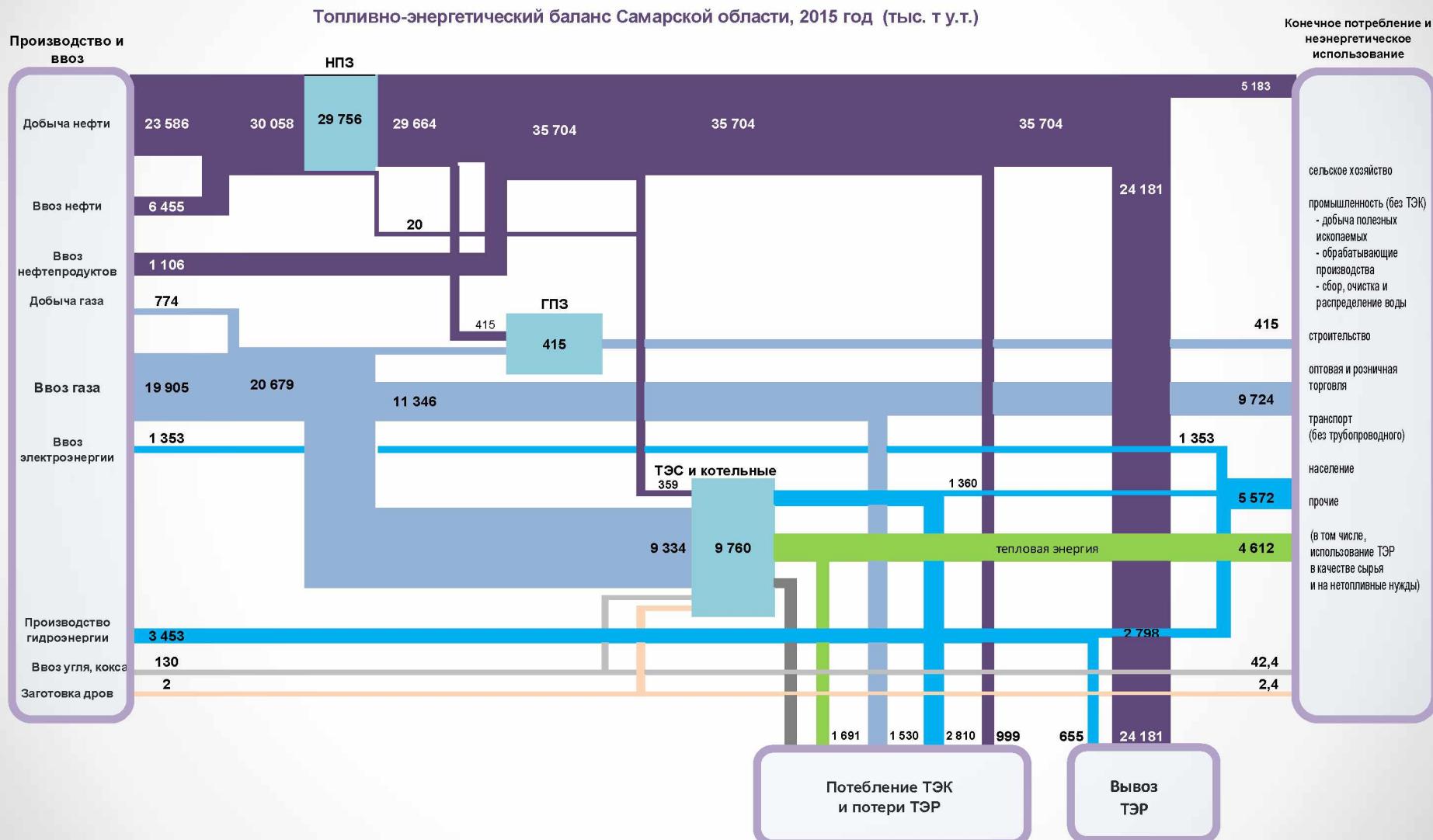
Сводный ТЭБ субъекта РФ, Самарская область, 2015

(тыс. т у.т.)

| Сводный топливно-энергетический баланс региона | | | | | | | | | | | | | 2015 год | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------------|---------|---------|---------|-----------|---------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|----------|--------------|---------------|----------------------|----------|-----------------|------------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|
| № | Статья баланса | Твердое топливо | | | | Нефть | Природный газ | Попутный газ | Гидроэнергия | Нефтепродукты | | | | | | | Электро-энергия | Тепловая энергия | Всего | | | | | | | |
| | | в том числе: | | | | | | | | в том числе: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | всего | Уголь | Кокс | Дрова | | | | | Бензины | Дизельное топливо | Мазут | Нефтяной газ | Сжиженный газ | Прочие нефтепродукты | | | | | | | | | | | |
| | | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | тыс.тут | | | | | | | |
| 1 | Производство первичных энергетических ресурсов | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 23 586,0 | 774,0 | 1 025,7 | 3 452,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Ввоз | 130,2 | 91,7 | 38,5 | 0,0 | 6 455,2 | 19 905,3 | 0,0 | | 1 106,4 | 514,4 | 234,1 | 249,5 | 0,0 | 108,4 | 0 | 1 352,9 | | | | | | | | | |
| 3 | Вывоз | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -24 180,5 | -4 385,3 | -8 654,0 | -8 911,8 | 0,0 | 0,0 | -2 229,5 | -655,2 | | | | | | | | | | |
| 4 | Изменение запасов | 1,4 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 16,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 98,3 | 27,9 | 14,6 | 60,8 | 0,0 | -5,0 | 0,0 | | | | | | | | | | |
| 5 | Валовые поставки энергетических ресурсов | 133,5 | 92,2 | 38,9 | 2,5 | 30 058,2 | 20 679,3 | 1 025,7 | 3 452,9 | -22 975,8 | -3 843,0 | -8 405,3 | -8 601,4 | 0,0 | 103,4 | -2 229,5 | 697,7 | 0,0 | 33 071,4 | | | | | | | |
| 6 | Статистическое расходжение | -3,3 | -3,3 | 0,0 | 0,0 | 37,3 | 92,1 | | | -3,3 | 0,0 | -0,6 | 1,3 | 0,0 | -1,6 | -2,4 | 0,0 | 0,0 | 122,8 | | | | | | | |
| | Преобразование первичных ресурсов | -92,0 | -73,2 | -18,7 | 0,0 | -29 876,1 | -10 863,2 | -1 025,7 | 0,0 | 28 010,7 | 4 927,4 | 9 020,5 | 9 157,7 | 1 193,0 | 759,9 | 2 952,3 | 1 421,6 | 4 611,65 | -7 813,0 | | | | | | | |
| 7 | Производство электрической энергии | -23,7 | -23,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -4 140,6 | 0,0 | 0,0 | -6,0 | -0,7 | -4,4 | -0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 4 232,1 | | 61,9 | | | | | | | |
| 8 | Производство тепловой энергии | -43,4 | -43,3 | 0,0 | 0,0 | -19,8 | -5 193,0 | -712,8 | 0,0 | -333,3 | 0,0 | 0,0 | -100,4 | -229,7 | -3,3 | 0,0 | 5 872,9 | | -429,4 | | | | | | | |
| 8.1 | Теплоэлектростанции | -21,3 | -21,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -2 577,2 | 0,0 | 0,0 | -0,9 | 0,0 | 0,0 | -0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2 599,4 | | 0,0 | | | | | | | |
| 8.2 | Котельные | -22,1 | -22,0 | 0,0 | 0,0 | -19,8 | -2 615,8 | -712,8 | 0,0 | -332,4 | 0,0 | 0,0 | -99,5 | -229,7 | -3,3 | 0,0 | 2 990,1 | | -712,8 | | | | | | | |
| 8.3 | Электрокотельные и теплоутилизационные установки | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,0 | | | | | | | |
| 9 | Преобразование топлива | -19 | 0 | -19 | 0 | -29 756 | 0 | 0 | 0 | 29 249 | 4 961 | 9 081 | 9 358 | 1 423 | 1 048 | 3 378 | | | -525,9 | | | | | | | |
| 9.1 | Переработка нефти | | | | | -29 756 | | | | 29 664,2 | 4 960,8 | 9 080,9 | 9 358,1 | 1 422,6 | 1 463,9 | 3 378,0 | | | -91,7 | | | | | | | |
| 9.2 | Переработка газа | | | | | | | | | -415,4 | | | | | -415,4 | | | | -415,4 | | | | | | | |
| 9.3 | Обогащение угля (кокса) | -19 | 0,0 | -19 | | | | | | | | | | | | | | | -18,7 | | | | | | | |
| 10 | Собственные нужды | -2,9 | -2,9 | 0,0 | 0,0 | -20,5 | -1 508,9 | 0,0 | 0,0 | -822,8 | -29,3 | -50,8 | -94,5 | 0,0 | -221,8 | -426,4 | -2 134,4 | -851,3 | -5 340,9 | | | | | | | |
| 11 | Потери при распределении | -3,3 | -3,3 | 0,0 | 0,0 | -79,8 | -20,7 | -312,9 | 0,0 | -75,9 | -3,3 | -5,3 | -4,5 | 0,0 | -63,4 | 0,7 | -676,1 | -409,9 | -1 578,6 | | | | | | | |
| 12 | Конечное потребление энергетических ресурсов | 44,8 | 22,3 | 20,1 | 2,4 | 144,7 | 9 724,0 | 0,0 | 0,0 | 5 038,2 | 1 084,4 | 615,8 | 554,9 | 1 193,0 | 864,9 | 725,2 | 5 572,2 | 4 611,65 | 25 135,6 | | | | | | | |
| 13 | сельское хозяйство | 1,8 | 0,1 | 0,0 | 1,7 | 0,1 | 33,7 | 0,0 | 0,0 | 53,6 | 7,2 | 37,4 | 0,3 | 0,0 | 0,6 | 8,0 | 62,0 | 47,0 | 198,2 | | | | | | | |
| 14 | промышленность (без энергетики) | 24,8 | 4,5 | 20,1 | 0,2 | 1,4 | 926,7 | 0,0 | 0,0 | 1 849,6 | 46,5 | 72,5 | 463,3 | 1 193,0 | 14,0 | 60,3 | 2 051,0 | 2 357,5 | 7 211,0 | | | | | | | |
| 14.1 | добыча полезных ископаемых (кроме ТЭР) | 1,6 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 231,4 | 0,0 | 0,0 | 25,8 | 3,3 | 12,1 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 9,1 | 8,7 | 9,0 | 276,6 | | | | | | | |
| 14.2 | обрабатывающие производства (кроме ТЭР) | 23,2 | 2,9 | 20,1 | 0,2 | 0,0 | 695,3 | 0,0 | 0,0 | 1 819,9 | 43,3 | 56,7 | 461,7 | 1 193,0 | 14,0 | 51,3 | 1 769,0 | 2 267,8 | 6 575,2 | | | | | | | |
| 14.3 | сбор, очистка и распределение воды | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,8 | 0,0 | 3,6 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 273,3 | 80,6 | 357,8 | | | | | | | |
| 15 | строительство | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 5,0 | 0,0 | 0,0 | 86,9 | 10,8 | 55,1 | 0,4 | 0,0 | 0,5 | 20,1 | 80,5 | 16,1 | 188,9 | | | | | | | |
| 16 | оптовая и розничная торговля | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,6 | 0,0 | 0,0 | 81,1 | 9,5 | 20,5 | 41,1 | 0,0 | 0,0 | 10,1 | 766,4 | 74,1 | 930,2 | | | | | | | |
| 17 | транспорт (без трубопроводного) | 3,2 | 3,1 | 0,0 | 0,0 | 1,6 | 51,3 | 0,0 | 0,0 | 306,6 | 25,2 | 197,2 | 4,0 | 0,0 | 7,7 | 72,4 | 373,5 | 82,4 | 818,5 | | | | | | | |
| 18 | население | 13,6 | 13,5 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 1 987,6 | 0,0 | 0,0 | 1 119,3 | 901,3 | 195,8 | 0,1 | 0,0 | 22,1 | 0,0 | 1 471,8 | 1 882,6 | 6 475,0 | | | | | | | |
| 19 | прочие | 1,4 | 0,9 | 0,0 | 0,5 | 0,4 | 85,6 | 0,0 | 0,0 | 200,1 | 83,8 | 37,4 | 45,2 | 0,0 | 3,6 | 30,2 | 767,0 | 151,9 | 1 206,5 | | | | | | | |
| 20 | Использование ТЭР в качестве сырья и на нетопливные нужды | 0,0 | 0,0 | | 0,0 | 140,9 | 6 625,5 | 0,0 | 0,0 | 1 341,0 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 816,4 | 524,1 | 0,0 | 0,0 | 8 107,4 | | | | | | | |
| 21 | Конечное потребление ТЭР в качестве топлива и энергии | 51,1 | 28,5 | 20,1 | 2,4 | 104,2 | 4 628,1 | 312,9 | 0,0 | 4 595,9 | 1 117,1 | 671,9 | 653,5 | 1 193,0 | 333,7 | 626,8 | 8 382,7 | 5 872,85 | 23 947,8 | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | | | | | | |

Источник: расчеты авторов

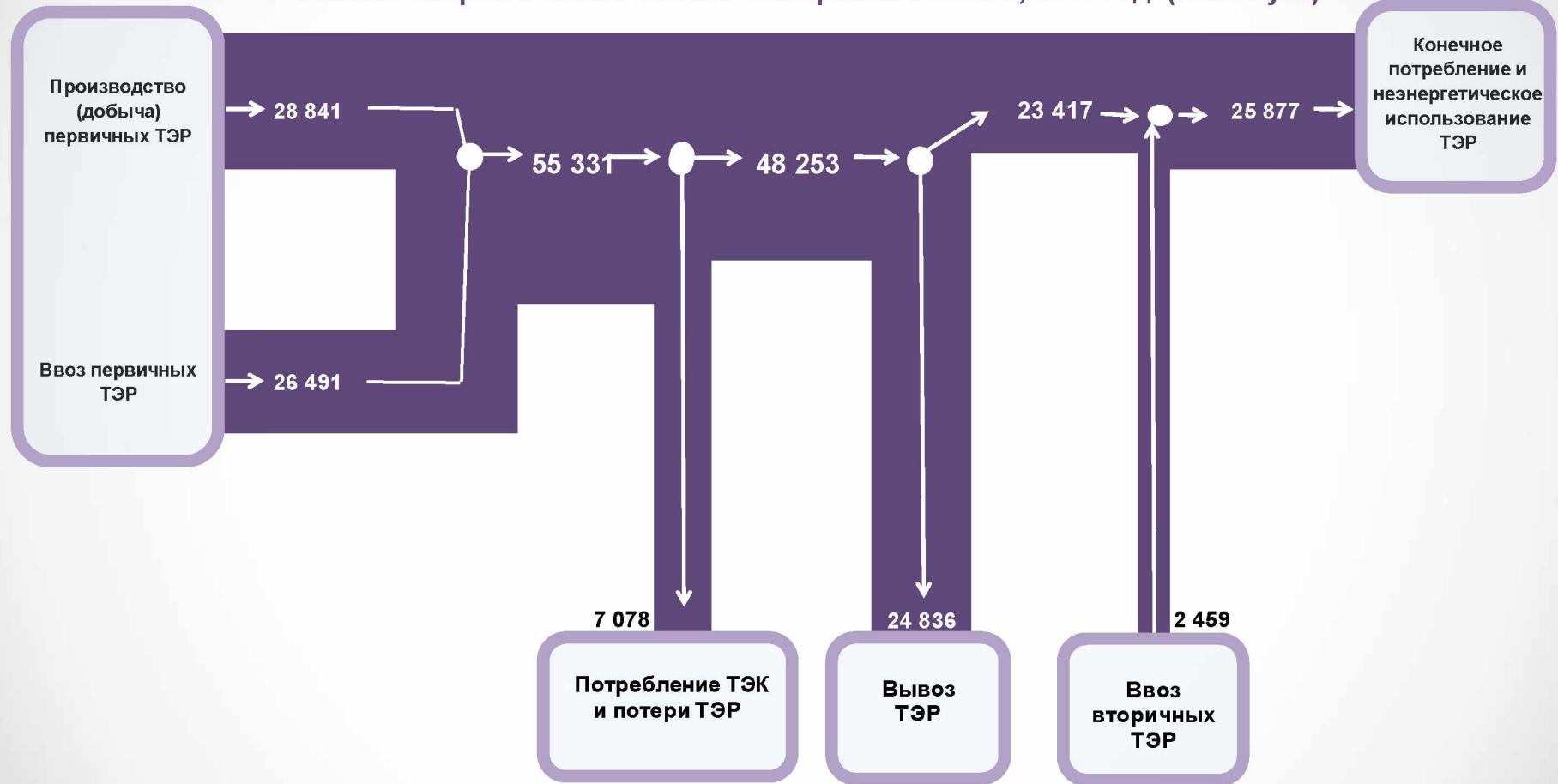
Производство и преобразование ТЭР, Самарская область, 2015 (тыс. т у.т.)



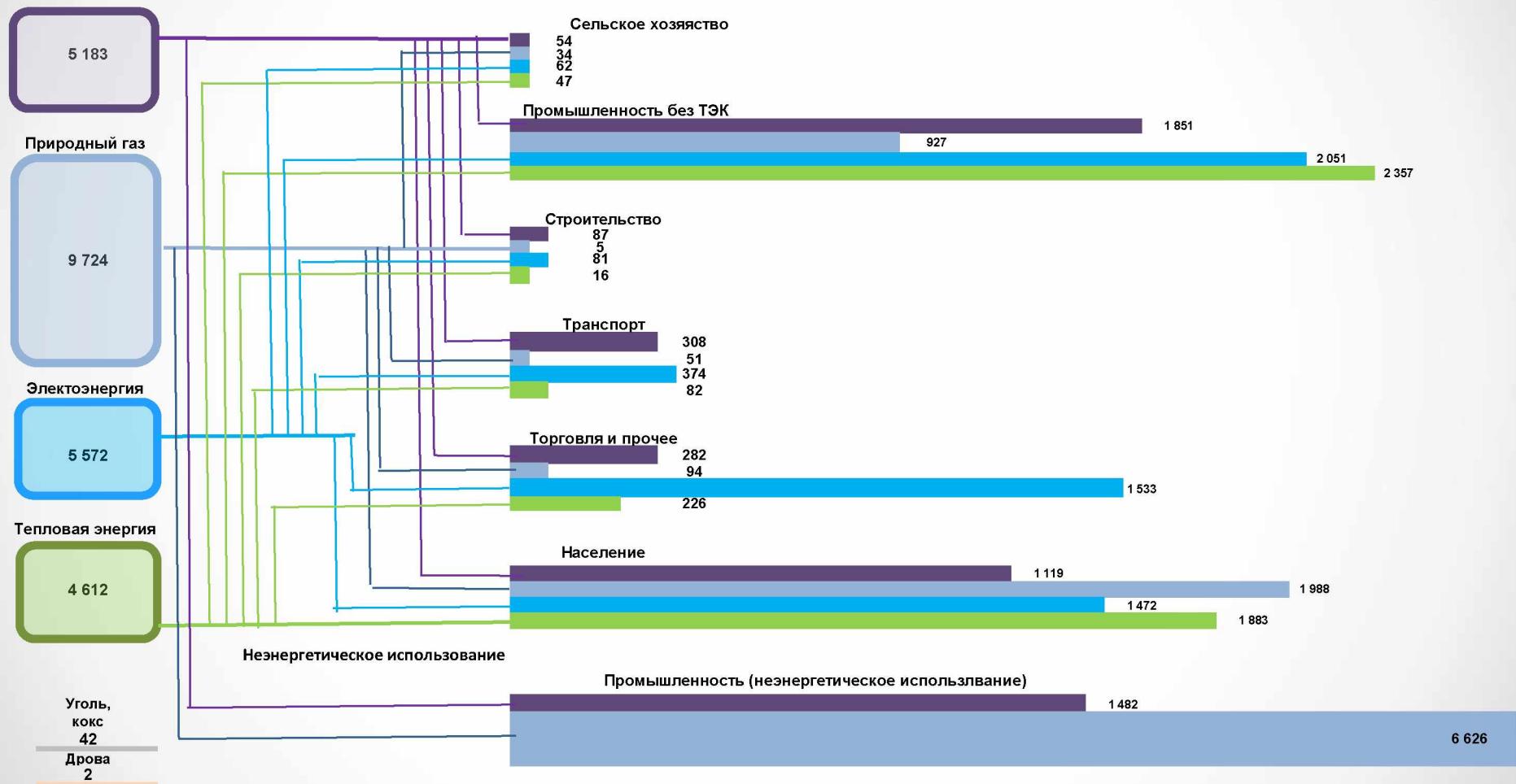
Источник: расчеты авторов

Производство и преобразование ТЭР, Самарская область, 2015 (тыс. т у.т.)

Топливно-энергетический баланс Самарской области, 2015 год (тыс. т у.т.)



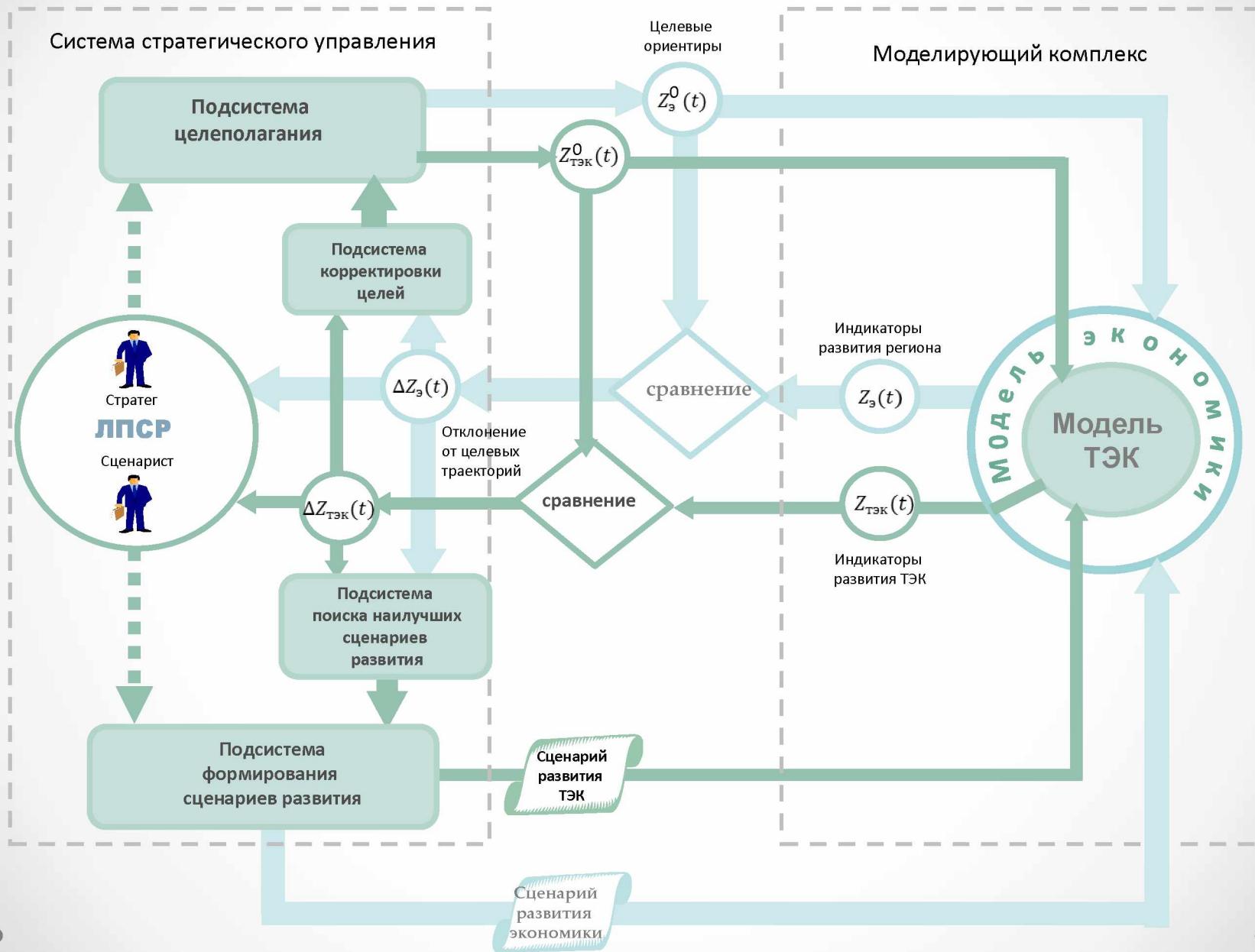
Конечное потребление и неэнергетическое использование ТЭР, Самарская область, 2015, тыс. т.у.т.



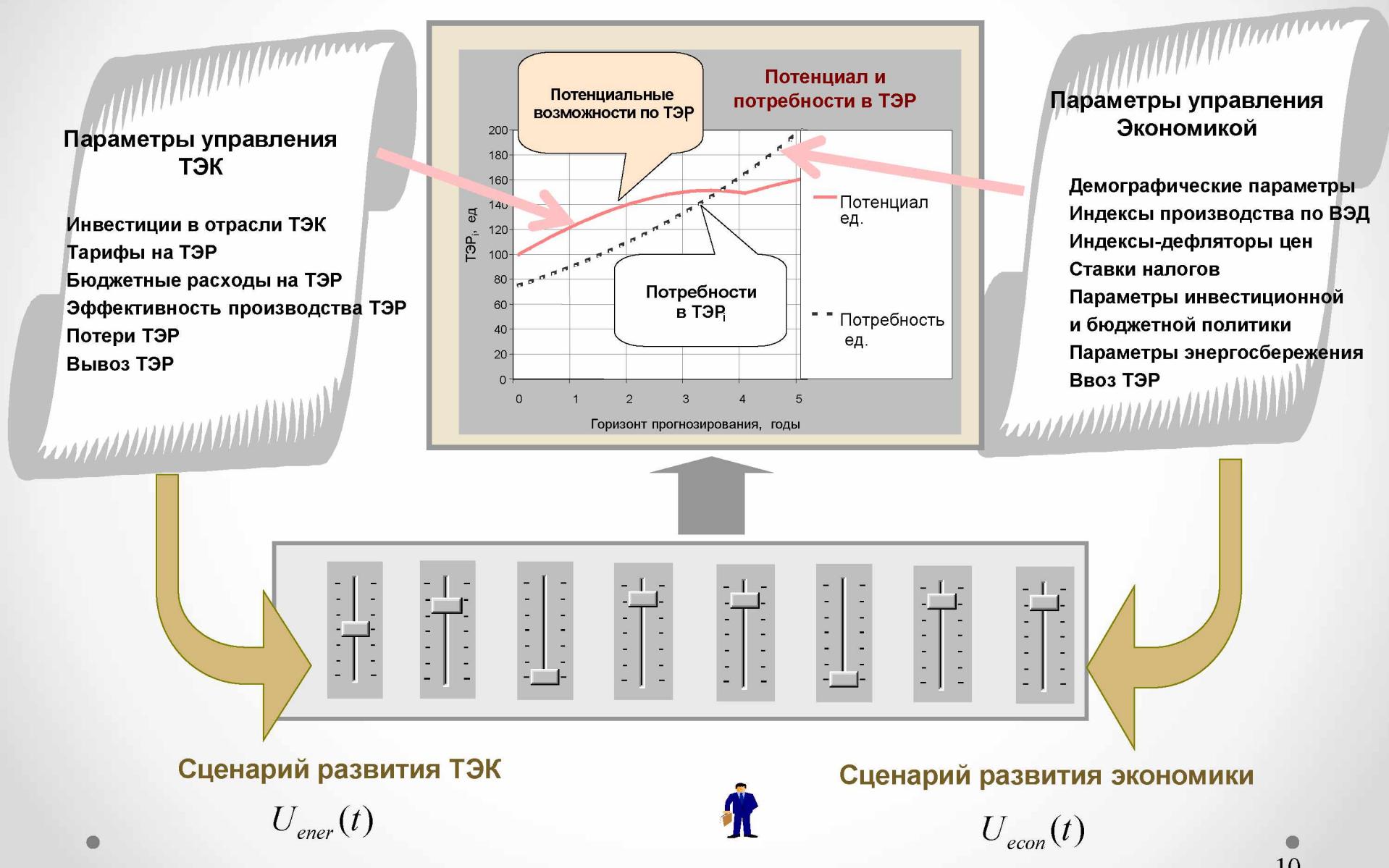
Источник: расчеты авторов

4. Информационная технология энергоэффективного развития региональной экономики

Архитектура прогнозно-аналитического комплекса



Прогнозирование сбалансированного развития экономики и ТЭК



Задача поиска энергоэффективного варианта развития

Введем критерий Φ , характеризующий суммарное относительное отклонение вектора индикаторов

$$E(t) = [E_{econ}(t), E_{ener}(t)]^T = [e_1(t), e_2(t), \dots, e_N(t)]^T$$

от целевых траекторий

$$E^0(t) = [E_{econ}^0(t), E_{ener}^0(t)]^T = [e_1^0(t), e_2^0(t), \dots, e_N^0(t)]^T$$

в точках измерения $t \in [t_1, t_2, \dots, t_T]$:

$$\Phi(U, t) = \left\{ \sum_{i=1}^N \left\{ g_i \sum_{k=1}^T \left| \frac{e_i(U, t_k)}{e_i^0(t_k)} - 1 \right| \right\} \right\}.$$

Здесь N - общее количество индикаторов (экономических и энергетических);

g_i - значимость (вес) i -го индикатора;

T - количество точек на интервале стратегирования.

Тогда задача поиска энергоэффективного варианта развития сводится к следующей задаче оптимизации:

найти допустимый сценарий развития экономики региона и ТЭК

$$U(t) = [U_{econ}(t), U_{ener}(t)], \quad U(t) \subset D_U$$

минимизирующий общую «неудовлетворенность» от недостижения целей, установленных для индикаторов в точках $t = t_1, t_2, \dots, t_T$ на горизонте стратегирования $[0, t_T]$:

$$\min_{U(t) \subset D_U} \Phi(U(t)) = \min_{U(t) \subset D_U} \left\{ \sum_{i=1}^N \left\{ g_i \sum_{k=1}^T \left| \frac{e_i(U(t_k))}{e_i^0(t_k)} - 1 \right| \right\} \right\}.$$

Здесь индикаторы $e_1(U(t)), e_2(U(t), \dots, e_N(U(t)$ рассчитываются на модели региона при решении прямой задачи сценарного прогнозирования для сценария развития $U(t)$, принадлежащего пространству управлеченческих решений D_U , заданному в виде допустимых интервалов регулирования сценарных параметров.

Решение

Представим сценарий $U(t)$ в виде управляющей матрицы U размерностью $L \times T$, где $L = m + n$ - размерность объединенного вектора сценарных параметров развития экономики региона $U_{econ} = [u_{econ,1}, u_{econ,2}, \dots, u_{econ,m}]^T$ и сценарных параметров развития ТЭК $U_{ener} = [u_{ener,1}, u_{ener,2}, \dots, u_{ener,n}]^T$, а T - количество точек на интервале стратегирования:

$$U = \begin{bmatrix} u_{1,1}, & u_{1,2}, & \dots, & u_{1,T} \\ u_{2,1}, & u_{2,2}, & \dots, & u_{2,T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{L,1}, & u_{L,2}, & \dots, & u_{L,T} \end{bmatrix}.$$

Обозначим $U^{(0)}$ - начальное приближение управляющей матрицы U (базовый сценарий) и представим управляющую матрицу U в следующем виде:

$$U = U^{(0)} \otimes K.$$

Здесь $K = \|k_{i,j}\|_{L \times T}$ - корректирующая матрица размерностью $L \times T$;

\otimes - символ поэлементного умножения матриц.

Запись

$$U(t) = U^{(0)} \otimes K(t)$$

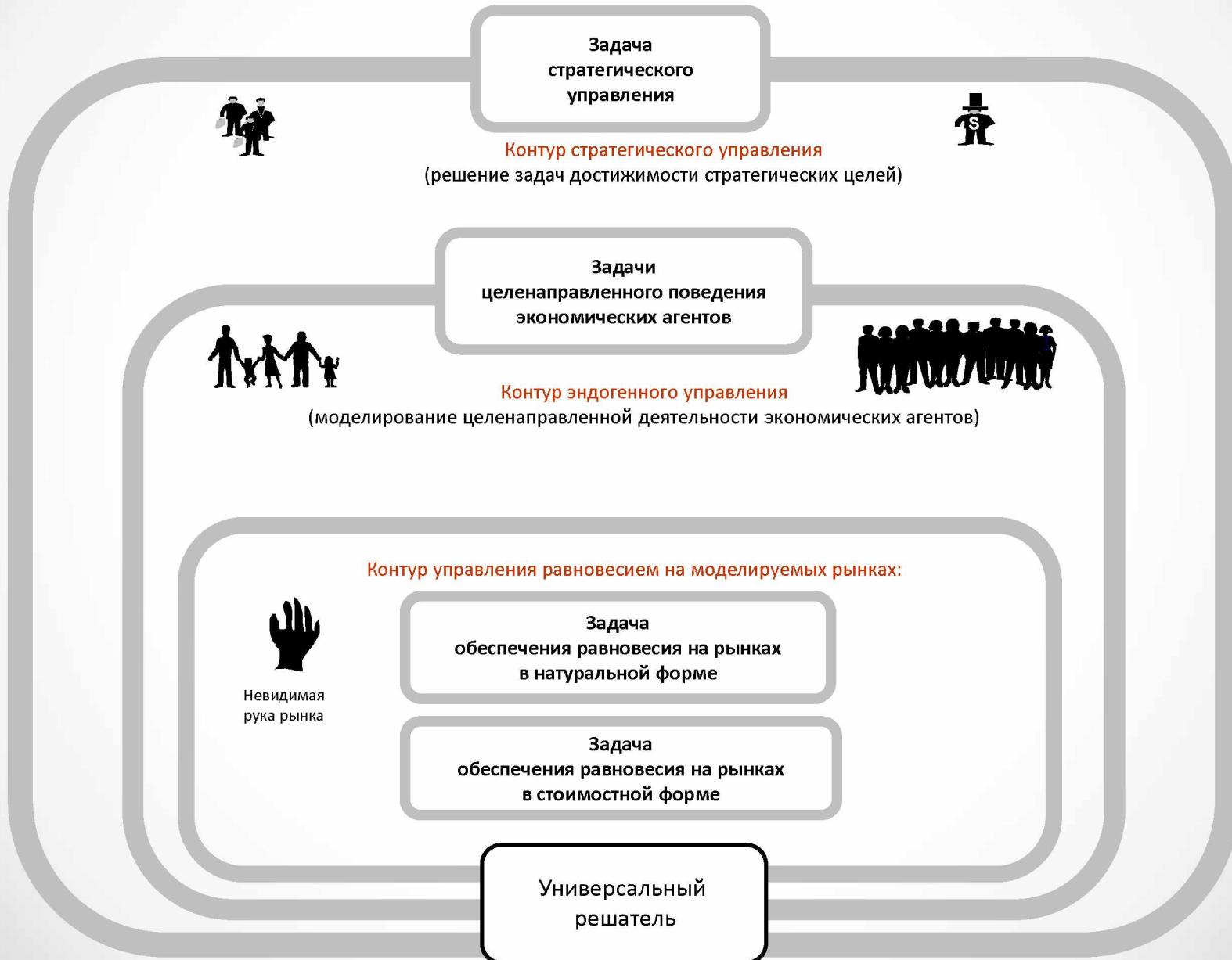
позволяет свести поставленную задачу к поиску оптимальной корректирующей матрицы K^{opt} . Авторами разработан эффективный метод поиска оптимальной матрицы K^{opt} , который позволяет решать поставленную задачу для многих десятков целей N и сотен управляющих переменных L .

Разработанный на основе матричного метода решатель автоматически формирует сценарии развития:

$$U^{opt} = U^{(0)} \otimes K^{opt} \rightarrow \begin{bmatrix} U_{econ}^{opt}(t) \\ U_{ener}^{opt}(t) \end{bmatrix},$$

при котором значения индикаторов $E(t) = [E_{econ}(t), E_{ener}(t)]$ максимально приближаются к установленным целям $E^0(t) = [E_{econ}^0(t), E_{ener}^0(t)]$ с учетом весов этих индикаторов (g_i) и ресурсных ограничений на управляющие воздействия.

Контуры стратегирования и моделирования



Индикаторы энергоемкости и энергоэффективности

АИС "Энергоэффективность ТЭК"

Топливно-энергетический баланс Аналитические документы Модель ТЭК Информационная база

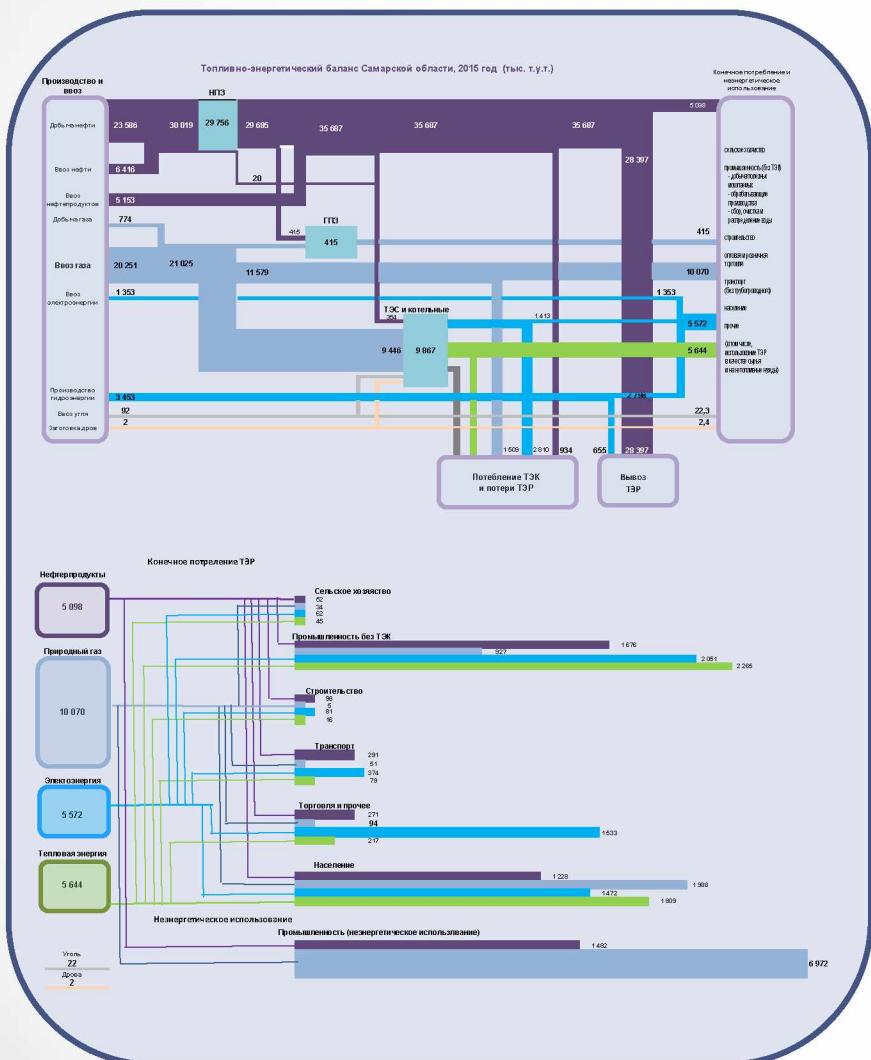
Год 2015

Энергоемкость ВРП Индикаторы энергоэффективности Энергопотребление экономики Энергопотребление населения Структура потребления ТЭР Структура потребления по ВЭД

Потребление ТЭР
 |
 | Энергопотребление в регионе
 | Структура потребления топлива и энергии в регионе
 | Динамика прироста потребления топлива и энергии
 | Баланс основных видов топлива
 | Энергоемкость ВВ по первичным энергоресурсам
 | Динамика прироста энергоемкости ВВ
 | Структура энергопотребления ВВ, млн. Руб
 |
 | Энергоемкость ВРП
 | Энергоемкость ВРП (тут на млн.руб)
 | Динамика прироста потребления первичных ТЭР
 | Энергопотребление ВРП по видам ТЭР
 | Динамика прироста потребления топлива и энергии
 |
 | Потребление ТЭР в секторах экономики
 | Потребление энергоресурсов в промышленности (без энергетики)
 | Потребление энергоресурсов в энергетике
 | Потребление энергоресурсов в строительстве
 | Потребление энергоресурсов в транспорте (без трубопроводного)
 | Потребление энергоресурсов в сельском хозяйстве
 |
 | Потребление отдельных видов ТЭР
 | Потребление природного газа
 | Потребление сжиженного газа
 | Потребление угля
 | Потребление нефти
 | Потребление дизельного топлива
 |
 | Энергопотребление населения
 | Структура энергопотребления населения, тут
 | Душевое потребление условного топлива, тут/чел
 | Душевое затраты на энергоресурсы, руб/чел
 | Отношение душевых затрат к БПМ, руб/чел
 |
 | Первичные ТЭР
 |> Характеристики первичных ТЭР
 |> Структура первичных ТЭР
 |
 | Произведенные ТЭР
 |> Структура произведенных энергоресурсов
 |> Использование произведенных ТЭР
 |
 | Потребление отдельных видов ТЭР
 | Электроэнергия: потребление в регионе и ввоз-вывоз (млн.кВт*ч)
 | Нефть: потребление в регионе и ввоз-вывоз (тыс.тонн)
 | Бензины: потребление в регионе и ввоз-вывоз (тыс.тонн)
 | Потребление топлива: потребление в регионе и ввоз-вывоз (тыс.тадн)

Модель ТЭК Всегда наверху: Масштаб: 85 Фиксировать масштаб: Оформление:

Расчет энергоиндикаторов по элементам ТЭБ субъекта РФ



| Субъекты | Аспекты энергоэффективного развития | | |
|--|---|---|---|
| | Энергоемкость | Энергосбережение | Энергобезопасность |
| 1. Региональный ТЭК | 1. Энергоемкость ТЭК, кг у.т./долл. 2. Удельный расход топлива на отпуск электрической энергии, кг/т.т.Вт·ч. 3. Потери электроэнергии в электрических сетях от общего объема отпуска электроэнергии, %. 4. Потери в тепловых сетях, в % от производства тепла. | 1. Индекс изменения энергоемкости ТЭК, в % от базового года. 2. Удельные потери ТЭК, в % от выпуска ТЭР. 3. Потери электроэнергии в электрических сетях от общего объема отпуска электроэнергии, %. 4. Отношение объема экспорта энергетических товаров к общему производству ТЭР в регионе, %. 5. Доля возобновляемых источников энергии в выпуске ТЭР, %. | 1. Степень загрузки (использования) мощностей предприятий ТЭК, т.у.т./г.т. 2. Износ основных средств ТЭК, %. 3. Норма накопления основного капитала (инвестиционная активность) в ТЭК, %. 4. Отношение объема экспорта энергетических товаров к общему производству ТЭР в регионе, %. 5. Доля возобновляемых источников энергии в выпуске ТЭР, %. |
| 2. Реальный сектор экономики (без ТЭК) | 1. Энергоемкость реального сектора экономики, кг у.т./долл. | 1. Индекс изменения энергоемкости реального сектора экономики, в % к базовому году. | 1. Доля предприятий, отвечающих экологическим требованиям, %. |
| 3. Сектор нерыночных услуг | 1. Энергоемкость сектора нерыночных услуг, кг у.т./долл. | 1. Индекс изменения энергоемкости сектора нерыночных услуг, в % от базового года. | 1. Затраты бюджетных средств на потребление ТЭР, % от расходов регионального бюджета. |
| 3. Сектор нерыночных услуг | 1. Энергоемкость сектора нерыночных услуг, кг у.т./долл. | 1. Индекс изменения энергоемкости сектора нерыночных услуг, в % от базового года. | 1. Затраты бюджетных средств на потребление ТЭР, % от расходов регионального бюджета. |
| 4. Домашние хозяйства | 1. Потребление ТЭР на душу населения кг у.т./чел. 2. Потребление электроэнергии на душу населения, кВт·час/чел. 3. Удельное потребление энергии на обогрев жилых зданий, Гкал/м². | 1. Индекс изменения доли расходов домашних хозяйств на ТЭР в общих расходах, % от базового уровня. 2. Индекс изменения душевого потребления ТЭР, % от базового уровня. 3. Индекс изменения душевого потребления электроэнергии, % от базового уровня. 4. Среднедворовое изменение удельного потребления энергии на обогрев жилых зданий, %. | 1. Отношение расходов домашних хозяйств на ТЭР к величине прожиточного минимума, %. 2. Доля ветхих, устаревших, изношенных жилых зданий, %. |
| 5. Регион в целом | 1. Энергоемкость ВРП субъекта РФ, кг у.т./долл. 2. Интегральный коэффициент энергоэффективности (доля полезно используемых ТЭР). | 1. Индекс изменения энергоемкости ВРП субъекта РФ, в % от базового года. 2. Отношение экономии ТЭР к затратам на энергосберегающие мероприятия, %. | 1. Индикатор самообеспечения ТЭР, %. 2. Доля доминирующего вида топлива в валовом потреблении ТЭР, %. 3. Отношение объема ввоза энергетических товаров к общему объему потребления ТЭР в регионе, %. |

37 энергоиндикаторов