



NATIONAL RESEARCH  
UNIVERSITY

# **Подходы к принятию оптимальных решений в малоэтажном энергоэффективном домостроительстве**

**Ермоленко Б.В., Ермоленко Г.В., Мацура А.А.**

**РХТУ им. Д.И.Менделеева, Институт энергетики НИУ ВШЭ**

**Международный Конгресс. Возобновляемая энергетика XXI век:  
энергетическая и экономическая эффективность**

**27-28 октября 2015, Москва**

# Основные задачи

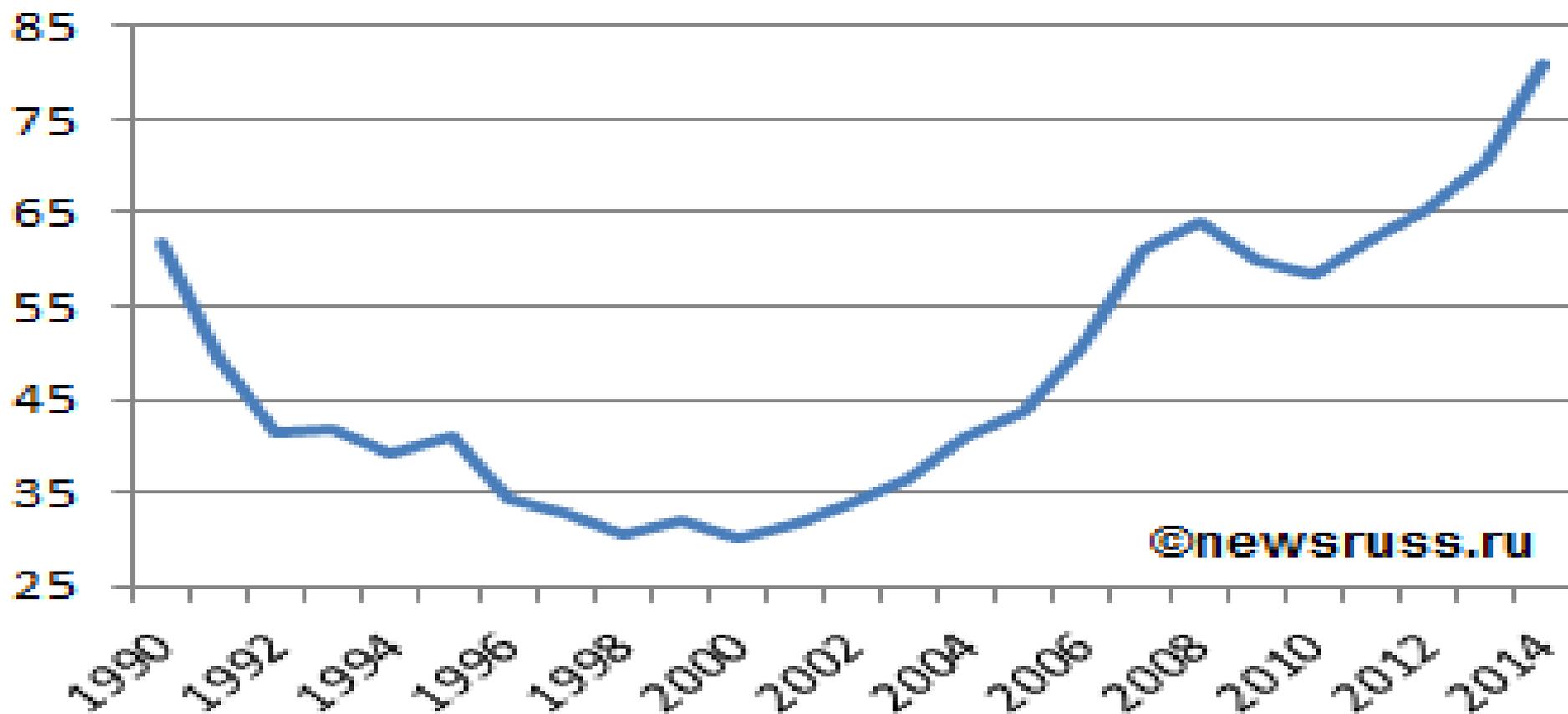
- Анализ состояния российского строительного рынка в области энергосбережения и выделение основных факторов, определяющих энергоэффективность дома.
- Демонстрация эффектов внедрения энергоэффективных домов на примере оценки воздействия на окружающую среду и энергосбережения гипотетического поселка, моделируемого для климатических условий Туруханского района Красноярского края.
- Формулировка задачи оптимального проектирования энергоэффективного дома.
- Разработка математической модели для оптимизации проектирования энергоэффективного дома.

# Отопление и горячее водоснабжение зданий в Российской Федерации

Наименование показателя	Значение показателя
Общая площадь эксплуатируемых зданий	~ 5000 млн. м <sup>2</sup>
Расход топлива на отопление и ГВС зданий	~400 млн. тут/год
Расход топлива на отопление и ГВС непроизводственных зданий	~160 – 180 млн. тут/год
Дефицит тепловой мощности на отопление и ГВС непроизводственных зданий в стране	~20%
Ввод в действие объектов жилищного строительства в 2014 году	~80 млн. м <sup>2</sup> /год
Ввод в действие объектов индивидуального жилищного строительства в 2014 году	~35 млн. м <sup>2</sup> /год

# Динамика ввода в действие жилых домов в Российской Федерации

## Ввод в действие жилых домов в России, млн м<sup>2</sup>



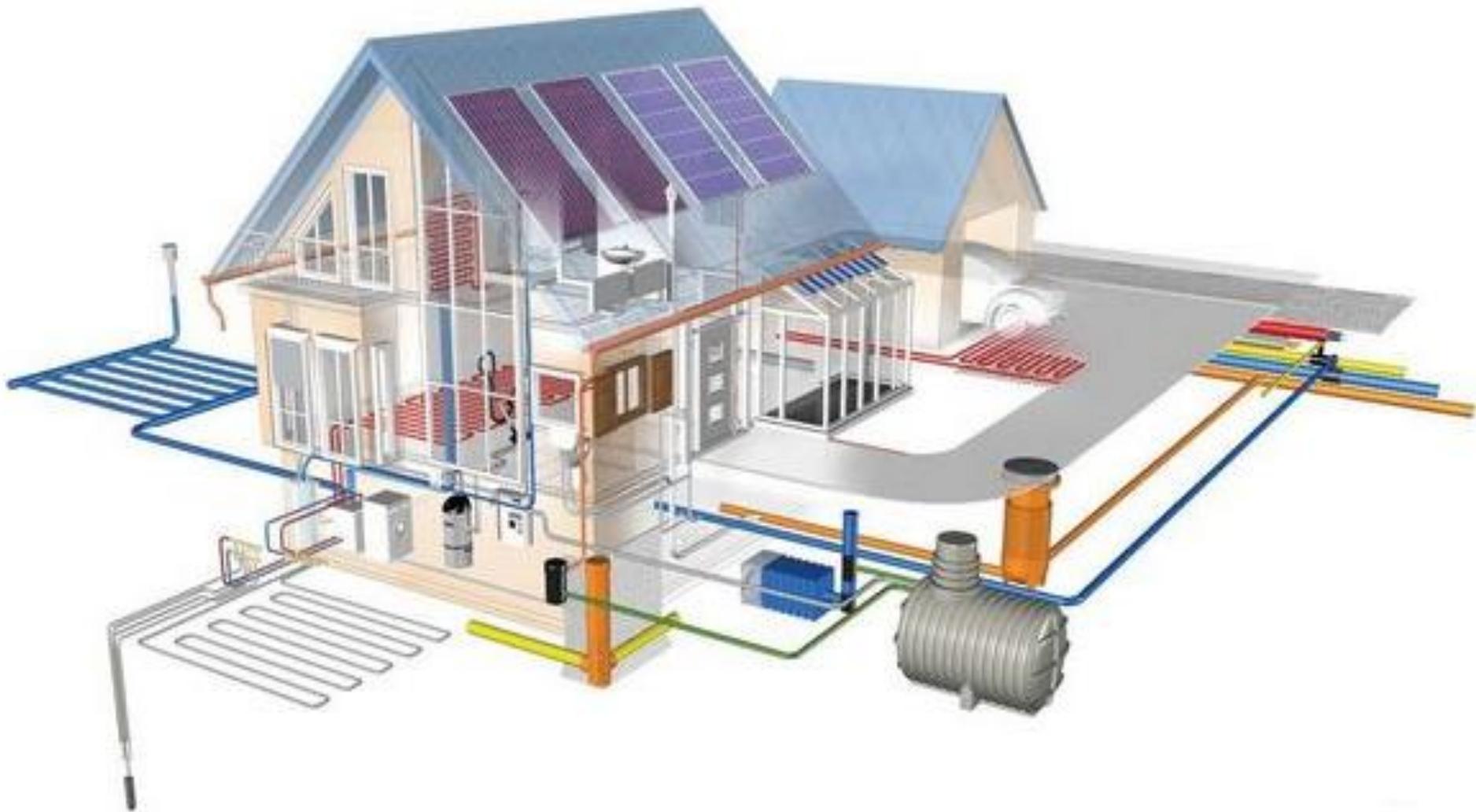
# Нормативы теплотребления зданий в странах мира

Страна	Удельный расход тепловой энергии, кВт·час/(м <sup>2</sup> ·год)
Дания	55
Германия	30-70
Канада	30-70
Словакия	30-100
Польша	70-100
Украина	90-180
Россия (норматив)	95-195
Россия (факт)	300-600

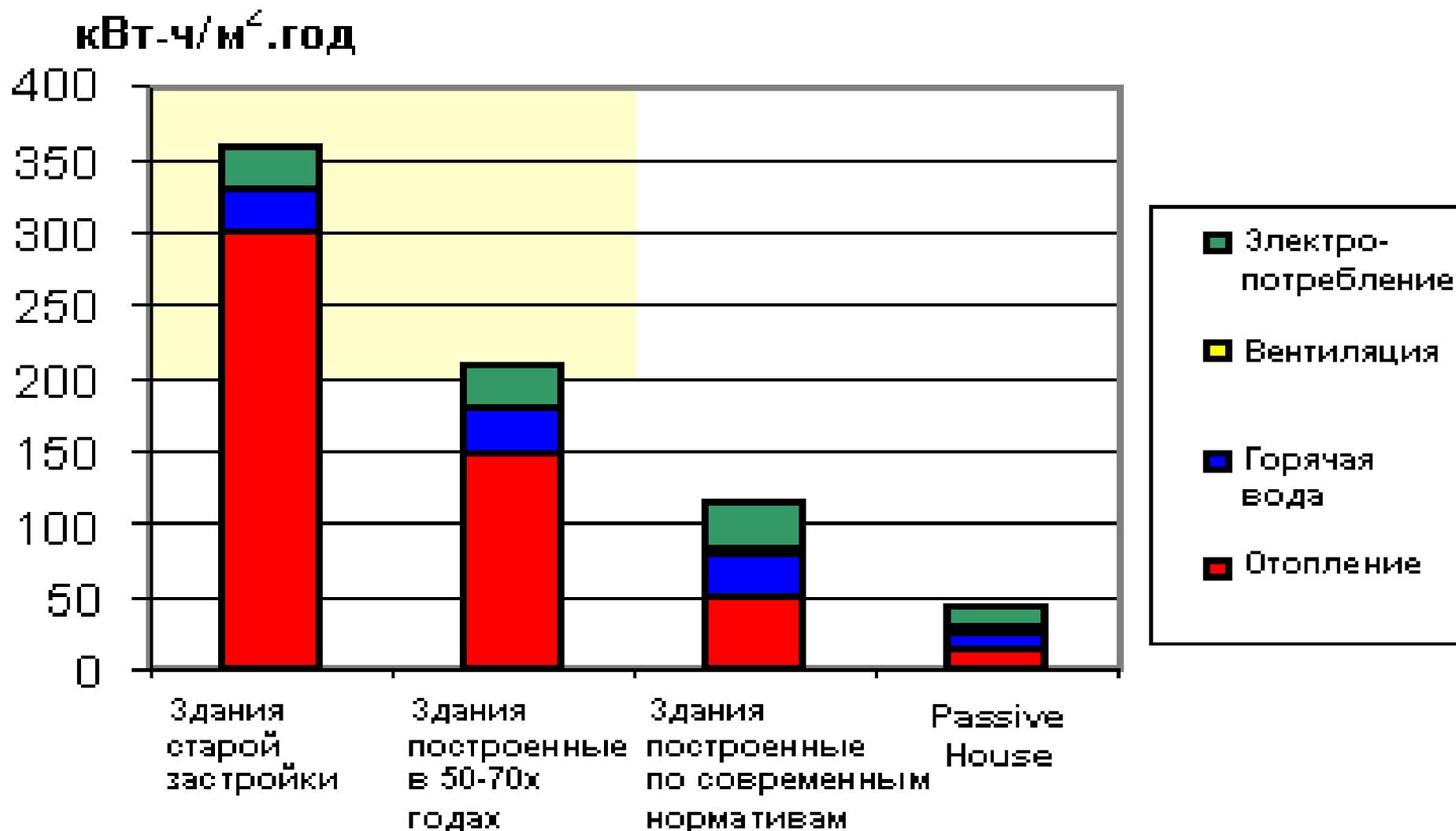
# Энергоэффективный дом

**Энергоэффективный дом — это дом с малым потреблением тепловой энергии, достигаемым за счет усиления теплоизоляции внешней оболочки здания, снижения тепловых потерь с вентилируемым воздухом, использования энергии окружающей среды.**

# Энергоэффективный дом



# Уровень энергоэффективности



# Определение класса энергетической эффективности в РФ

Обозначение класса Наименование класса энергетической эффективности	Обозначение класса Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормативного, %	Рекомендуемые мероприятия органами администрации субъектов РФ
<b>Для новых и реконструированных зданий</b>			
A	Очень высокий	$\Delta \leq -51\%$	Экономическое стимулирование
B	Высокий	$\Delta \in [-50\%, -10\%]$	То же
C	Нормальный	$\Delta \in [-9\%, +5\%]$	-
<b>Для существующих зданий</b>			
D	Низкий	$\Delta \in [+6\%, +75\%]$	Желательна реконструкция
E	Очень низкий	$\Delta \geq +76\%$	Необходимо утепление здания в ближайшей перспективе

# Основные принципы проектирования энергоэффективного дома

**Ландшафтно-планировочные** - ориентация здания по сторонам света;

**Объемно-планировочные** - выбор объема и планировки будущего дома;

**Фасадные** - выбор остекления фасада здания;

**Аккумулирующие** – обеспечение аккумуляции тепла в элементах здания;

**Изоляционные** - выбор материалов теплоизоляции, обеспечение отсутствия мостиков тепла, герметичности оболочки здания;

**Инженерные** - выбор инженерного оборудования для получения дополнительной энергии.

# Объект ресурсосберегающей и экологической оценки результатов строительства энергоэффективных домов

Наименование показателя	Значение показателя
Место нахождения населенного пункта	Туруханский район Красноярского края,
Численность населения	2500 человек
Количество отапливаемых зданий	150
Средняя температура воздуха в январе	минус 26-32°С.

# Результаты ресурсосберегающей и экологической оценки результатов строительства энергоэффективных домов

№	Наименование показателя	Типовой дом	Энерго-эффективный дом	Экономия
1	Потребление тепловой энергии на единицу площади, кВтч/(м <sup>2</sup> ·год)	400	70	330
2	Потребление тепловой энергии, Гкал/год	4000	700	3300
3	Потребление угля, т/год	8482,8	1484,5	6998,3
4	Выбросы диоксида азота, т/год	31,98	5,60	26,38
5	Выбросы оксида азота, т/год	5,20	0,91	4,29
6	Выбросы диоксида серы, т/год	76,35	13,37	62,97
7	Выбросы оксида углерода, т/год	129,97	22,76	107,20
8	Выбросы пыли неорганической, сод. SiO <sub>2</sub> 20-70%, т/год	1249,08	218,75	1030,33
9	Выбросы сажи, т/год	164,00	28,72	135,28

# Проблемы проектирования энергоэффективных домов

1. Многообразие климатических условий в местах строительства
2. Многообразие архитектурно-планировочных решений
3. Особенности грунтов в разных местах строительства
4. Различие в составе возобновляемых источников энергии и в их энергетических потенциалах
5. Наличие большого количества вариантов конструкций дома и его отдельных элементов
6. Многообразие видов доступных для использования различных конструкционных, тепло- и шумоизоляционных материалов с разными технико-экономическими характеристиками в разных местах строительства
7. Наличие большого количества вариантов использования различных конструкционных, тепло- и шумоизоляционных материалов с разными технико-экономическими характеристиками
8. Наличие большого количества вариантов выбора технологии получения дополнительного количества энергии с использованием ВИЭ

# Постановка задачи оптимального проектирования энергоэффективного дома

## При заданной информации о:

- месте строительства энергоэффективного дома;
- архитектурно-композиционных и объемно -планировочных решениях проектируемого здания;
- количестве потенциальных жителей дома и характере его предстоящего использования (постоянное или временное проживание);
- необходимой комфортной температуре внутри помещения;
- требуемом уровне энергоэффективности проектируемого здания (заданный или оптимальный);
- теплопоступлении от внутренних источников тепла;
- среднесуточной температуре наружного воздуха в районе строительства по месяцам года;
- температуре самой холодной и самой жаркой пятидневки года;

# Постановка задачи оптимального проектирования энергоэффективного дома

- энергетическом потенциале солнечной энергии;
- энергетическом потенциале низкопотенциального тепла земли;
- доступных (существующих или потенциальных) традиционных источниках тепловой и электрической энергии в месте строительства, тарифах и других затратах потребителей, связанных с использованием;
- особенностях грунта в месте строительства;
- множестве потенциальных видов конструкции здания, его фундамента и других элементов;
- ассортименте, технических характеристиках, поставщиках и ценах доступных теплоизоляционных и конструкционных строительных материалов;
- видах, технических характеристиках, поставщиках и ценах инженерного и энергетического оборудования;
- стоимости различных видов строительно-монтажных работ;
- капитальных и текущих затратах, связанных со строительством и традиционным энергообеспечением стандартного дома такого же объема и назначения, как и проектируемый энергоэффективный;
- количестве лет оценки осуществляемых затрат, связанных со строительством и эксплуатацией дома (горизонте расчета);

# Постановка задачи оптимального проектирования энергоэффективного дома

## **и наличии ограничений на:**

- выбор материалов строительства фундамента, пола, стен и крыши, связанный с сопротивлением теплопередаче конструкций;
- нагрузку на фундамент массы проектируемого дома;
- толщину стен;
- площади остекления дома с учетом теплопотерь, теплопоступлений и необходимости освещения помещений;
- глубину скважин и площадь размещения теплообменника тепловых насосов;
- площадь размещения солнечных коллекторов и фотоэлектрических панелей;
- возможность использования доступных традиционных источников энергии;
- финансовые возможности инвестора и
- др.;

## **выбрать (определить):**

- конструкцию дома (стены с массивом или без);
- виды и количество конструкционных и теплоизоляционных материалов для строительства стен и их утепления с учетом будущих трансмиссионных потерь;
- конструкцию и площадь будущего фундамента дома;

# Постановка задачи оптимального проектирования энергоэффективного дома

- виды и количество конструкционных и теплоизоляционных материалов для строительства фундамента дома;
- конструкцию крыши дома;
- виды и количество конструкционных и теплоизоляционных материалов для строительства и утепления крыши дома;
- вид материала и площадь окон с учетом их ориентации относительно сторон света, будущих теплопотерь и теплопоступлений от них;
- системы вентиляции с учетом теплопотерь от нее;
- виды и параметры дополнительного энергетического оборудования (тепловых насосов, грунтовых теплообменников, солнечных коллекторов, фотоэлектрических панелей и т.д.) для обеспечения комфортного проживания за счет дополнительных теплопоступлений от них;

**такие, что в зависимости от постановки задачи будет обеспечиваться на горизонте расчета:**

(а) заданный уровень энергоэффективности проектируемого дома с минимумом интегральных затрат или

(б) оптимальный уровень энергоэффективности проектируемого дома с максимумом интегрального эффекта от замены стандартного дома с традиционным энергообеспечением на энергоэффективный.

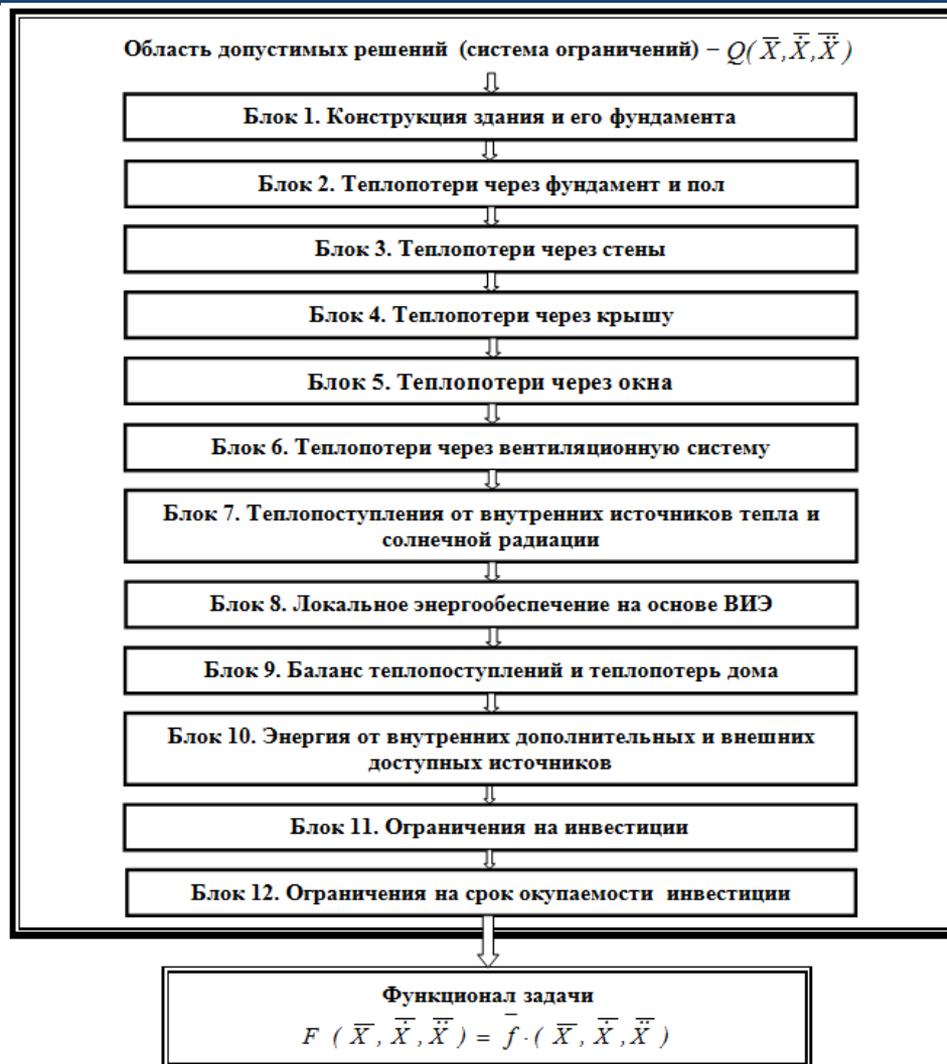
# Задача оптимизации проектирования энергоэффективного дома

## Задача частично-целочисленного линейного программирования

Найти:  $\bar{X}_{opt}, \bar{\dot{X}}_{opt}, \bar{\ddot{X}}_{opt} \in Q$  , такие что

$$F(\bar{X}_{opt}, \bar{\dot{X}}_{opt}, \bar{\ddot{X}}_{opt}) = \min_{\forall \bar{X}, \bar{\dot{X}}, \bar{\ddot{X}} \in Q} F(\bar{X}, \bar{\dot{X}}, \bar{\ddot{X}})$$

# Укрупненная блочная структура оптимизационной модели



# Заключение

1. Разработанная модель может служить универсальным инструментом для решения сложных инвестиционных задач по проектированию в разных регионах страны энергоэффективных домов с заданным уровнем энергосбережения с учетом местных климатических условий, потенциала возобновляемых энергетических ресурсов и наличия необходимых строительных материалов.

2. При соответствующей доработке может быть осуществлен переход от задачи проектирования отдельного энергоэффективного дома к задаче оптимального проектирования экологически чистых поселков (поселений) с энергоэффективными домами и энергоснабжением на основе возобновляемых источников энергии.



NATIONAL RESEARCH  
UNIVERSITY

# Спасибо за внимание!

**Международный Конгресс. Возобновляемая энергетика XXI век:  
энергетическая и экономическая эффективность**

**27-28 октября 2015, Москва**