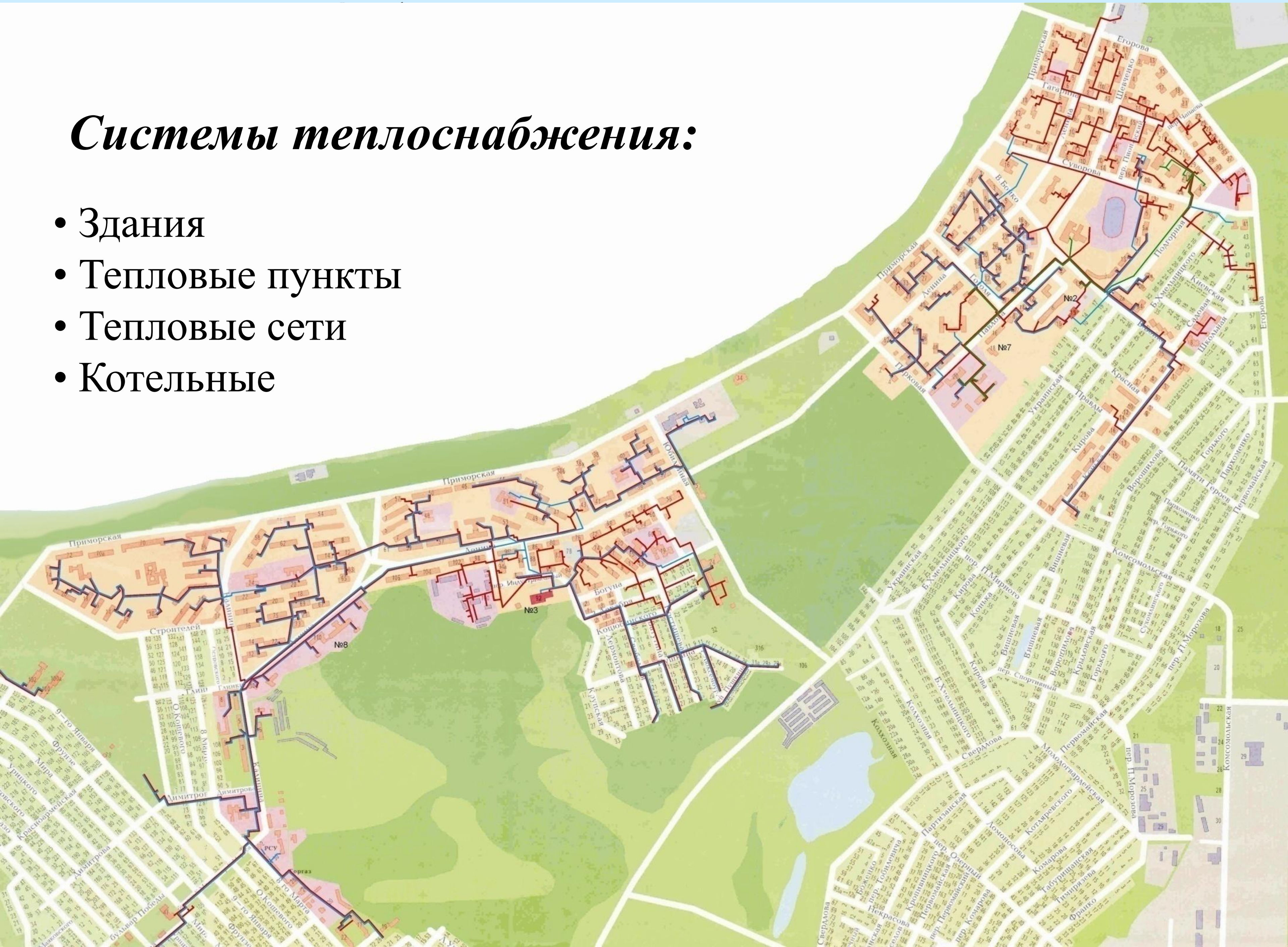
# Некоторые задачи технико-экономического анализа и оптимизации систем теплоснабжения .

**к.т.н., ведущий научный сотрудник**

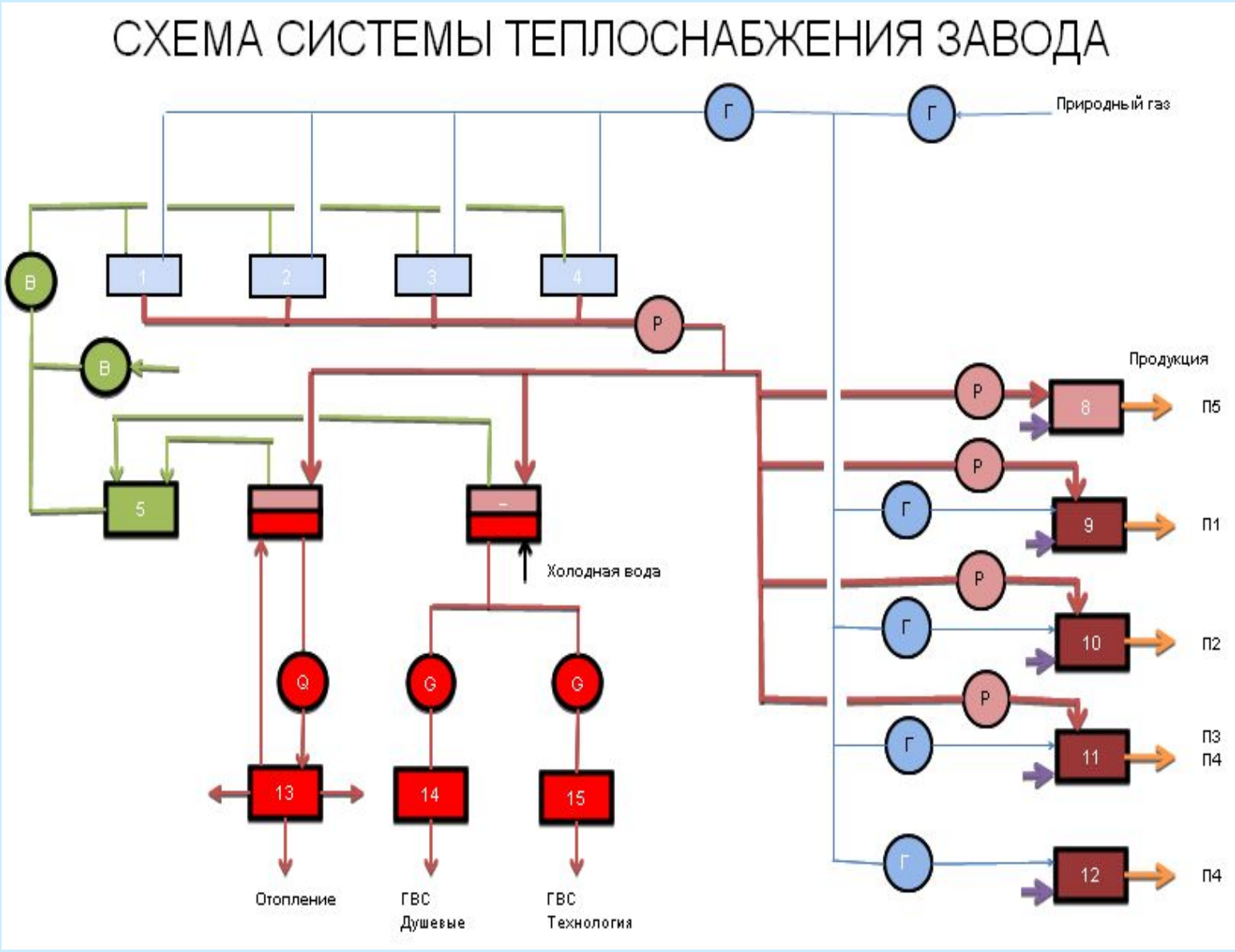
**Никитин Е.Е.**

# *Системы теплоснабжения:*

- Здания
- Тепловые пункты
- Тепловые сети
- Котельные



# Схема газопотребляющей системы теплоснабжения



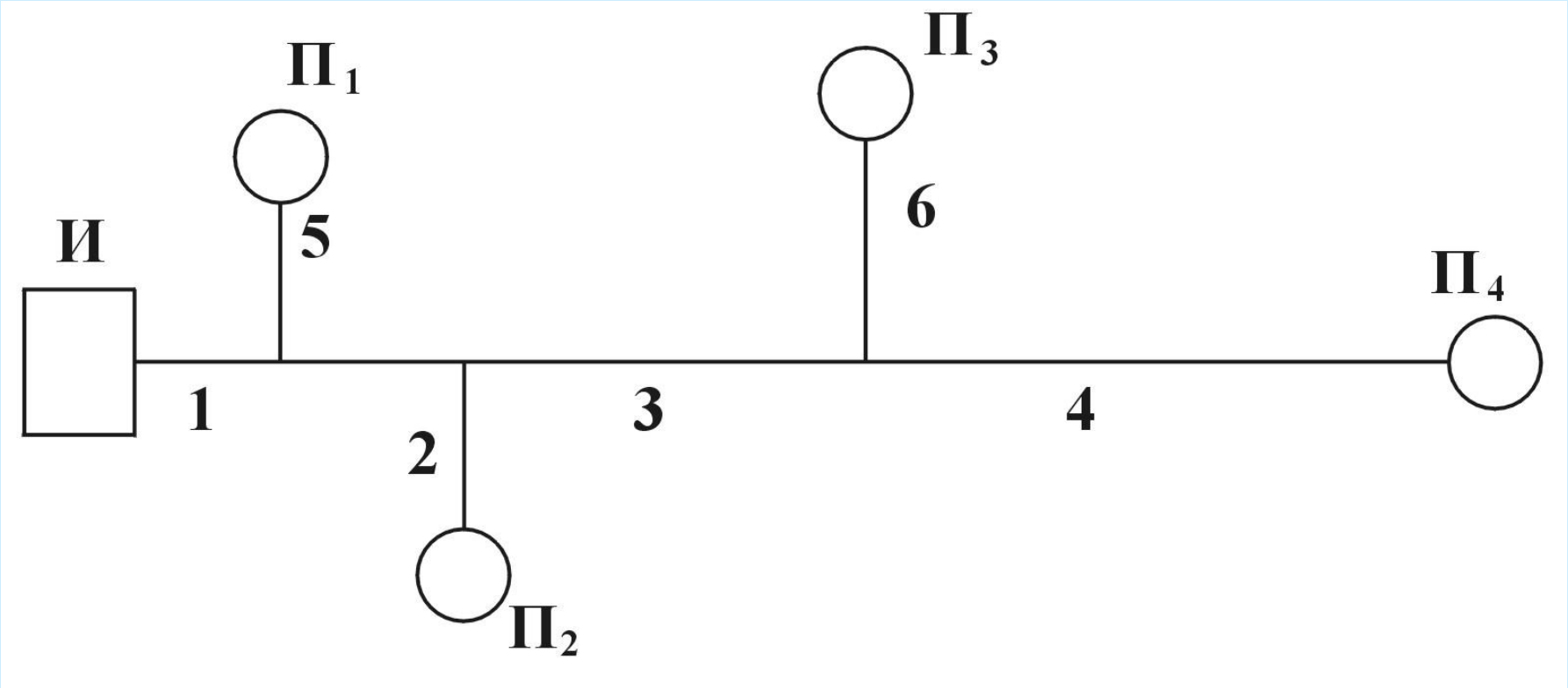
# Перечень задач

- **Моделирование показателей технико-экономической эффективности централизованных систем теплоснабжения**
- **Оптимизация выбора проектов модернизации систем теплоснабжения в условиях финансовых ограничений.**
- **Оптимальное распределение установленной мощности в системах отопления с базовым и пиковым источником тепловой энергии.**

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Разработана методика и выполнено расчетное исследование взаимосвязи между показателями экономической, энергетической эффективности , ценами на энергоресурсы , конструктивными и эксплуатационными характеристиками централизованных систем теплоснабжения с водогрейными котлами работающими на природном газе

# Схема системы теплоснабжения



# Показатели технико-экономической эффективности системы теплоснабжения

$\eta_к^{бр}, q_{с.н}$ -Тепловой источник

## Тепловая сеть

$$q_{тр.пот} = \eta_к^{бр} \Delta Q / (\Delta Q + \alpha Q) \qquad q_н = \Delta N(\eta_к^{бр} - q_{тр.пот}) / \alpha Q$$

$$\beta_i = (\Delta N_i + \Delta Q_i) / \alpha Q_i \qquad \beta = \Sigma(\Delta N_i + \Delta Q_i) / \Sigma \alpha Q_i$$

## Рентабельность производства тепловой энергии

$$R = c(\eta_к^{бр} - q_{тр.пот}) / \{к[c_т + c_е(q_{с.н} + q_н)]\} - 1$$

$c_т$, $c$, $c_е$ – цена топлива, тепловой и электрической энергии

к – коэффициент дополнительных затрат

# Влияние отключения потребителей

| Параметр | Отключение потребителя №4 | Отключение потребителя №3 |
|---|---|---|
| β | 10% → 7% | 10% → 11% |
| R | 8% → 14% | 8% → 6% |

# Влияние цены тепловой энергии

| Цена тепловой энергии, грн./Гкал | 600 | 700 | 750 | 800 | 900 |
|---|---|---|---|---|---|
| R,% | -19 | -6 | 0 | 8 | 21 |

# Влияние цены топлива

| Цена топлива, грн./1000 $м^3$ | 2000 | 2600 | 2830 | 3000 | 3500 |
|---|---|---|---|---|---|
| R,% | 37 | 8 | 0 | -5 | -18 |

# Влияние коэффициента теплопроводности теплоизоляции трубопроводов

| $\lambda_{из}$, Вт/м К | 0,03 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,10 |
|---|---|---|---|---|---|
| $Q_{тр.пот}$, % | 9 | 14 | 19 | 23 | 25 |
| R, % | 15 | 8 | 1 | -4 | -7 |

# Влияние удельной протяженности тепловых сетей

| $\Sigma Q_i$, кВт | 2000 | 2500 | 4000 | 6000 | 8000 |
|---|---|---|---|---|---|
| $L/\Sigma Q_i$, км/МВт | 2,6 | 2,1 | 1,4 | 0,9 | 0,7 |
| $Q_{тр.пот}$, % | 21 | 19 | 14 | 11 | 9 |
| $q_н$, % | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| R, % | -2 | 1 | 7 | 12 | 15 |

# Влияние КПД теплового источника

| $\eta_к^{бр}$,% | 70 | 80 | 87 | 90 | 100* |
|---|---|---|---|---|---|
| R, % | -33 | -14 | 1 | 8 | 32 |

* - при использовании конденсационных котлов.

# Перечень базовых мероприятий по модернизации СТ

| Источники | Тепловые сети | Потребители |
|---|---|---|
| Замена котлов на более эффективные | Предизолированные трубы оптим. диаметра | Утепление ограждающих конструкций здания |
| Модернизация котлов<br>-горелки<br>-теплоутилизаторы<br>-теплоизоляция<br>-САР | Замена насосных установок на более экономичные | Установка систем погодного и программного регулирования теплопотребления |
| Перевод котлов на местные виды топлива | Теплогидравлическая наладка сетей | Индивидуальное отопление |
| Когенерационные установки | | Восстановление ГВС |
| Тепловые насосы | | Промывка систем |
| Гелиотопливные системы | | |
| Изменение топологии тепловых сетей | | |
| Максимальная загрузка экономичных источников | | |
| Установка приборов учета отпуска и потребления тепловой энергии | | |
| Внедрение систем энергетического менеджмента | | |

# Электронная библиотека ТЭО

# Оптимизация выбора проектов модернизации систем теплоснабжения в условиях финансовых ограничений.

Имеется определенное количество возможных проектов , каждый из которых может быть реализован в определенном объеме. Имеются определенные ограничения по объему реализации каждого из проектов. Для каждого из проектов известны экономия , которая достигается при его реализации, а также необходимые капитальные затраты. Общая сумма финансовых ресурсов, которые могут быть израсходованны на реализацию всей совокупности проектов не может превышать определенной известной величины. Требуется определить объемы реализации каждого из проектов, таким образом, чтобы максимизировать экономию , которая будет достигнута после их реализации.

# Математическая постановка задачи об оптимальном выборе проектов

$$Э = э_1 x_1 + э_2 x_2 + \ldots + э_i x_i, + \ldots + э_n x_n \rightarrow \max \quad (1),$$
$$x \in \Delta_\beta$$

$$к_1 x_1 + к_2 x_2 + \ldots + к_i x_i + \ldots + к_n x_n \leq К \quad (2),$$

$$x_1 \leq X_1,\ x_2 \leq X_2, \ldots,\ x_i \leq X_i, \ldots,\ x_n \leq X_n \quad (3),$$

$$x_1 > 0,\ x_2\ \ 0, \ldots,\ x_i\ 0, \ldots,\ x_n\ \ 0 \quad (4)$$

# Критерии выбора энергоэффективных проектов

- Экономические (T, IRR, NPV)
- Экологические
- Надежность
- Энергетическая независимость
- Качество теплоснабжения
- Социальная значимость

# Оптимизация выбора проектов по комплексу критериев

$$П = x_1 к_1 / T_{1ср} + x_2 к_2 / T_{2ср} + \ldots + x_i к_i / T_{iср} + \ldots + x_n к_n / T_{nср} \rightarrow \max_{x \in \Delta_\beta}$$

$$T_{iср} = (T_{i1} + T_{i2} + \ldots + T_{i\alpha} + \ldots + T_{ip})/p$$

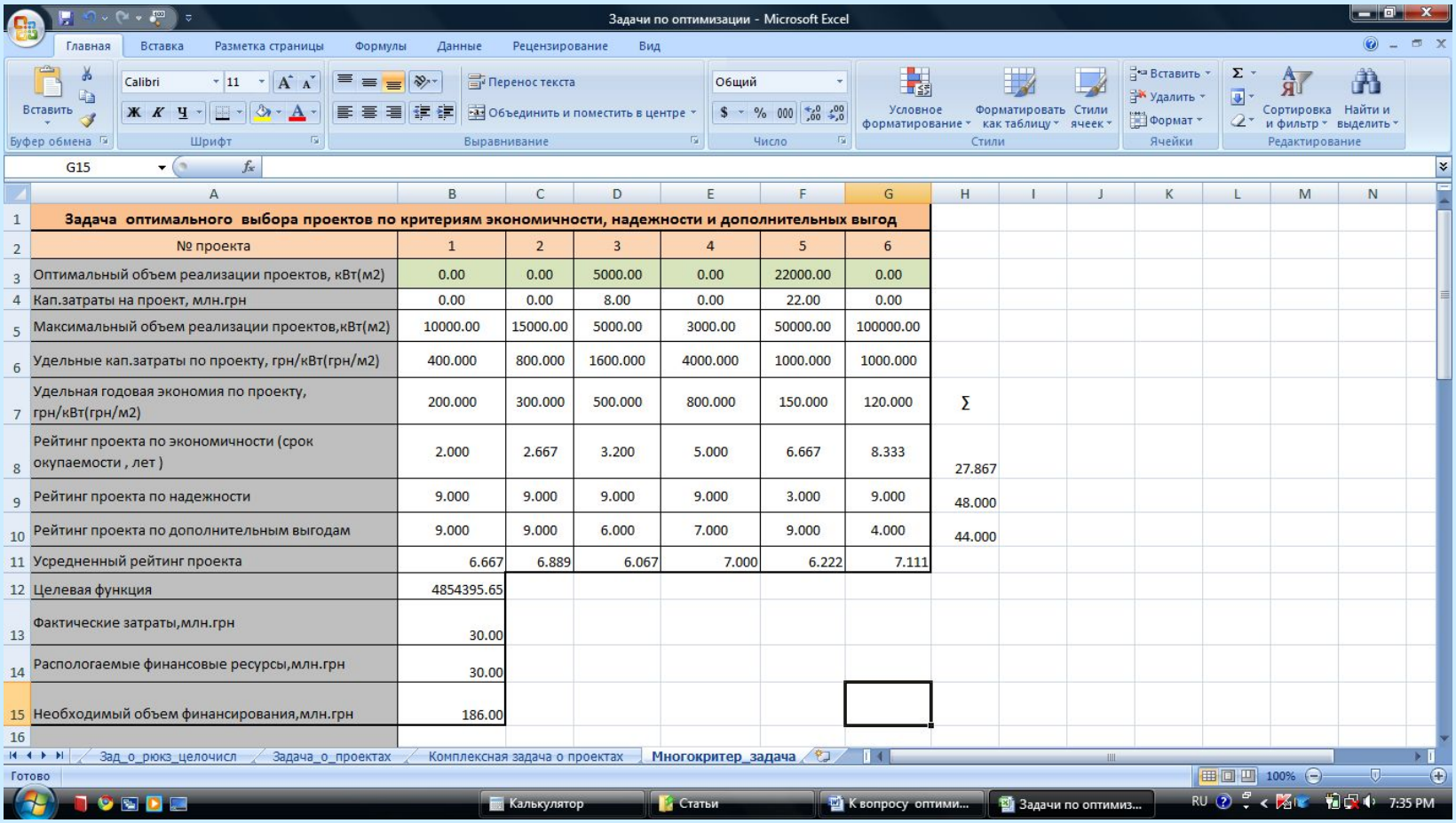
$$к_1 x_1 + к_2 x_2 + \ldots + к_i x_i + \ldots + к_n x_n \leq К$$

$$x_1 \leq X_1,\ x_2 \leq X_2, \ldots,\ x_i \leq X_i, \ldots,\ x_n \leq X_n$$

$$x_1 > 0,\ x_2 > 0, \ldots,\ x_i > 0, \ldots,\ x_n > 0J$$

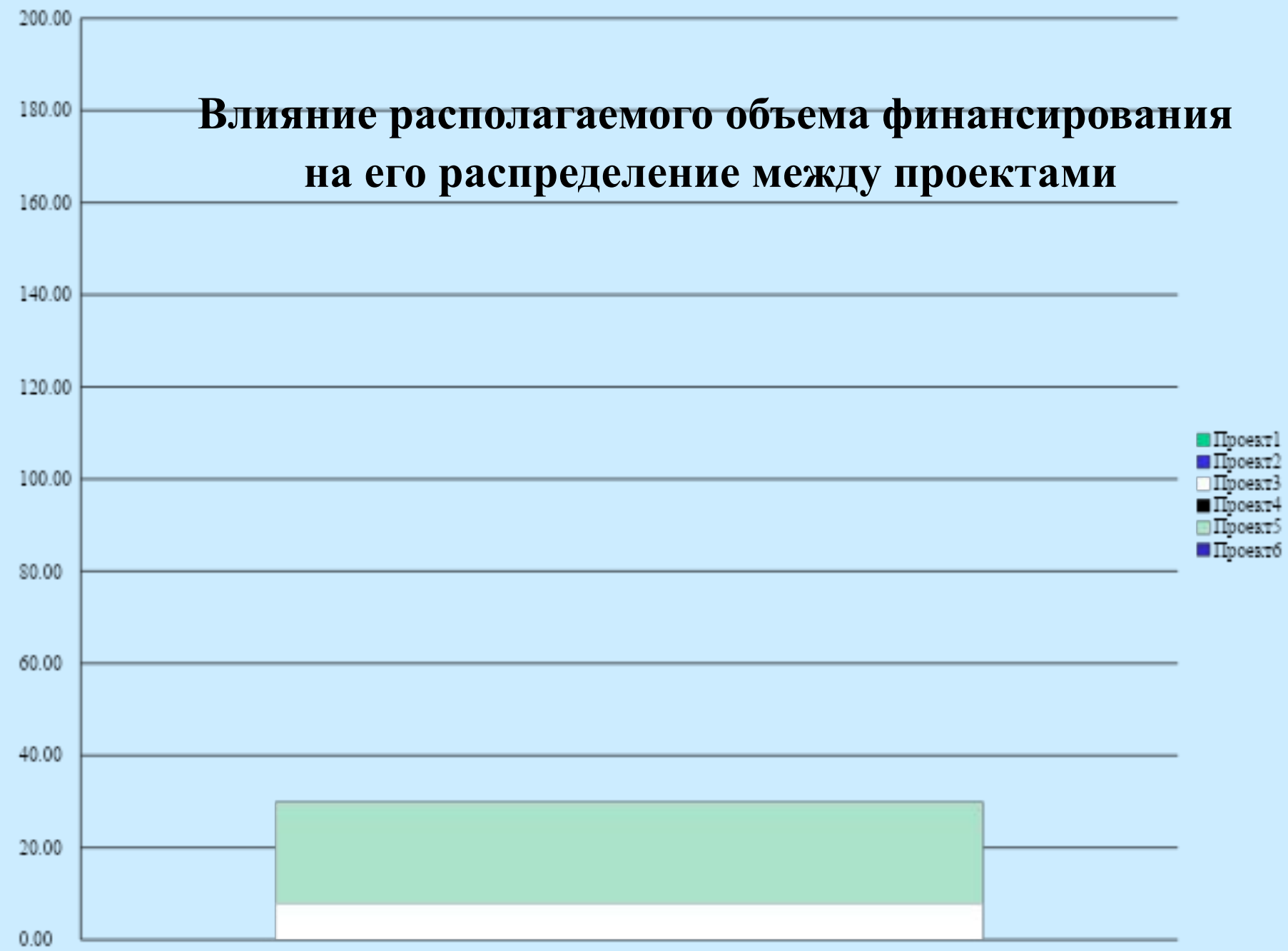
# Пример

Допустим, что рассматривается шесть альтернативных проектов (n=6): 1) модернизация устаревших газовых котлов (например путем замены горелок или установки теплоутилизаторов), 2)замена старых газовых котлов с низким к.п.д. на новые газовые котлы с более высоким к.п.д., 3) перевод газовых котлов на биомассу, 4) установка тепловых насосов, 5) замена изношенных участков труб тепловых сетей на предварительно изолированные трубы и 6) термомодернизация зданий.




| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Задача оптимального выбора проектов по критериям экономичности, надежности и дополнительных выгод** | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | № проекта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | | | | | |
| 3 | Оптимальный объем реализации проектов, кВт(м2) | 0.00 | 0.00 | 5000.00 | 0.00 | 22000.00 | 0.00 | | | | | | | |
| 4 | Кап.затраты на проект, млн.грн | 0.00 | 0.00 | 8.00 | 0.00 | 22.00 | 0.00 | | | | | | | |
| 5 | Максимальный объем реализации проектов,кВт(м2) | 10000.00 | 15000.00 | 5000.00 | 3000.00 | 50000.00 | 100000.00 | | | | | | | |
| 6 | Удельные кап.затраты по проекту, грн/кВт(грн/м2) | 400.000 | 800.000 | 1600.000 | 4000.000 | 1000.000 | 1000.000 | | | | | | | |
| 7 | Удельная годовая экономия по проекту, грн/кВт(грн/м2) | 200.000 | 300.000 | 500.000 | 800.000 | 150.000 | 120.000 | Σ | | | | | | |
| 8 | Рейтинг проекта по экономичности (срок окупаемости , лет ) | 2.000 | 2.667 | 3.200 | 5.000 | 6.667 | 8.333 | 27.867 | | | | | | |
| 9 | Рейтинг проекта по надежности | 9.000 | 9.000 | 9.000 | 9.000 | 3.000 | 9.000 | 48.000 | | | | | | |
| 10 | Рейтинг проекта по дополнительным выгодам | 9.000 | 9.000 | 6.000 | 7.000 | 9.000 | 4.000 | 44.000 | | | | | | |
| 11 | Усредненный рейтинг проекта | 6.667 | 6.889 | 6.067 | 7.000 | 6.222 | 7.111 | | | | | | | |
| 12 | Целевая функция | 4854395.65 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Фактические затраты,млн.грн | 30.00 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Распологаемые финансовые ресурсы,млн.грн | 30.00 | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Необходимый объем финансирования,млн.грн | 186.00 | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | |

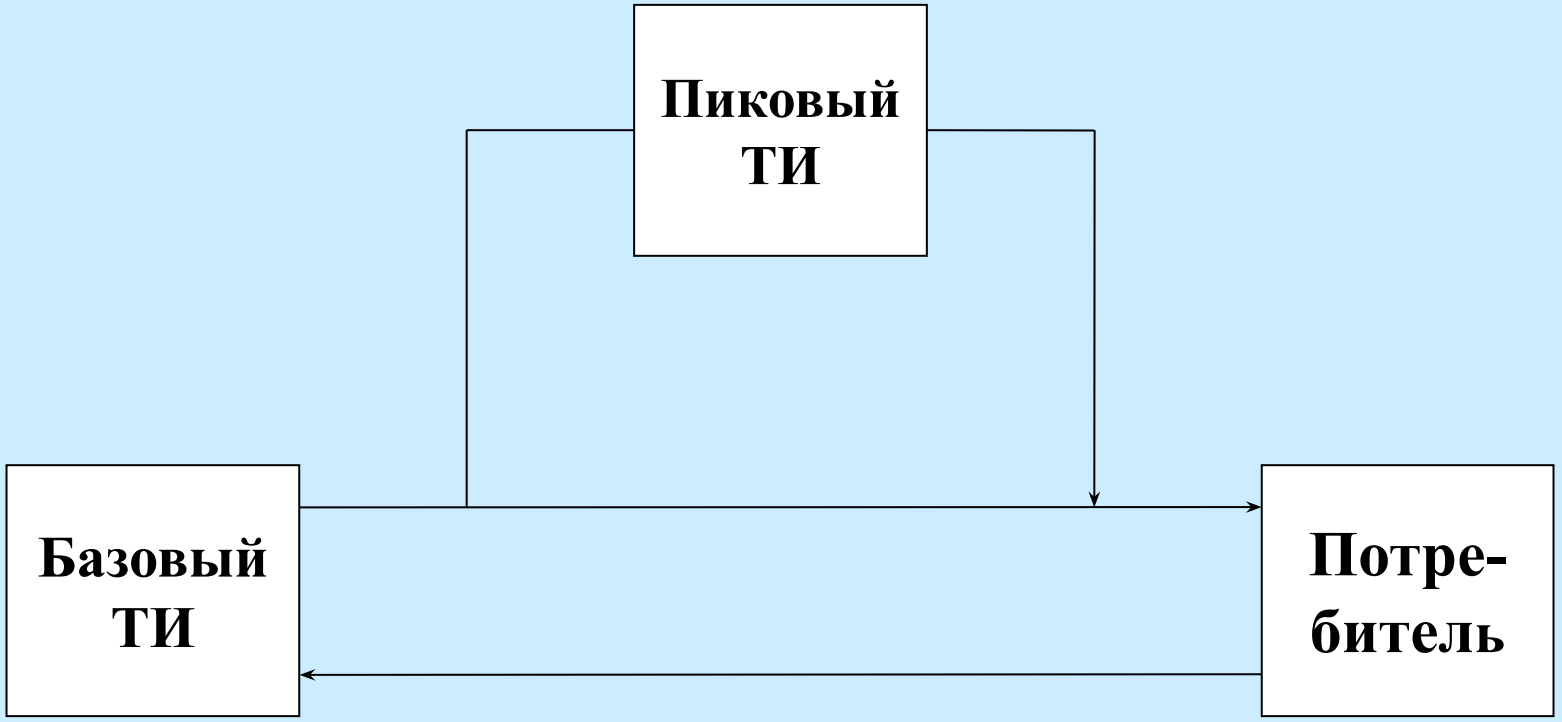
# Влияние располагаемого объема финансирования на его распределение между проектами



# Оптимальное распределение установленной мощности в системах отопления с базовым и пиковым источником тепловой энергии.

В качестве базовых тепловых источников могут рассматриваться тепловые насосы, конденсационные котлы или котлы на биотопливе, а в качестве пиковых тепловых источников – традиционные газовые котлы или электрокотлы. В качестве критерия оптимизации использована величина суммарных затрат за весь период эксплуатации оборудования.

# СТ с базовым и пиковым ТИ



# Характеристика тепловых источников

| ТИ | Показатель энергетической эффективности | Удельные капитальные затраты, грн./кВт | Цена используемого ТЭР, грн./кВт · ч | Целесообразный режим использования |
|---|---|---|---|---|
| Газовый котел | К.п.д.= 90% | 500 | Природный газ 0,30 | Базовый, пиковый |
| Газовый конденсационный котел | К.п.д.=106% | 1000 | Природный газ 0,30 | Базовый |
| Электрический котел | К.п.д.=90% | 300 | Электроэнергия 0,70 | Пиковый |
| Тепловой насос | COP= 2,5-4 | 2500 | Электроэнергия 0,70 | Базовый |
| Котел на торфе | К.п.д.= 88% | 1600 | 0,09 | Базовый |

# К оптимизации выбора установленной мощности базового и пикового ТИ (ТН+газ.котел)

# Публикации

Никитин Е.Е Моделирование показателей технико-экономической эффективности централизованных систем теплоснбжения с водогрейными котлами. // Пробеми загальної енергетики. Вып.1(21), 2010, С.32-39

Никитин Е.Е. Оптимальное распределение установленной мощности в системах отопления с базовым и пиковым источником тепловой энергии // Промышленная теплотехника. Том 32,№3,2010

Никитин Е.Е. Оптимизация выбора энергоэффективных проектов модернизации систем теплоснабжения в условиях финансовых ограничений// Пробеми загальної енергетики. Вып.3(26), 2011, С.25-32.

# *Спасибо за внимание*


## Институт газа НАН Украины

**Тел./факс: 455 6173**

**E-mail: en@iceet.kiev.ua**