

# **Энергоэффективность инженерных систем промышленных предприятий**

Мельников В.М., доцент, к.т.н.,

Стариков А.Н., доцент, к.т.н.,

Карев Д.С., аспирант,

Мокроусов В.С., аспирант,

Рожков А.А., аспирант

Владимирский государственный университет

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция и гидравлика»

Кафедра «Информационные системы и информационный

менеджмент»

## Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации

- Статья 15. Энергетическое обследование
- 1. Энергетическое обследование может проводиться в отношении продукции, технологического процесса, а также юридического лица, индивидуального предпринимателя.
- 2. Основными целями энергетического обследования являются:
  - 1) получение объективных данных об объеме используемых энергетических ресурсов;
  - 2) определение показателей энергетической эффективности;
  - 3) определение потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
  - 4) разработка перечня типовых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и проведение их стоимостной оценки.
- **3. По соглашению между лицом, заказавшим проведение энергетического обследования, и лицом, проводящим энергетическое обследование, может предусматриваться разработка по результатам энергетического обследования отчета, содержащего перечень мероприятий по**

ФГБОУ ВПО

Владимирский государственный университет

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ  
КАК СПОСОБ РАЗРАБОТКИ  
МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ  
ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

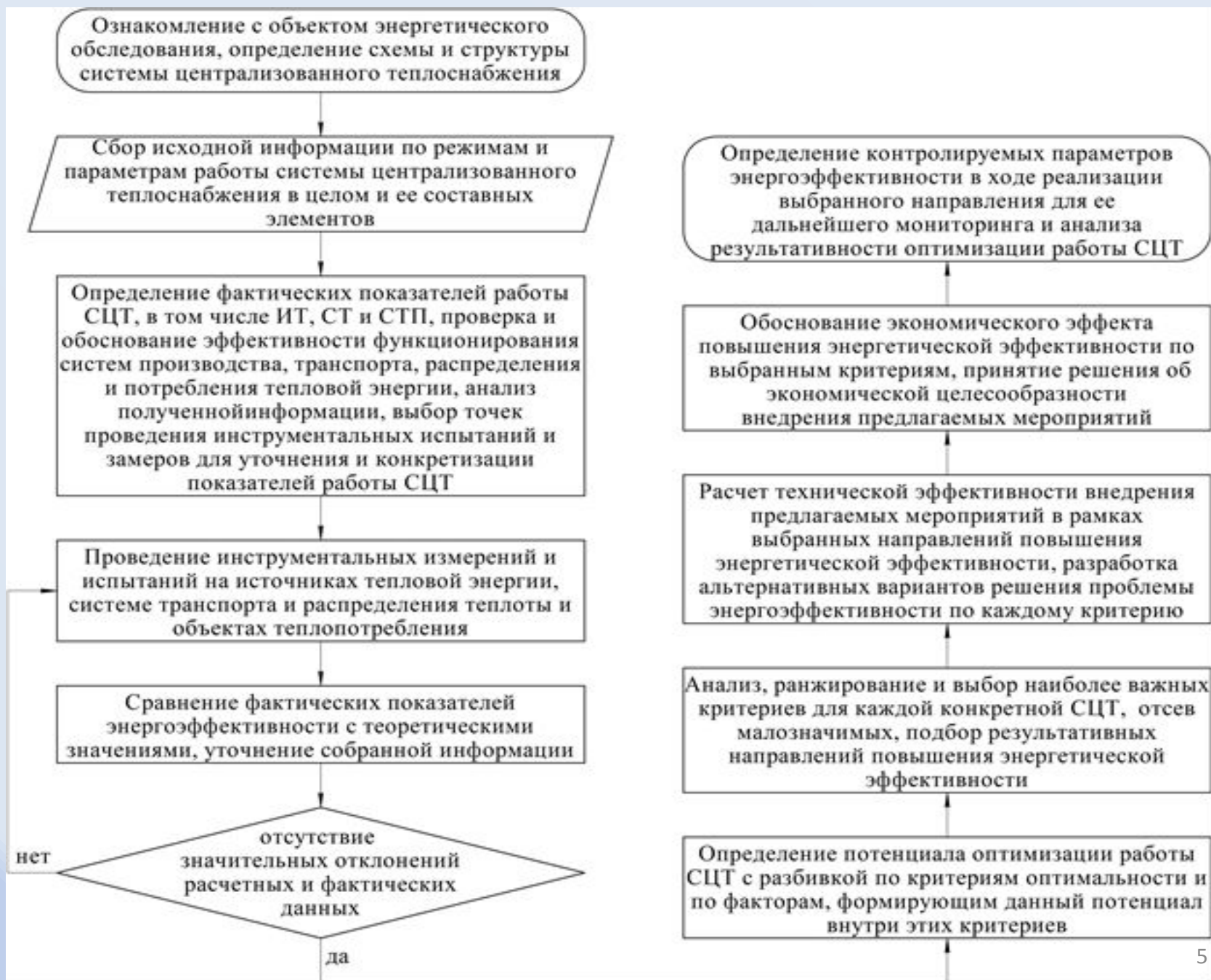
Аспирант кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и гидравлика»

Карев Дмитрий Сергеевич

Доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и гидравлика»

Мельников Владимир Михайлович

Для разработки оптимизационной модели существующей системы централизованного теплоснабжения (СЦТ) с целью выработки мер по повышению энергетической эффективности ее работы необходимо произвести обследование и сбор данных о фактических показателях работы СЦТ на данном этапе. Для осуществления энергетического обследования предлагается следующий алгоритм:



# 1 Общая постановка задачи

Требуется рассчитать температурное поле и теплопотери для одиночного трубопровода при воздушной прокладке или проложенного бесканально в грунте.

Уравнение теплопроводности, описывающее распространение тепла в материале трубы и грунте — это уравнение в частных производных

$$C\rho\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda\nabla T), \quad \mathbf{r} \in \Omega, t \geq 0, \quad (1)$$

где  $T = T(\mathbf{r}, t)$  — поле температуры,  $\mathbf{r}$  — радиус-вектор,  $\mathbf{r} = xe_1 + ye_2 + ze_3$  в декартовой системе координат,  $t$  — время,  $C$  — теплоёмкость,  $\rho$  — плотность,  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности,  $\nabla$  — символический вектор Гамильтона,  $\nabla = \mathbf{e}_1\frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{e}_2\frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{e}_3\frac{\partial}{\partial z}$  в декартовой системе координат, таким образом  $\nabla$  — градиент, а  $\nabla \cdot$  — дивергенция,  $\cdot$  — скалярное произведение векторов. Т. е. в декартовой системе координат

$$C\rho\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right).$$

Уравнение (1), рассматриваемое в некоторой ограниченной пространственной области  $\Omega$  для моментов времени  $t \geq 0$ , необходимо дополнить начальными данными

$$T(\mathbf{r}, 0) = T_0(\mathbf{r}), \quad \mathbf{r} \in \Omega, \quad (2)$$

- $T_{int} = 0.000 + 0.000 i$
- $T_{ext} = 1.000 + 0.000 i$
- $\omega = 1.745329e-003$  - круговая частота изменения температуры
- $P = 2 * \pi / \omega = 3600.0 \text{ сек} = 0 \text{ суток } 01 \text{ час } 00 \text{ мин } 00.0 \text{ сек}$  - период изменения температуры
- $f = 1/P = \omega / (2 * \pi) = 2.777778e-004$  - частота колебаний температуры в герцах
- #####
- $0.000000000000 + 0.000000000000 i$
- $0.4516525959712 - 0.0002108387541 i$
- $0.4739262011658 - 0.0002156547110 i$
- $0.4961709362131 - 0.0002196481372 i$
- $0.5183868758652 - 0.0002227817905 i$
- $0.5405740945828 - 0.0002250185237 i$
- $0.5627326665366 - 0.0002263212842 i$
- $0.5848626656088 - 0.0002266531132 i$
- $0.6069641653946 - 0.0002259771457 i$
- $0.6290372392034 - 0.0002242566100 i$
- $0.6510819600601 - 0.0002214548271 i$
- $0.6730984007071 - 0.0002175352103 i$
- $0.6950866336049 - 0.0002124612649 i$
- $0.7170467309341 - 0.0002061965881 i$
- $0.7389787645963 - 0.0001987048678 i$
- $0.7608828062157 - 0.0001899498828 i$
- $0.7827589271405 - 0.0001798955026 i$
- $0.8046071984440 - 0.0001685056861 i$
- $0.0228671679349 - 0.0000132956836 i$

ФГБОУ ВПО

Владимирский государственный университет

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ  
ОЦЕНКА НАПРАВЛЕНИЙ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

Аспирант кафедры «Информационные системы и информационный менеджмент»

Мокроусов Валерий Сергеевич

Докторант кафедры «Информационные системы и информационный менеджмент»

Мельников Владимир Михайлович



**Цель работы.** Повышение энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения промышленных предприятий.

### **Задачи.**

1. Разработка модели описания направлений по энергосбережению в виде специализированного графа.
2. Построение методик по оценке потенциала энергосбережения системы теплоснабжения и формирование состава показателей многокритериальной оценки мероприятий.
3. Разработка математической модели оптимизации технологических потерь при передаче тепловой энергии.
4. Построение методик выбора оптимального решения на основе применения метода анализа иерархий и метода анализа среды функционирования.
5. Проведение экспериментальных исследований по определению экономии теплоэнергии на ОАО «Владимирский химический завод».

## Вид деятельности

## Результат работы

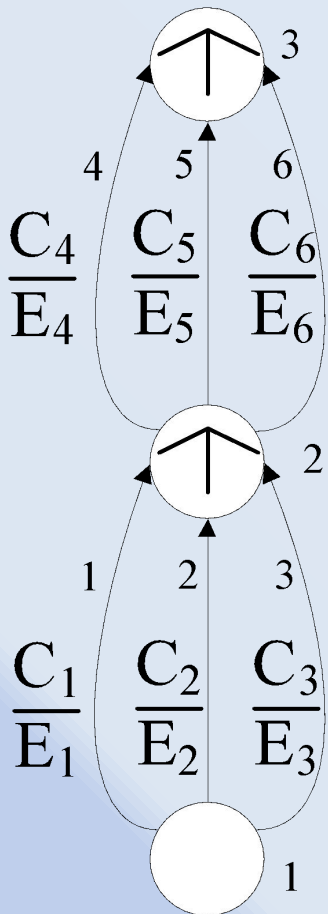


**Среди основных задач ЭО можно выделить:**

- установление фактического состояния энергопотребления и энергоиспользования на предприятии;
- определение рационального энергопотребления при генерировании и транспортировке энергии, а также в производственных процессах и установках;
- выявление причин возникновения потерь, определение значений и резервов экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);
- разработка рекомендаций по повышению эффективности использования ТЭР.

# Специализированный граф системы теплоснабжения предприятия

Для представления мероприятий по энергосбережению в виде удобном для поиска решения задачи оптимизации значения потерь теплоэнергии удобно использовать специализированный граф.



**Вершины:** 1 - выход тепловой энергии;  
2 - отопительный прибор, как приемник;  
3 - тепловой узел здания.

**Дуги:** 1. замена чугунного отопительного прибора на биметаллический радиатор;  
2. промывка радиатора отопления;  
3. окраска отопительного прибора в темный цвет.  
4. установка терморегуляторов на радиаторах отопления  
5. замена стальных трубопроводов на полипропиленовые;  
6. установка балансировочных клапанов на стояках отопления.

Каждое из этих мероприятий имеет свои затраты - **С** (стоимость внедрения мероприятия) и свой эффект - **Е**.

# Математическая модель оптимизации потерь тепловой энергии

$$\left\{ \begin{array}{l} D = D_1 \cap D_2 \\ F(x) = \sum_{i=1}^n E_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m E_2(i) \cdot x_2(i) \longrightarrow \max \\ \sum_{i=1}^n C_1(i) \cdot x_1(i) + \sum_{i=1}^m C_2(i) \cdot x_2(i) \leq K \end{array} \right.$$

$D_1, D_2$  - множества мероприятий по энергосбережению

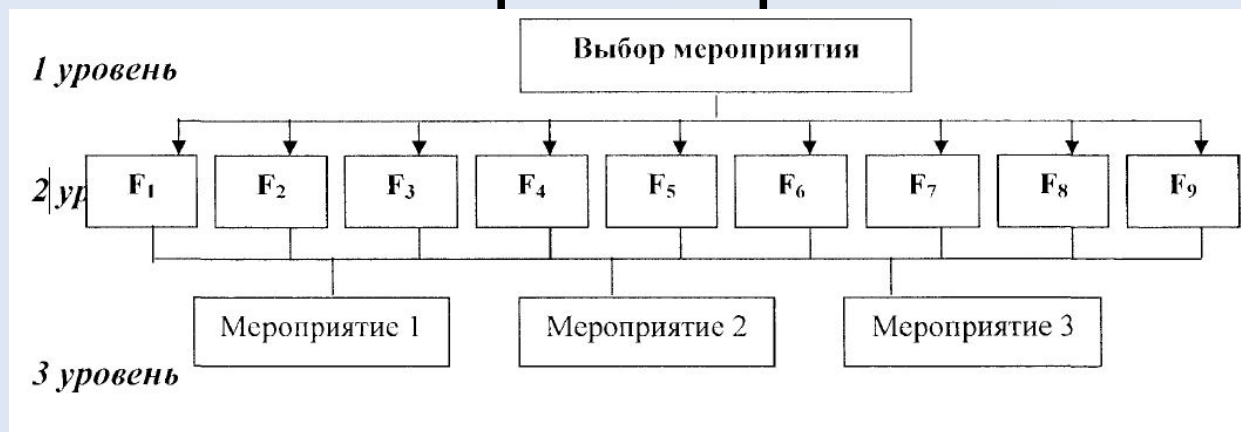
$E_1(i), E_2(i)$  - эффекты от внедрения мероприятий множества  $D_1, D_2$

$C_1(i), C_2(i)$  - стоимости внедрения мероприятий множества  $D_1, D_2$

$x_1(i), x_2(i)$  - элементы которых  $x_i=1$ , если мероприятие с номером  $i$  будет выбрано для внедрения, в противном случае (мероприятие не выбрано)  $x_i=0$

$K$  – сумма финансирования мероприятий по энергосбережению

# Показатели эффективности мероприятий по энергосбережению



## Иерархия общей оценки мероприятий

- F<sub>1</sub> – капитальные затраты (стоимость);
- F<sub>2</sub> – величина экономии тепловой энергии;
- F<sub>3</sub> – эксплуатационные расходы;
- F<sub>4</sub> – длительность работ по внедрению;
- F<sub>5</sub> – удобство в эксплуатации;
- F<sub>6</sub> – долговечность;
- F<sub>7</sub> – повышение надежности;
- F<sub>8</sub> – снижение времени обслуживания и ремонта оборудования;
- F<sub>9</sub> – требования к квалификации обслуживающего персонала.

# Методы многокритериальной оценки

## Метод анализа иерархий:

- 1) Определение цели исследования (формулировка задачи).
- 2) Построение иерархии рассматриваемой задачи.
- 3) Проведение экспертного оценивания на основе парного сравнения компонентов иерархии.
- 4) Математическая обработка полученных суждений - вычисление

покальных приоритетов и оценка качества экспертных суждений.

## Метод анализа среды функционирования

### (метод DEA):

для определения величины обобщённого показателя

эффективности  $f_n$  на основе методологии DEA для каждого  $n$ -ого из  $N$  объектов строится модель оценки в виде следующего максимизируемого

$$f_n = \max_{u_{in}, v_{jn} \in G} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{kn}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n} + \dots + v_{mn} \cdot X_{mn}},$$
$$n=1, 2, \dots, N$$

где  $u_{in}$ ,  $v_{jn}$  - весовые коэффициенты выходных и входных переменных полагающиеся неизвестными.

ФГБОУ ВПО

Владимирский государственный университет

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ  
ВОЗДЕЙСТВИЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ НА  
ТЕМПЕРАТУРУ В ОТАПЛИВАЕМОМ  
ПОМЕЩЕНИИ

Аспирант кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и гидравлика»

Рожков Алексей Александрович

Доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и гидравлика»

Мельников Владимир Михайлович

# РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТПУСКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЮ В УЗЛЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ АБОНЕНТА К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Решение задачи энергоэффективного регулирования необходимо разложить на две составляющие:

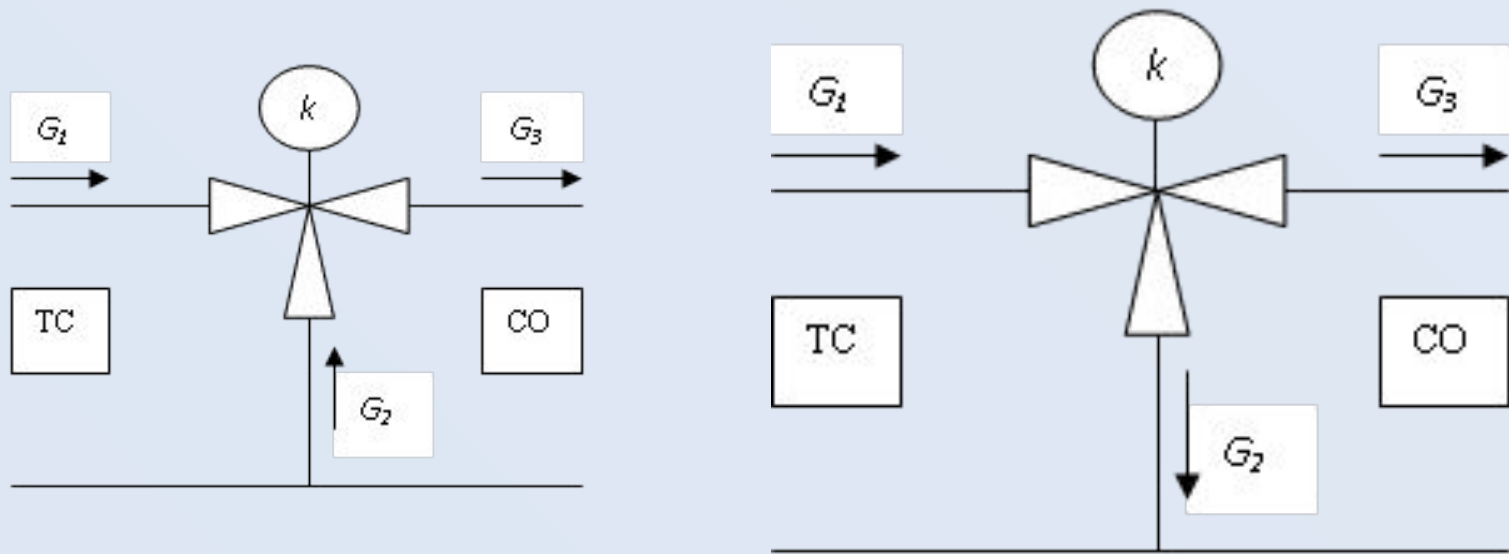
1. **Точное** определение количества тепловой энергии необходимого для поддержания комфортных условий (температуры внутреннего воздуха) в отапливаемом помещении, вызванного изменением окружающих условий (температуры наружного воздуха).

2. Подать в систему теплоснабжения **минимальное** количество тепловой энергии, необходимое для поддержания комфортных условий в помещении на требуемых условиях.

- Такой подход направлен на достижение более тонкого и эффективного регулирования тепловой энергии, позволяющего постоянно поддерживать комфортные условия в отапливаемом помещении, а также экономить тепловую энергию, исключая явления «недотоп» и «перетопов» потребителей.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{G}{c} \left( \frac{k}{\Delta \tau_1} + \frac{(1-k)}{\Delta \tau_2} \right) \frac{d}{dt} = \frac{G}{c} \left( \frac{1}{\Delta \tau_1} \frac{dk}{dt} + \frac{1}{\Delta \tau_2} \frac{d(1-k)}{dt} \right) = \frac{G}{c} \left( \frac{1}{\Delta \tau_1} \frac{dk}{dt} - \frac{1}{\Delta \tau_2} \frac{dk}{dt} \right)$$





**Рис.2 Фрагменты схемы подключения внутренней системы отопления к тепловой сети**

*a* – качественное регулирование; *б* – количественное регулирование

Обозначения: - количество тепловой энергии [Вт], переносимой теплоносителем при изменении его температуры на  $[0C]$  при расходе  $[м^3/ч]$ ; - коэффициент удельной теплоемкости  $[Вт \cdot ч/кг \cdot 0C]$ . Индексами 1,2,3 обозначим, соответственно, параметр

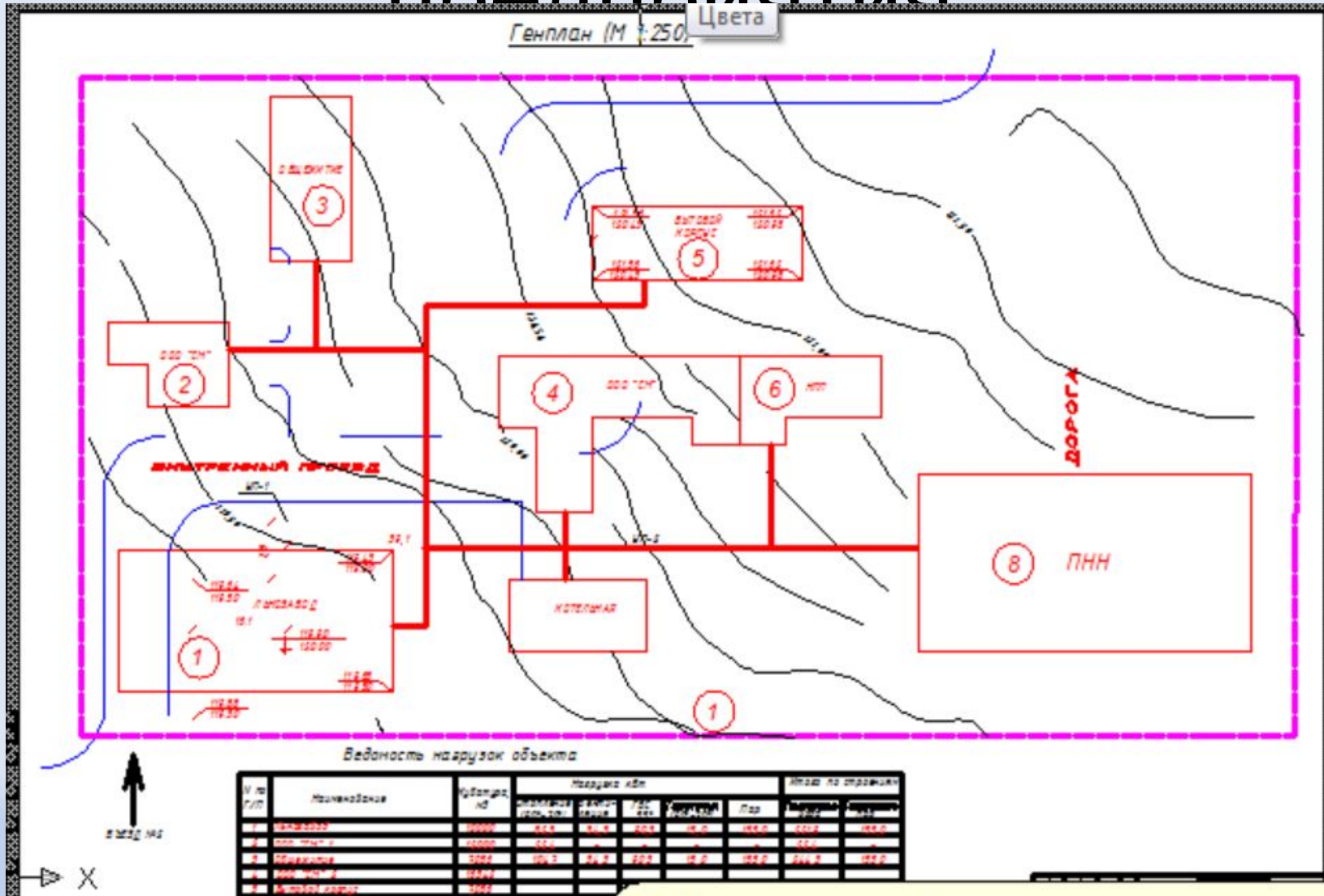
ФГБОУ ВПО

Владимирский государственный университет

# Создание энергетической модели предприятия льняных тканей

Балашов Евгений, Курникова Анастасия,  
Рачков Максим, студенты гр. ТГВ-108  
Доцент кафедры ТГВиГ Мельников В.М.

# Генеральный план предприятия



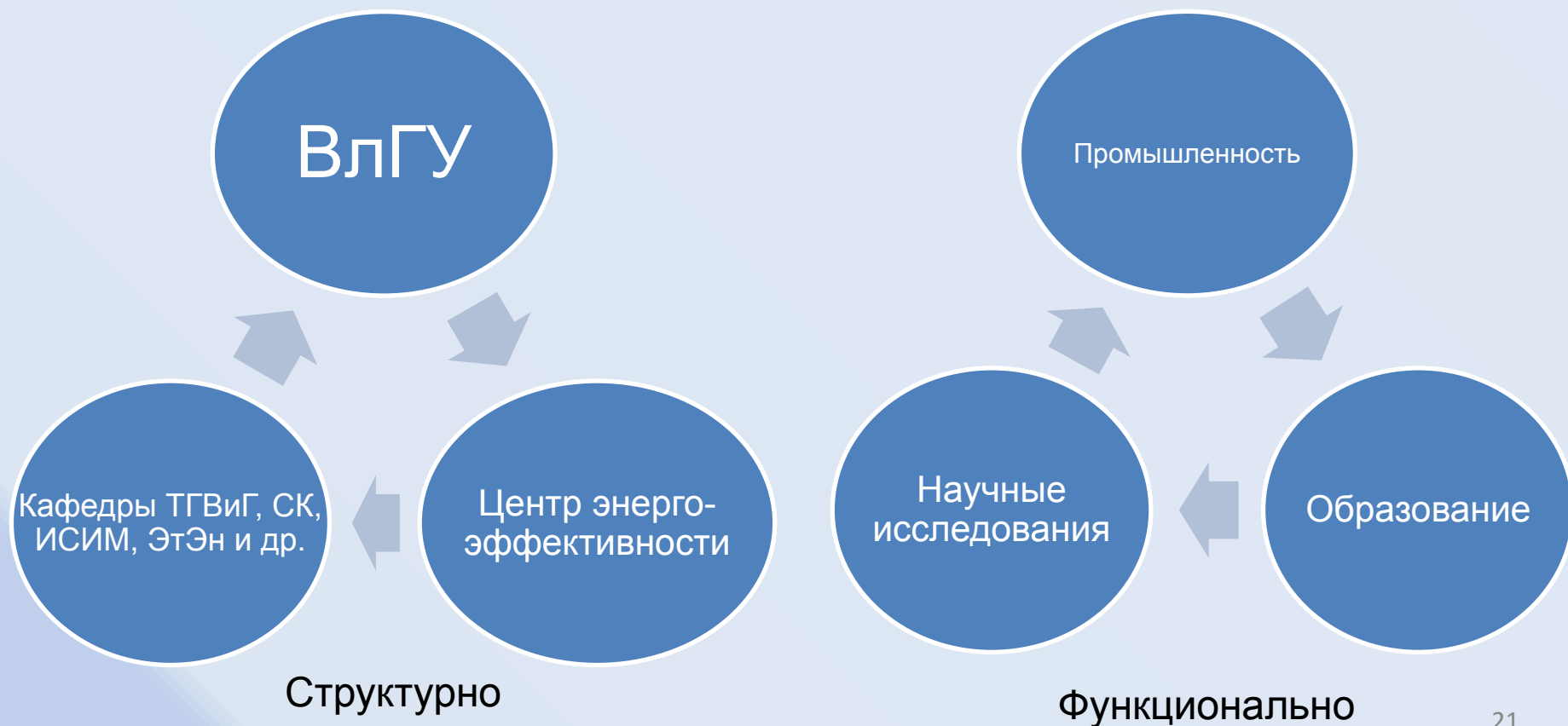
# Направления исследования

1. Режимные карты котлового оборудования
2. Разработка и патентование утилизирующего котла для горячего водоснабжения
3. Создание структурной схемы инженерных сетей предприятия
4. Исследование энергоэффективности предприятия
5. Построение модели энергетических потоков



# Идеология проекта

- Потребности современных высокотехнологичных предприятий и задачи ВУЗа в области энергоаудита совпадают
- ВлГУ создал центр энергоэффективности (приказ от 09 февраля 2012 года, руководитель Рощина С.И.) и формирует профессиональную команду;
- ВУЗ (ВлГУ) обладает обширной научной и технической базой с богатой историей, опытом, наработками в областях, связанных с направлением «Энергоэффективность»



**Спасибо за внимание**