

Одесская государственная академия строительства и архитектуры



**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕЛПОСНАБЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ
КОНТАКТНО-РЕКУПЕРАТИВНОЙ ТЕРМОТРАНСФОРМАЦИИ
ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ**

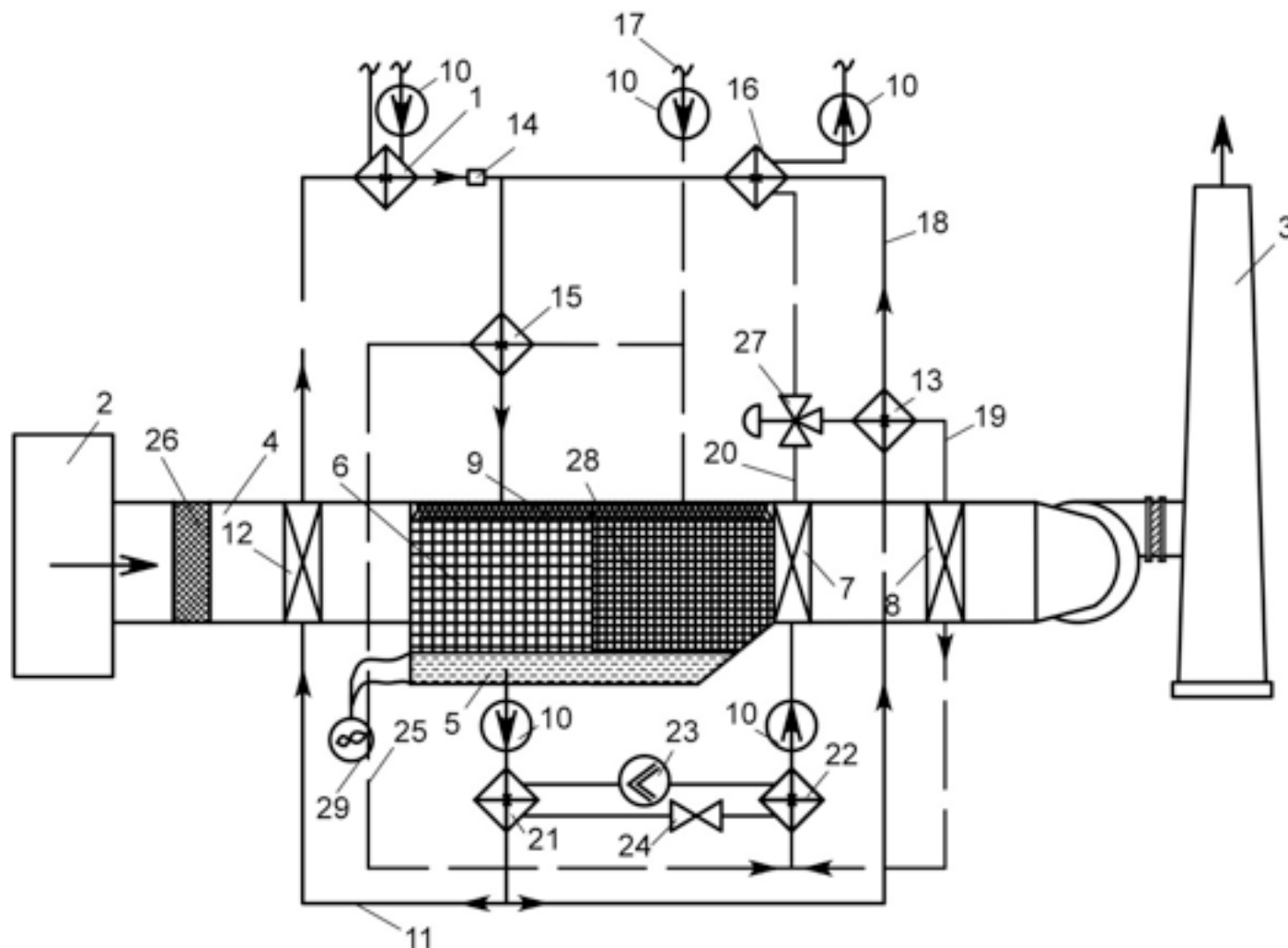
Суть проблемы

- Низкая эффективность использования первичного топлива (до 45%);
- Потери теплоты с отработанными газами составляют 30-35%;
- Топливная составляющая в стоимости конечной продукции достигает 60%.

Варианты решения

- Базовая система контактно-рекуперативного отбора и трансформации теплоты из отходящих газов;
- Усовершенствованная система контактно-рекуперативного отбора и трансформации теплоты из отходящих газов.

Схема системы контактно-рекуперативного отбора и трансформации теплоты из отходящих газов вращающихся печей



1-теплообменник нагрева воды для отопительно-вентиляционных систем; 2-газоход после традиционной очистки отработанных газов из вращающейся печи; 3-дымовая труба; 4-газоход после тонкой очистки отработанных газов; 5-поддон для сбора воды в контактной камере; 6-первая контактная камера предварительного увлажнения; 7-теплообменник глубокого охлаждения газа; 8-подогреватель газа перед дымовой трубой; 9-ороситель; 10-циркуляционные насосы; 11, 18, 19, 20 - трубопроводы; 12 - теплообменник предварительного охлаждения газов; 13, 15, 16 -теплообменники; 14-регулятор соотношения расходов; 17-трубопровод подачи исходной холодной воды; 21-конденсатор; 22-испаритель; 23-компрессор; 24-дрессельный вентиль; 25-трубопровод подачи воды на горячее водоснабжение; 26-фильтр тонкой очистки; 27-трехпозиционный регулятор расхода жидкости; 28-вторая контактная камера; 29-дренажный участок технологического теплотребления с регенерацией воды в поддоне 5.

Аналитическое определение энергетической эффективности преобразования тепловой энергии

Зависимость для определения коэффициента преобразования рекуперативно-термотрансформаторной системы

$$\varphi = \frac{1}{1 - \frac{Q_{II}}{Q_K}}$$

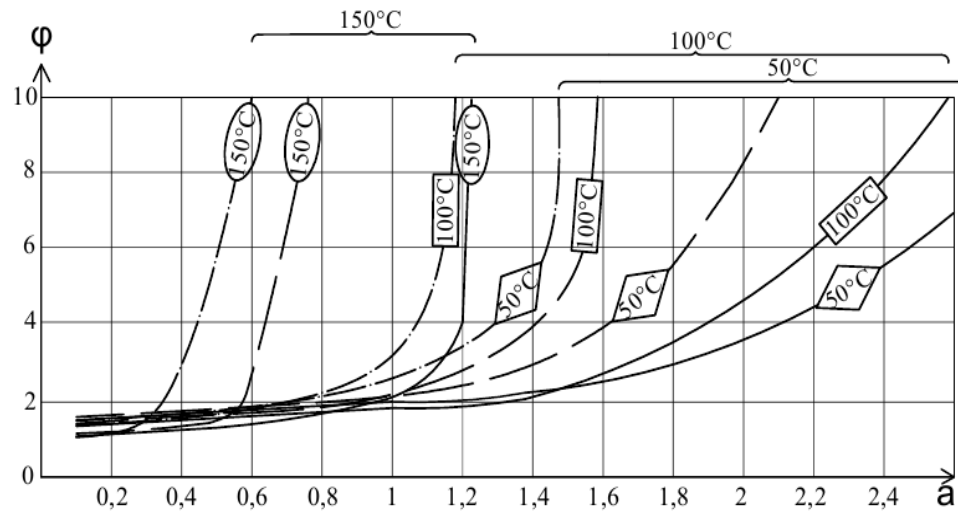
Зависимость для определения охлаждения циркулирующей воды через испаритель термотрансформаторного контура

$$Q_{II} = G_{ГВ} c_B \left\{ \left[\left(\frac{G_{ГВ}}{G_{ХВ}} + j \right) \cdot \left[t_{И,К} + \frac{a}{(1+j)c_B} \left(\beta + \frac{G_{ХВ}}{G_{ГВ}} \right) \cdot (c_{Г}(t_{Г} - (1+\mu) \cdot (t_{Г} - t_{УХ}) - 2t_{Г,Д} + mt_{В,Г})) \right] + \left[c_{II} d_{II} (t_{Г} - (1+\mu) \cdot (t_{Г} - t_{УХ}) - 2t_{Г,Д} + m \cdot t_{В,Г}) - c_{Ж} t_{Ж} (d_{II,Г} - d_{II,Д}) \right] + \frac{G_{ГВ}}{G_{ХВ}} (\beta t_o + t_{ХВ}) \right] - (1+j)t_{И,К} \right\}$$

Уравнение для определения теплового потока нагрева воды в конденсаторе термотрансформаторного контура

$$Q_K = (1+\beta)G_{ГВ} c_B \left\{ t_{Г} + \Delta t - \frac{a}{c_B} \left(1 + \frac{G_{ХВ}}{\beta G_{ГВ}} \right) \cdot \left[c_{Г} \bar{\Delta} t_{IIo} \cdot (t_{Г} - t_{УХ}) + d_{II} (c_{II} t_{II} - c_{II,6} (t_{Г} - \bar{\Delta} t_{IIo} (t_{Г} - t_{УХ}))) \right] - t_M \right\}$$

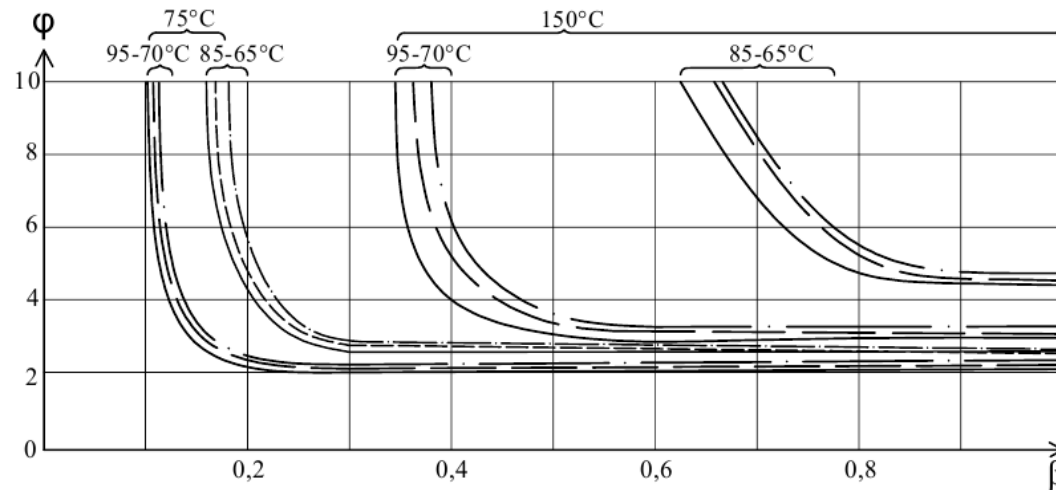
Рациональные режимы энергоэффективной утилизации теплоты для теплонасосных систем теплоснабжения



Зависимость коэффициента преобразования от соотношения расходов отработанных газов и воды, нагреваемой в контактной камере

— при $\beta=0,1$; - - - при $\beta=0,5$; - · - при $\beta=0,9$

◇ 50 - при $t_r=50^\circ\text{C}$; □ 100 - при $t_r=100^\circ\text{C}$; ○ 150 - при $t_r=150^\circ\text{C}$

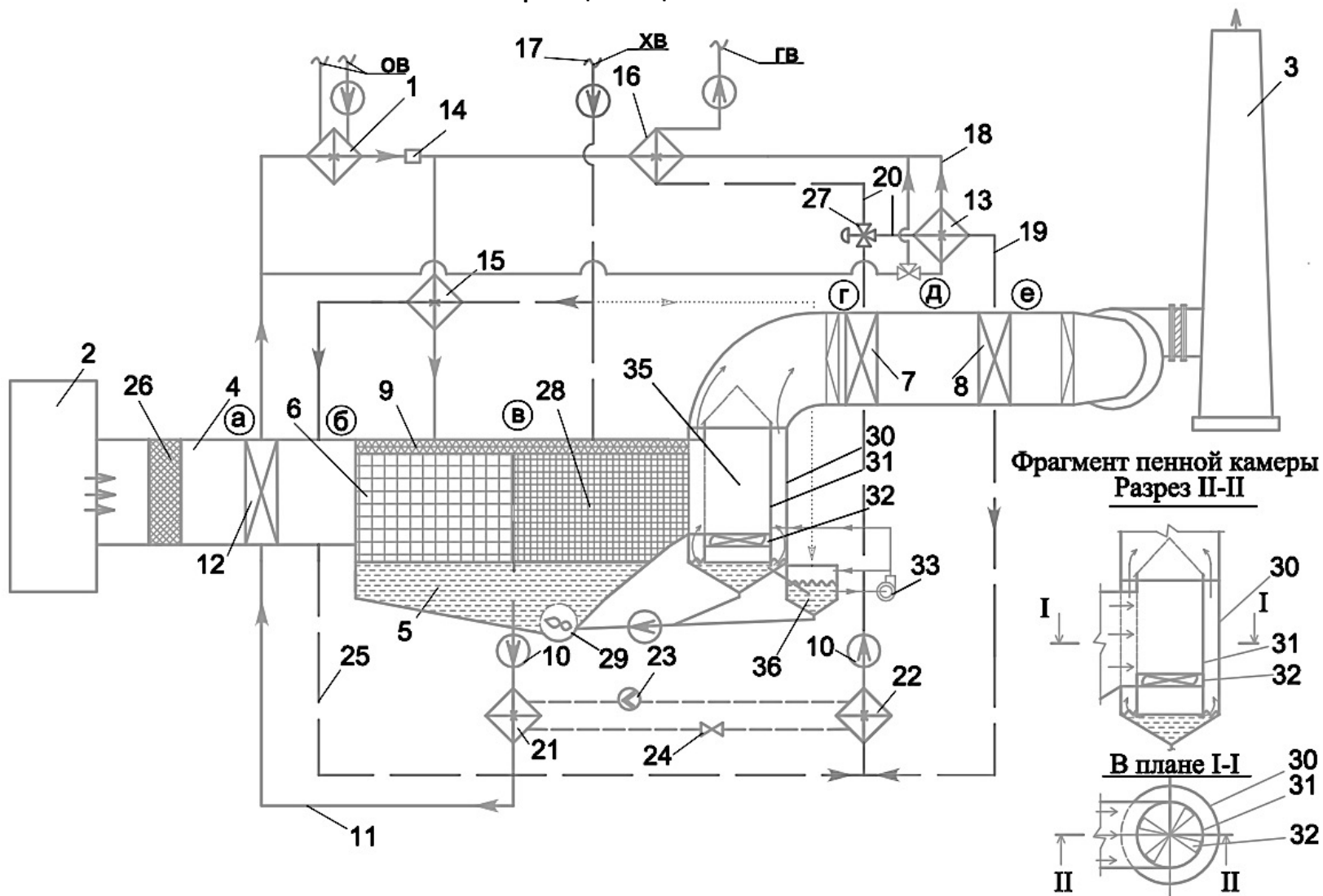


Зависимость коэффициента преобразования от соотношения расхода теплоносителя в системе отопления и горячего водоснабжения при начальной температуре газов $t_r=75$ и 150°C

— при $\theta=0,4$; - - - при $\theta=0,5$; - · - при $\theta=0,6$

Результаты исследования указывают также на необходимость совершенствования базового варианта предлагаемой системы, в направлении более рационального использования имеющегося потенциала исходной температуры газов в процессе нагревания воды после контактной камеры со снижением составляющей мощности теплонасосной установки, а также целесообразности дальнейшего определения ее реальной эффективности относительно базовой системы.

Схема усовершенствованной системы контактно-рекуперативного отбора с трансформацией теплоты отработанных газов вращающихся печей



1 - теплообменник нагрева воды для отопительно-вентиляционных систем; 2 - газоход после традиционной очистки отработанных газов из вращающейся печи; 3 - дымовая труба; 4 - газоход после тонкой очистки отработанных газов; 5 - поддон для сбора воды в контактной камере; 6 - первая контактная камера предварительного увлажнения; 7 - теплообменник глубокого охлаждения газа; 8-подогреватель; 9-ороситель; 10-циркуляционные насосы; 11, 18, 19, 20 -трубопроводы; 12-теплообменник предварительного охлаждения газов; 13, 15, 16 - теплообменники; 14-регулятор соотношения расходов; 17-трубопровод подачи исходной холодной воды; 21-конденсатор; 22-испаритель; 23-компрессор; 24-дрессельный вентиль; 25-трубопровод подачи воды на горячее водоснабжение; 26-фильтр тонкой очистки; 27-трехпозиционный регулятор расхода жидкости; 28-вторая контактная камера; 29 – дренажный участок технологического теплоснабжения с регенерацией воды; 30 – внешний цилиндрический элемент; 31 – внутренний цилиндрический элемент; 32 – завихритель; 33 – шламный (циркуляционный) насос; 34 – промежуточная емкость; 35 – завихрительное устройство, 36 – расширительный бак.

Аналитическое определение энергетической эффективности преобразования тепловой энергии

Зависимость для определения коэффициента преобразования рекуперативно-термотрансформаторной системы

$$\varphi = \frac{1}{1 - \frac{Q_{и}}{Q_{к}}}$$

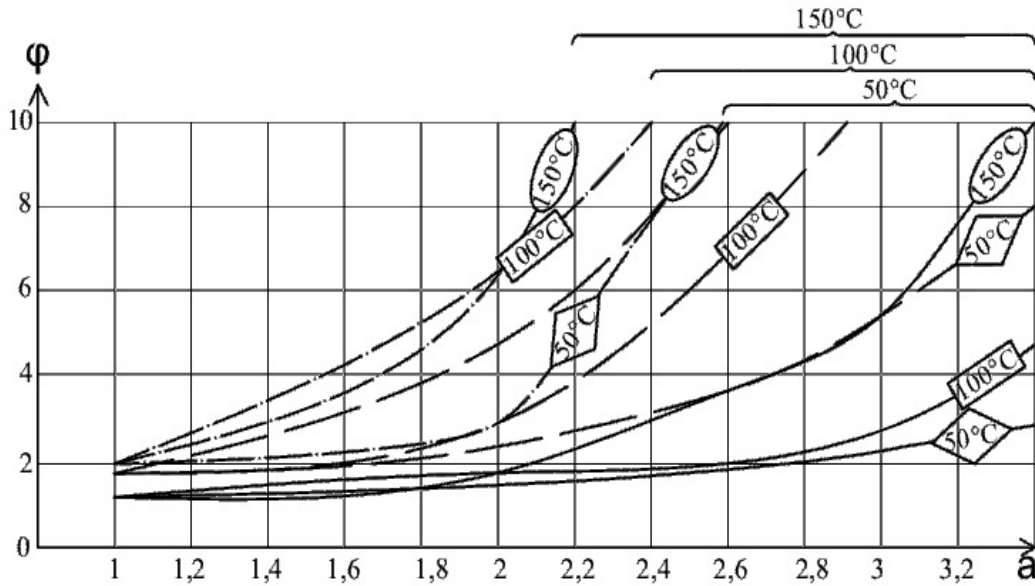
Зависимость для определения охлаждения циркулирующей воды через испаритель термотрансформаторного контура

$$Q_{и} = \left[\left\{ \frac{1}{[1 + \Theta(1 + \beta)]} (1 + \beta + j) + j \right\} \cdot \left[t_{и,к} + \frac{a}{(1 + j)c_B} (\beta + [1 + \Theta(1 + \beta)]) \cdot \{ t_{г} - (1 + \mu) \cdot (t_{г} - t_{у,х}) - 2t_{г,д} + mt_{в,г} \} \cdot (c_{г} + c_{п} d_{п}) - c_{ж} t_{ж} (d_{п,г} - d_{п,д}) \right] + \frac{(\beta t_{о} + t_{XB})}{[1 + \Theta(1 + \beta)]} \right] - (1 + j)t_{и,к}$$

Уравнение для определения теплового потока нагрева воды в конденсаторе термотрансформаторного контура

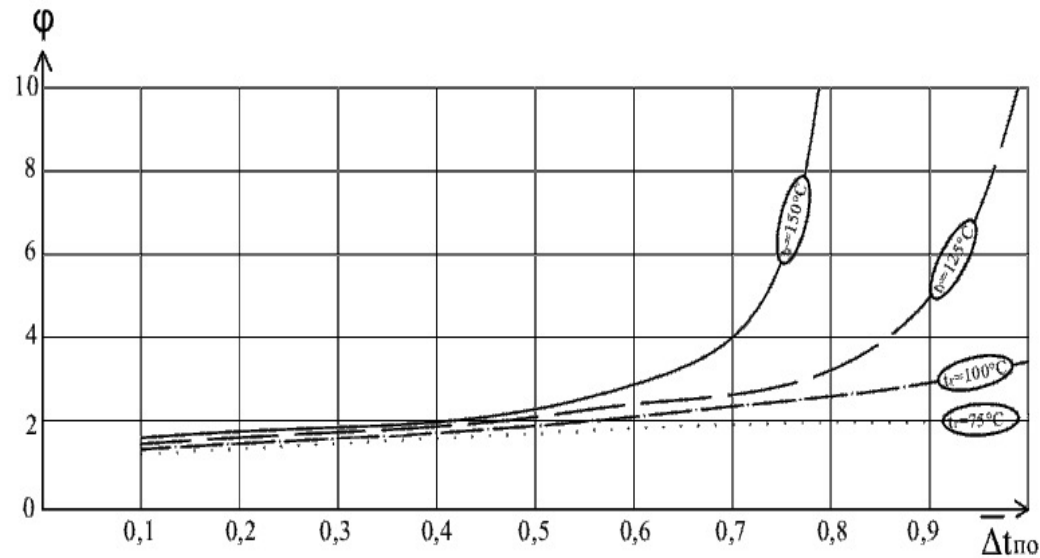
$$Q_{к} = (1 + \beta + j) \left\{ t_{г,от} + \Delta t - \frac{a}{c_B (1 + \beta + j)} \{ \beta + [1 + \Theta(1 + \beta)] \} \cdot \left[c_{г} \bar{\Delta} t_{по} \cdot (t_{г} - t_{у,х}) + d_{п} (c_{п} t_{п} - c_{п,б} (t_{г} - \bar{\Delta} t_{по} (t_{г} - t_{у,х}))) \right] - t_{м} \right\}$$

Рациональные режимы энергоэффективной утилизации теплоты для теплонасосных систем теплоснабжения



Зависимость коэффициента преобразования от соотношения расходов отработанных газов и воды, которая нагревается в контактной камере

— при $\beta=0,1$; - - - при $\beta=0,5$; - · - · при $\beta=0,9$
 ◊ 50 - при $t_r=50^\circ\text{C}$; □ 100 - при $t_r=100^\circ\text{C}$; ○ 150 - при $t_r=150^\circ\text{C}$



Зависимость коэффициента преобразования от глубины предварительного охлаждения газа в рекуперативном теплообменнике 12

— при $t_r=150^\circ\text{C}$; - - - при $t_r=125^\circ\text{C}$;
 - · - · при $t_r=100^\circ\text{C}$; - $t_r=75^\circ\text{C}$

Спасибо за внимание!



д.т.н., проф., **В.Д. Петраш**; к.т.н., **Ю.Н. Полунин**