

3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1) анализ существования оптимального значения скорости воды в трубках конденсатора

- Увеличение скорости воды приводит к интенсификации процесса теплоотдачи от стенки трубки к охлаждающей воде, который лимитирует процесс теплопередачи, т.к. α при вынужденной конвекции меньше чем α при конденсации. Интенсификация со стороны меньшей теплоотдачи приводит к существенному росту коэффициента теплопередачи, что в свою очередь дает снижение потребной площади поверхности охлаждения (при постоянном тепловом потоке и температурном напоре), а значит, и кап. затраты в конденсатор уменьшатся.
- С другой стороны рост скорости приведет к повышению перепада давления на трубках конденсатора, а значит, к росту потребной мощности на прокачку воды. Это в свою очередь дает повышение кап. затрат в циркуляционный насос и недоотпуск электроэнергии, вследствие роста доли собственных нужд (при постоянной выработке электроэнергии).

Таким образом, рост скорости имеет положительный и отрицательный результат, следовательно, оптимальное значение скорости существует.

2) постановка граничных условий

- Задана турбина: $p_k = \text{const}$, $D_k = \text{const}$.
- Задана система технического водоснабжения: $t_1 = \text{const}$, $G_{\text{тв}} = \text{const}$.
- Вырабатываемая электрическая мощность постоянна: $N_e = \text{const}$.
- Капитальные затраты проекта проводятся в один год.
- Ликвидационная стоимость оборудования равна нулю.
- Основные технико-экономические показатели проекта (объем производства, тариф на продукцию, эксплуатационные издержки) постоянны в течение всего года.

3) технические ограничения на оптимизируемый параметр

- минимальная скорость: $\sim 0,5$ м/с – по условию отсутствия кислородной коррозии металла
- максимальная скорость: $\sim 5,0$ м/с – по условию отсутствия эрозийного износа внутренней поверхности труб

1) выбор критерия оптимизации

При введенных выше экономических ограничениях в качестве критерия оптимизации можно использовать технико-экономический (финансово-экономический) показатель проекта - суммарные дисконтированные затраты за срок службы $Z_{\text{ср}}$ или среднегодовые затраты $Z_{\text{ср.г}}$:

$$Z_{\text{ср}} = K + D_s \cdot I' \Rightarrow Z_{\text{ср.г.}} = \frac{Z_{\text{ср}}}{D_s} = E \cdot K + I \quad (1)$$

- K – капитальные затраты,
- I' – издержки без учета амортизационных отчислений,
- I – издержки с учетом амортизационных отчислений
- E – ставка дисконтирования
- D_s – сумма коэффициентов дисконтирования

3. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА (С ОБОЗНАЧЕНИЯМИ)

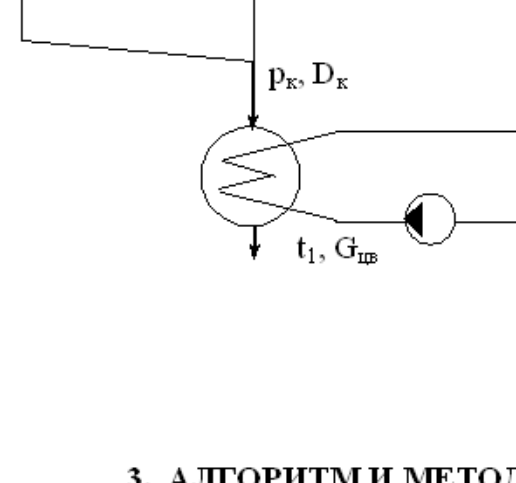


Рис.1. Расчетная схема оптимизируемой установки

3. АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

1) Построение целевой функции, основанной на критерии оптимизации суммарных дисконтированных затрат за срок службы $Z_{\text{ср}}$ или среднегодовых затрат $Z_{\text{ср.г}}$, проводится по методу базового варианта:

$$F(W) = \Delta Z_{\text{ср.г}}(W) = Z_{\text{ср.г}} - Z_{\text{ср.г}}^6 + Z_{\Delta N} \Rightarrow \text{минимум} \quad (2)$$

$$Z_{\Delta N} = (N_{\text{цн}} - N_{\text{цн}}^6) \cdot \tau_y \cdot Z_3 \quad (3)$$

$Z_{\Delta N}$ – затраты (доходы), приводящие рассматриваемые варианты к единому энергетическому эффекту при разных количествах отпускаемой электроэнергии

$$\Delta Z_{\text{ср.г}}(W) = E \cdot (K - K^6) + (I - I^6) + Z_{\Delta N} \quad (4)$$

$$I = I_{\text{т}} + I_{\text{к}} + I_{\text{пр}} \quad (5)$$

- $I_{\text{т}}$ – издержки на топливо;
- $I_{\text{к}}$ – издержки на амортизацию и ремонт оборудования;
- $I_{\text{пр}}$ – прочие издержки;

Принимаем, что рассматриваемые варианты идентичны по издержкам на прочие нужды. Топливные издержки от варианта к варианту остаются постоянными, т.к. вырабатываемая электрическая мощность неизменна.

$$I_{\text{к}} = (p_a + p_{\text{рем}}) \cdot K \quad (6)$$

p_a – норма амортизационных отчислений ($p_a = 3\%$ для вспомогательного тепломеханического оборудования);

$p_{\text{рем}}$ – норма отчислений на ремонт ($p_{\text{рем}} = 8\%$);

$$K = K_{\text{к}} + K_{\text{цн}} = b_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}} + b_{\text{цн}} \cdot N_{\text{цн}} \quad (7)$$

Для конденсаторов справедливы экспериментальные зависимости Бермана, определяющие зависимость требуемой площади поверхности охлаждения $F_{\text{к}}$ и мощности на прокачку трубного пучка $N_{\text{цн}}$ от скорости воды внутри трубок:

$$\frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{к}}^6} = \left(\frac{W_e}{W_e^6} \right)^{-x} \quad (8) \quad \frac{N_{\text{цн}}}{N_{\text{цн}}^6} = \left(\frac{W_e}{W_e^6} \right)^{3-x} \quad (9)$$

$$x = 0,1 \cdot (1 + 0,15 \cdot t_1) \quad (10)$$

В итоге критерий оптимизации есть функция характеристик базового режима и скорости воды в трубках конденсатора.

2) выбор метода оптимизации

Использование аналитических зависимостей Бермана (ВТИ) позволяет в данной задаче использовать аналитический метод оптимизации

3) расчет оптимальной скорости

Расчет по аналитическому методу выполнен в Mathcad. См. приложение 1.

Оценка влияния удельных затрат на циркуляционный насос и числа часов использования установленной мощности на оптимальное значение скорости воды в трубках конденсатора произведена рядом вариантов расчетов при различных значениях рассматриваемых факторов. См. приложения 2.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ, ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Табл.1 Оптимальная скорость воды в трубках конденсатора

Z_3 , руб/кВт*ч	$W_{\text{опт}}$, м/с	τ_y , ч/год	$W_{\text{опт}}$, м/с
0,63	1,2039	6800	1,2039
0,615	1,213	6500	1,221
0,635	1,2009	6700	1,2095
0,68	1,1753	7170	1,184

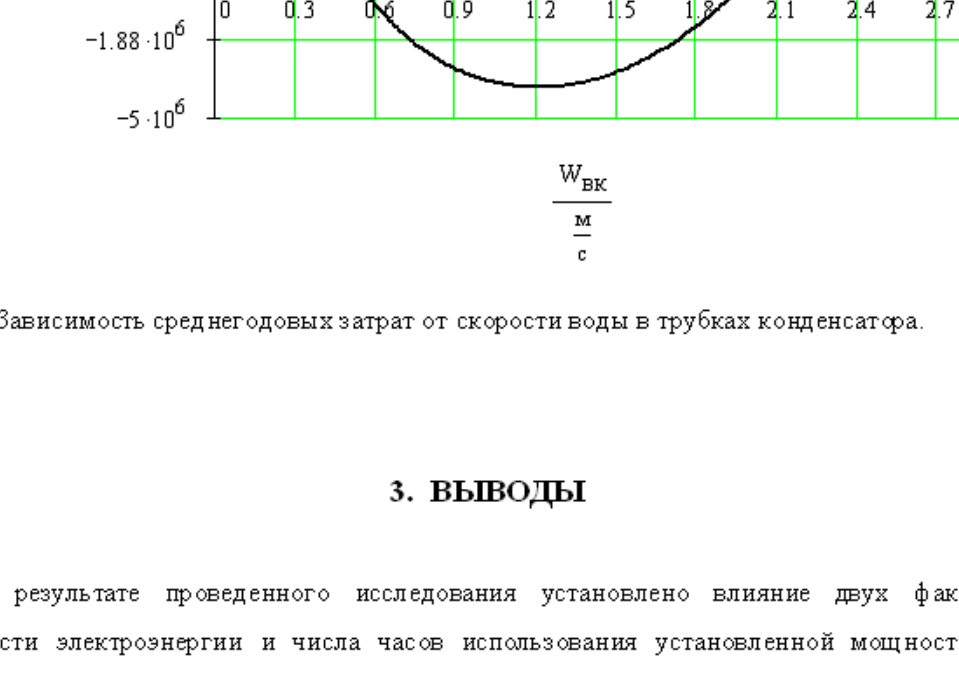


Рис.2 Зависимость среднегодовых затрат от скорости воды в трубках конденсатора.

3. ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования установлено влияние двух факторов (стоимости электроэнергии и числа часов использования установленной мощности) на величину оптимальной скорости воды в трубках конденсатора. Увеличение обоих этих факторов ведет к снижению оптимального значения скорости.

Указанное влияние рассмотренных параметров объясняется следующим:

- Увеличение стоимости электроэнергии приводит к тому, что затраты на привод циркуляционных насосов возрастают. Как следствие, становится более выгодным снизить скорость воды в трубках конденсатора, чтобы уменьшить их гидравлическое сопротивление и тем самым снизить мощность цирк. насосов.
- Увеличение числа часов установленной мощности в году конденсатора приводит к тому, что увеличиваются затраты, приводящие рассматриваемые варианты к единому энергетическому эффекту при разных количествах отпускаемой электроэнергии.

СОДЕРЖАНИЕ

Постановка задачи и исследования.....3
 Расчетная схема.....4
 Алгоритм и методика исследования.....5
 Исследования, основные результаты.....7
 Выводы.....8
 Список использованной литературы.....9
 Приложение 1.....10
 Приложение 2.....13

1. Постановка задачи и исследования

1.1 Исходные данные

Площадь поверхности теплообмена конденсатора $F_{к0} := 66210 \cdot \text{м}^2$

Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор $t_1 := 14 \text{ } ^\circ\text{C}$

Объемный расход циркуляционной воды $G_{цв0} := 122300 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$

Удельная стоимость конденсатора $b_k := 1150 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$

Количество трубок в конденсаторе $n := 32880$ шт

Удельные затраты на прокачку $b_{цн} := 1020 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$

Внутренний диаметр труб конденсатора $d_{вн} := 0.026 \cdot \text{м}$

Напор конденсатного тракта $H_k := 53 \cdot \text{кПа}$

Тариф на электроэнергию $\zeta_э := 0.63 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$

Число часов использования установленной мощности $\tau_y := 6800 \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}$

1.2 Расчетная схема

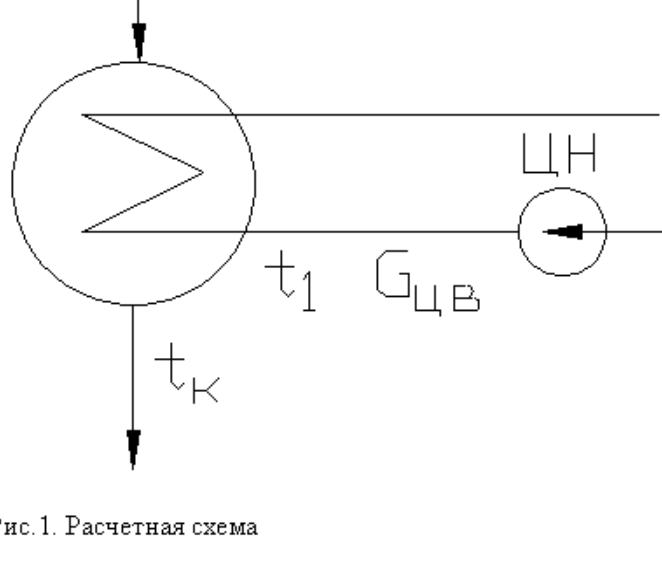


Рис.1. Расчетная схема

1.3 Допущения и технические ограничения:

- давление в конденсаторе постоянно;
- расход пара в конденсатор постоянный;
- расход циркуляционной воды постоянный;
- температура циркуляционной воды на входе в конденсатор постоянна.

Приложение 1

1. Алгоритм и методика исследования:

1.1.Принимаем

Коэффициент дисконтирования $E := 15 \cdot \frac{\%}{\text{год}}$

Норма амортизационных отчислений $P_a := 3 \cdot \frac{\%}{\text{год}}$

Норма расходов на ремонт $P_{рем} := 8 \cdot \frac{\%}{\text{год}}$

1.2. Определяем скорость воды в базовом режиме: $G_{цв0} = 33.972 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$

$$W_{вк0} = \frac{4 \cdot G_{цв0}}{\pi \cdot d_{вн}^2 \cdot n} \quad W_{вк0} = \frac{4 \cdot 33.972}{\pi \cdot 0.026^2 \cdot (3.288 \times 10^4)} \quad W_{вк0} = 1.946 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

1.3. Определяем мощность необходимую на преодоление сопротивления конденсатного тракта в базовом режиме

$$N_{цн0} := \frac{G_{цв0} \cdot H_k}{0.85} \quad N_{цн0} = \frac{33.972 \cdot 53}{0.85} \quad N_{цн0} = 2118.3 \text{ кВт}$$

1.4. Выведем формулу для среднегодовых затрат и построим график зависимости среднегодовых затрат от скорости воды

Площадь поверхности теплообмена в конденсаторе в зависимости от скорости воды

$$x := 0.1 \cdot (1 + 0.15 \cdot t_1) \quad x = 0.31$$

$$F_k = F_{к0} \left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{-x} \quad \text{м}^2$$

Затраты на конденсатор в зависимости от скорости воды $K_k = F_k \cdot b_k$

$$K_k = b_k \cdot \left[F_{к0} \cdot \left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{-x} \right] \quad \text{руб}$$

Гидравлическое сопротивление конденсатора $H_k = H_{к0} \cdot \left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x}$ кПа

Мощность, необходимая на преодоление сопротивления конденсатного тракта $N_{цн} = N_{цн0} \cdot \left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x}$ кВт

Затраты на ту часть насоса, которая обеспечивает преодоление сопротивления конденсатного тракта $K_{цн} = N_{цн} \cdot b_{цн}$

$$K_{цн} = b_{цн} \cdot \left[N_{цн0} \cdot \left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} \right] \quad \text{руб}$$

Затраты на приведение разных режимов к одинаковым энергетическим условиям $\Delta N_э = \Delta N_{э,отп} \cdot \tau_y \cdot \zeta_э$

$$\Delta N_{э,отп} = N_{цн} - N_{цн0} \quad \Delta N_э = \tau_y \cdot \zeta_э \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right] \quad \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Среднегодовые затраты

$$\Delta 3_{ср} (W_{вк}) = E \cdot (K - K_0) + (I_k - I_{к0}) + 3 \Delta N_э \quad I_k - I_{к0} = (P_a + P_{рем}) \cdot (K - K_0)$$

Зададимся значениями скорости воды в трубках конденсатора

$$W_{вк} := 0.1 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}; 0.11 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}; \dots; 5 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Затраты на конденсатор в зависимости от скорости воды $K_{к0} := b_k \cdot F_{к0}$

$$K_k(W_{вк}) := b_k \cdot \left[F_{к0} \cdot \left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{-x} \right]$$

Затраты на цирк. насос в зависимости от скорости воды $K_{цн0} := b_{цн} \cdot N_{цн0}$

$$K_{цн}(W_{вк}) := b_{цн} \cdot \left[N_{цн0} \cdot \left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} \right]$$

Замещающие затраты в зависимости от скорости воды

$$3 \Delta N_э (W_{вк}) := \tau_y \cdot \zeta_э \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right]$$

Подставим эти зависимости в выражение для среднегодовых затрат и построим график зависимости среднегодовых затрат от скорости воды

$$\Delta 3_{ср} (W_{вк}) := (E + P_a + P_{рем}) \cdot (K_k(W_{вк}) + K_{цн}(W_{вк}) - K_{к0} - K_{цн0}) + 3 \Delta N_э (W_{вк}) \quad \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

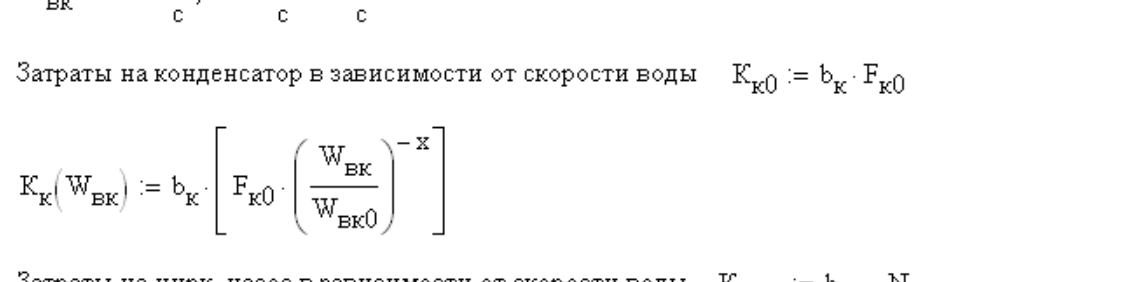


Рис.2. Зависимость среднегодовых затрат от скорости воды в трубках конденсатора.

Оптимальная скорость воды в трубках конденсатора: $W_{вк}^{опт} = 1,20358 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Приложение 2

2. Исследование чувствительности поведения $W_{вк}^{опт}$:

2.1. При изменении стоимости электроэнергии на привод цирк. насосов:

$$\zeta_{э_1} := 0.615 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$\Delta 3_{ср1}(W_{вк}) := (E + P_a + P_{рем}) \cdot (K_k(W_{вк}) + K_{цн}(W_{вк}) - K_{к0} - K_{цн0}) + \tau_y \cdot \zeta_{э_1} \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right]$$

$$\text{Minimize}(\Delta 3_{ср1, x}) = 1.213$$

$$\zeta_{э_2} := 0.635 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$\Delta 3_{ср2}(W_{вк}) := (E + P_a + P_{рем}) \cdot (K_k(W_{вк}) + K_{цн}(W_{вк}) - K_{к0} - K_{цн0}) + \tau_y \cdot \zeta_{э_2} \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right]$$

$$\text{Minimize}(\Delta 3_{ср2, x}) = 1.2009$$

$$\zeta_{э_3} := 0.68 \cdot \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

$$\Delta 3_{ср3}(W_{вк}) := (E + P_a + P_{рем}) \cdot (K_k(W_{вк}) + K_{цн}(W_{вк}) - K_{к0} - K_{цн0}) + \tau_y \cdot \zeta_{э_3} \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right]$$

$$\text{Minimize}(\Delta 3_{ср3, x}) = 1.1753$$

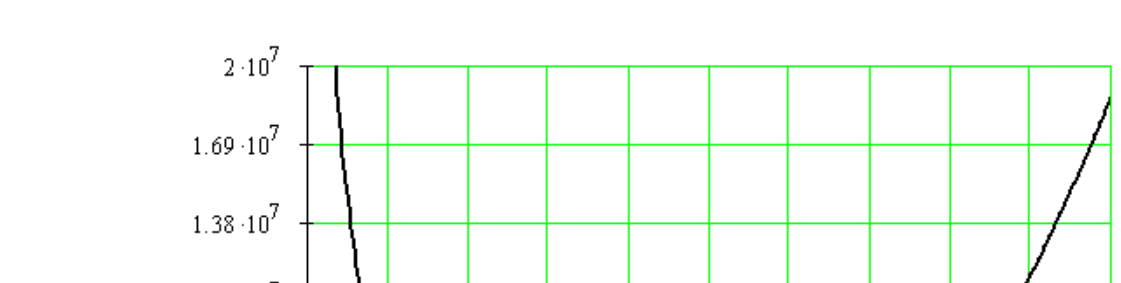


Рис.3 Зависимость среднегодовых затрат от скорости воды в трубках конденсатора при различных значениях стоимости электроэнергии

Как показал анализ, при увеличении стоимости электроэнергии, оптимальная скорость воды в трубках конденсатора уменьшается, но изменяется незначительно.

2.2. При изменении числа часов использования конденсатора:

$$\tau_{y_1} := 6500 \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}$$

$$\Delta 3_{ср1}(W_{вк}) := (E + P_a + P_{рем}) \cdot (K_k(W_{вк}) + K_{цн}(W_{вк}) - K_{к0} - K_{цн0}) + \tau_{y_1} \cdot \zeta_э \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right]$$

$$\text{Minimize}(\Delta 3_{ср1, x}) = 1.221$$

$$\tau_{y_2} := 6700 \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}$$

$$\Delta 3_{ср2}(W_{вк}) := (E + P_a + P_{рем}) \cdot (K_k(W_{вк}) + K_{цн}(W_{вк}) - K_{к0} - K_{цн0}) + \tau_{y_2} \cdot \zeta_э \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right]$$

$$\text{Minimize}(\Delta 3_{ср2, x}) = 1.2095$$

$$\tau_{y_3} := 7170 \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}$$

$$\Delta 3_{ср3}(W_{вк}) := (E + P_a + P_{рем}) \cdot (K_k(W_{вк}) + K_{цн}(W_{вк}) - K_{к0} - K_{цн0}) + \tau_{y_3} \cdot \zeta_э \cdot N_{цн0} \cdot \left[\left(\frac{W_{вк}}{W_{вк0}} \right)^{3-x} - 1 \right]$$

$$\text{Minimize}(\Delta 3_{ср3, x}) = 1.184$$



Рис.4 Зависимость среднегодовых затрат от скорости воды в трубках конденсатора при различном числе часов использования установленной мощности.

Как показал анализ при увеличении числа часов использования установленной мощности уменьшается оптимальная скорость воды в трубках конденсатора.