

УДК 519.87-66.045.122

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ
ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ,
ПОДКЛЮЧЕННЫХ К ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ПО
ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СМЕШАННОЙ СХЕМЕ**

Баклушина Ирина Викторовна,

*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк,
доцент кафедры «Теплогазоводоснабжение, водоотведение и вентиляция».*

Аннотация

В статье представлена разработка математической модели тепловых режимов водоподогревателей горячего водоснабжения, подключенных к водяной тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме

Ключевые слова: водоподогреватель горячего водоснабжения, тепловой режим, коэффициент теплопередачи, температура теплоносителя

**MODELING THE THERMAL REGIME OF WATER HEATERS HOT
WATER CONNECTED TO WATER HEAT NETWORKS TWO-STAGE
MIXED SCHEMES**

Baklushina Irina Viktorovna

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk,

Associate Professor of "Teplogazovodosnabzhenie, drainage and ventilation".

Abstract

The article presents the development of a mathematical model of thermal conditions of water heaters, hot water, connected to the water heating network for a two-stage mixed scheme

Keywords: water heater hot water, heat mode, the heat transfer coefficient of the coolant temperature

В Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ), г. Новокузнецк в соответствии с [1] реализуется дисциплина «Системы горячего водоснабжения жилых и общественных зданий».

В тематическом плане изучения дисциплины рассматривается вопрос схем присоединения систем горячего водоснабжения к водяным тепловым сетям. В связи с этим при изучении схем тепловых пунктов возникла необходимость в создании виртуального тренажера для изучения присоединения системы горячего водоснабжения к закрытой тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме с ограничением максимального расхода воды на ввод. Схема установки представлена на рисунке 1.

Для создания виртуального тренажера было принято решение использовать математическую модель работы водоподогревателей горячего водоснабжения на основе поверочного расчета. Для моделирования теплового режима используется методика поверочного расчета.

В расчете требуется найти температуры теплоносителей на выходах из каждой ступени водоподогревателей горячего водоснабжения, подключенных к закрытой тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме. Система горячего водоснабжения без баков-аккумуляторов с циркуляцией воды. Расчет провести в режиме максимального водоразбора, то есть при отсутствии циркуляции (при этом расчетный расход нагреваемой среды будет одинаков для обеих ступеней).

Греющая вода проходит в межтрубном пространстве подогревателей, нагреваемая вода – в трубках. Подогреватели гладкотрубные с блоком опорных перегородок. Материал стенок трубок подогревателя – латунь. Подогреватели обеих ступеней состоят из двух секций.

Исходные данные:

1. Расчетные расходы воды:

а) Нагреваемой воды – одинаковый в обеих ступенях – равен максимальному на горячее водоснабжение $G_{h\max}$

б) Греющей воды в первой ступени G_d^{spI}

в) Греющей воды во второй ступени G_d^{spII}

г) На отопление $G_{o\max} = G_d^{spI} - G_d^{spII}$

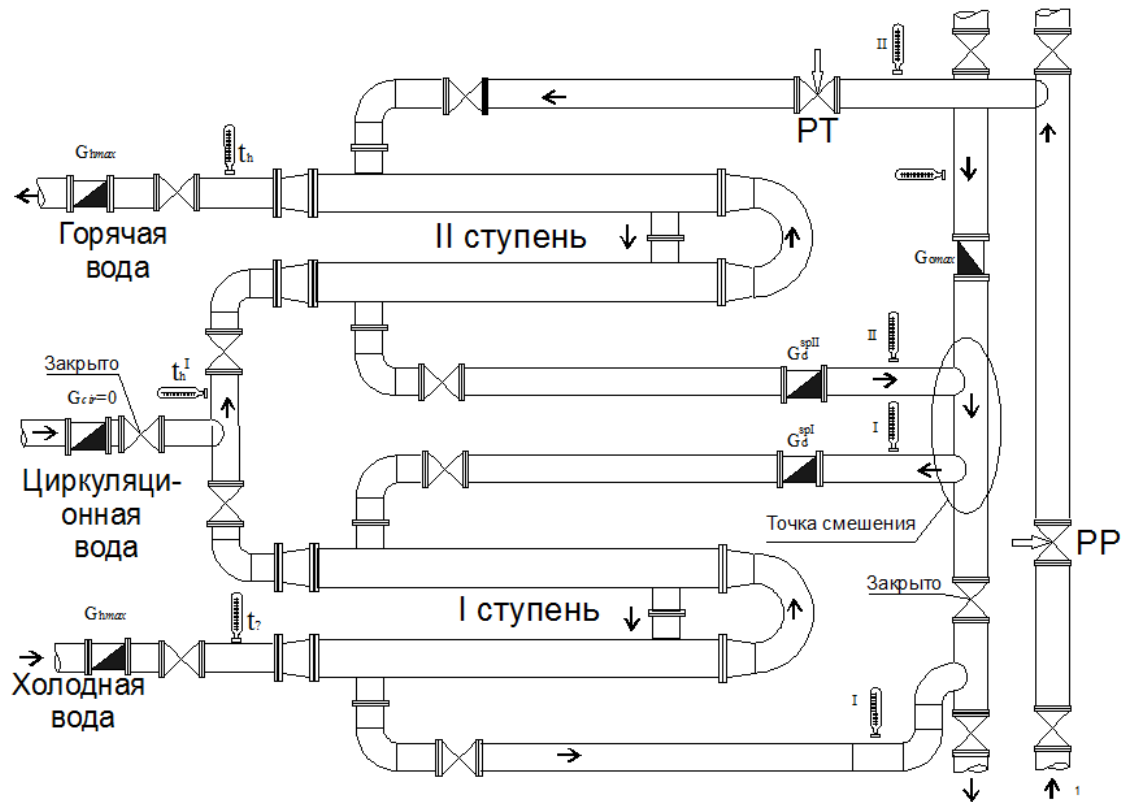


Рисунок 1 – Схема присоединения системы горячего водоснабжения к закрытой тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме

2. Температуры воды:

а) нагреваемой воды на входе в водоподогреватель I ступени (холодная вода) t_c

б) греющей воды на входе в водоподогреватель II ступени (равна температуре в подающей магистрали в точке излома температурного графика)

$$\tau_1^I = \tau_1'''$$

в) после системы отопления (равна температуре в обратной магистрали в точке излома температурного графика) $\tau_2 = \tau_2'''$

3. Характеристики водоподогревателей [2]:

а) наружный диаметр секций D_n , мм;

- б) площадь межтрубного пространства $f_{\text{мтр}}, \text{м}^2$;
- в) площадь трубок $f_{\text{тр}}, \text{м}^2$;
- г) эквивалентный диаметр межтрубного пространства $d_{\text{экр}}, \text{м}$;
- д) внутренний диаметр трубок $d_{\text{вн}}, \text{м}$;
- е) толщина стенки трубки $\delta_{\text{ст}}, \text{м}$;
- ж) теплопроводность стенки трубки $\lambda_{\text{ст}}, \text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$;
- и) поверхность нагрева одной секции $f_{\text{сек}}, \text{м}^2$;
- к) тепловая производительность одной секции $Q_{\text{сек}}^{\text{сп}}, \text{кВт}$;
- л) коэффициент эффективности теплообмена Ψ ;
- м) коэффициент, учитывающий загрязнение поверхности труб в

зависимости от химических свойств воды β

4. Параметры воды:

- а) теплоемкость воды $c, \text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{С}$;
- б) плотность воды $\rho, \text{кг/м}^3$;

7. Параметры слоя накипи:

- а) толщина слоя накипи $\delta_{\text{нак}}, \text{м}$;
- б) теплопроводность накипи $\lambda_{\text{нак}}, \text{м}$;

Необходимо найти следующие температуры воды:

- а) нагреваемой воды на выходе из I ступени и входе во II ступень: t_h^I
- б) нагреваемой воды на выходе из II ступени: t_h
- в) греющей воды на выходе из I ступени τ_2^I
- г) греющей воды на входе в I ступень τ_1^I
- д) греющей воды на выходе из II ступени τ_2^{II}

1 Определение коэффициента теплопередачи подогревателя

Поверхность нагрева водоподогревателя находится по формуле:

$$F = \frac{Q_{\text{сек}}^{\text{сп}} \cdot 1000}{k \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент теплоотдачи водоподогревателя, Вт/(м² °С);

Δt_{cp} – расчетная разность температур между греющей и нагреваемой водой, °С;

$Q_{сек}^{sp}$ – тепловая производительность одной секции, кВт.

Тогда из формулы (1) находится коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{Q_{сек}^{sp} \cdot 1000}{F \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (2)$$

2 Расчет в первом приближении

Подогреватель первой ступени (ВП I) в первом приближении рассчитывается следующим образом:

2.1. Определяется численное значение условных эквивалентов:

а) греющей среды:

$$W_1 = V_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1 = (G_d^{spI} \cdot \rho_1 \cdot c_1) / 3600, \quad (3)$$

б) нагреваемой среды:

$$W_2 = V_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 = (G_{hmax} \cdot \rho_2 \cdot c_2) / 3600. \quad (4)$$

2.2. При заданной температуре греющей среды на входе в водоподогреватель первой ступени (ВП I) $\tau_1^I = \tau_2^I$, °С, находится изменение температуры горячего теплоносителя (греющей среды):

$$\tau_1^I - \tau_2^I = (\tau_1^I - t_c) \frac{1 - e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k \cdot (2 \cdot f_{сек})}{W_1}}}{1 - \frac{W_1}{W_2} \cdot e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k \cdot 2 \cdot f_{сек}}{W_1}}}, \quad (5)$$

Отсюда находится температура горячего теплоносителя (греющей среды) на выходе из ВП I τ_2^I , °С.

2.3. Изменение температуры холодного теплоносителя (нагреваемой среды):

$$t_h^I - t_c = (\tau_1^I - t_c) \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 - e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k \cdot (2 \cdot f_{\text{сек}})}{W_1}}}{1 - \frac{W_1}{W_2} \cdot e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k \cdot 2 \cdot f_{\text{сек}}}{W_1}}}, \quad (6)$$

Откуда находится температура холодного теплоносителя (нагреваемой среды) на выходе из ВП I t_h^I , °C

2.4. Уточняется коэффициент теплопередачи ВП I:

$$k^I = \frac{\Psi \beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{нак}}}{\lambda_{\text{нак}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке трубки, Вт/м²·°C, находится по формуле (8);

$$\alpha_1 = 1,16 \left[1210 + 18 \cdot t_{cp}^{\text{гр}} - 0,038 \left(t_{cp}^{\text{гр}} \right)^2 \right] \cdot \frac{\omega_{\text{мтр}}^{0,8}}{d_{\text{экв}}^{0,2}}, \quad (8)$$

где $t_{cp}^{\text{гр}}$ – средняя температура греющей воды в подогревателе I ступени, находится по формуле (9);

$$t_{cp}^{\text{гр}} = \frac{\tau_1^I + \tau_2^I}{2}, \quad (9)$$

$\omega_{\text{мтр}}$ – скорость воды в межтрубном пространстве, находится по формуле (10);

$$\omega_{\text{мтр}} = \frac{G_d^{\text{спI}}}{3600 \cdot f_{\text{мтр}} \cdot \rho}, \quad (10)$$

α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к нагреваемой воде, Вт/м²·°C находится по формуле (11);

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot \left[1210 + 18 \cdot t_{cp}^{\text{н}} - 0,038 \left(t_{cp}^{\text{н}} \right)^2 \right] \cdot \frac{\omega_{\text{тр}}^{0,8}}{d_{\text{вн}}^{0,2}}, \quad (11)$$

$t_{cp}^{\text{н}}$ – средняя температура нагреваемой воды в подогревателе I ступени, °C, находится по формуле (12);

$$t_{cp}^{\text{н}} = \frac{t_c + t_h^I}{2}, \quad (12)$$

$\omega_{\text{тр}}$ - скорость воды в трубках, м/с, находится по формуле (13);

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{G_{h\text{max}}}{3600 \cdot f_{\text{тр}} \cdot \rho} \quad (13)$$

2.5. Уточняются температуры теплоносителей:

а) изменение температуры горячего теплоносителя (греющей среды):

$$\tau_1^I - \tau_2^I = (\tau_1^I - t_c) \frac{1 - e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k^I \cdot (2 \cdot f_{\text{сек}})}{W_1}}}{1 - \frac{W_1}{W_2} \cdot e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k \cdot 2 \cdot f_{\text{сек}}}{W_1}}}, \quad (14)$$

Отсюда находится температура горячего теплоносителя (греющей среды) на выходе из ВП I τ_2^I , °С;

б) изменение температуры холодного теплоносителя (нагреваемой среды):

$$t_h^I - t_c = (\tau_1^I - t_c) \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{1 - e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k^I \cdot (2 \cdot f_{\text{сек}})}{W_1}}}{1 - \frac{W_1}{W_2} \cdot e^{-\left(1 - \frac{W_1}{W_2}\right) \frac{k \cdot 2 \cdot f_{\text{сек}}}{W_1}}}. \quad (15)$$

2.6. Отсюда находится температура холодного теплоносителя (нагреваемой среды) на выходе из ВП I t_h^I , °С.

2.7. Далее аналогично производится расчет подогревателя второй ступени (ВП II) в первом приближении, уточняются температуры греющей среды на входе в подогреватель первой ступени τ_1^I и составляется баланс тепла в точке смешения (16).

$$\begin{cases} G_d^{spII} + G_{o\text{max}} = G_d^{spI} \\ G_d^{spII} \cdot \tau_2^II + G_{o\text{max}} \cdot \tau_2 = G_d^{spI} \cdot [\tau_1^I] \end{cases} \quad (16)$$

2.8. Из баланса тепла в точке смешения находится искомая температура греющей среды на входе в подогреватель первой ступени $[\tau_1^I]$ по формуле (17).

$$[\tau_1^I] = \frac{G_d^{spII} \cdot \tau_2^{II} + G_{o\max} \cdot \tau_2}{G_d^{spII}} \quad (17)$$

3 Расчет во втором приближении

3.1. Принимая коэффициент теплопередачи подогревателя из расчета в первом приближении, находим изменение температуры горячего теплоносителя (греющей среды);

3.2. Далее находится температура горячего теплоносителя (греющей среды) на выходе из ВП I, изменение температуры холодного теплоносителя (нагреваемой среды) и температура холодного теплоносителя (нагреваемой среды) на выходе из ВП I.

3.3. Уточняется коэффициент теплопередачи ВП I, и температуры теплоносителей.

Блок-схема алгоритма поверочного расчета подогревателей приведена на рисунках 2 и 3.

Блок-схема алгоритма поверочного расчета подогревателей горячего водоснабжения

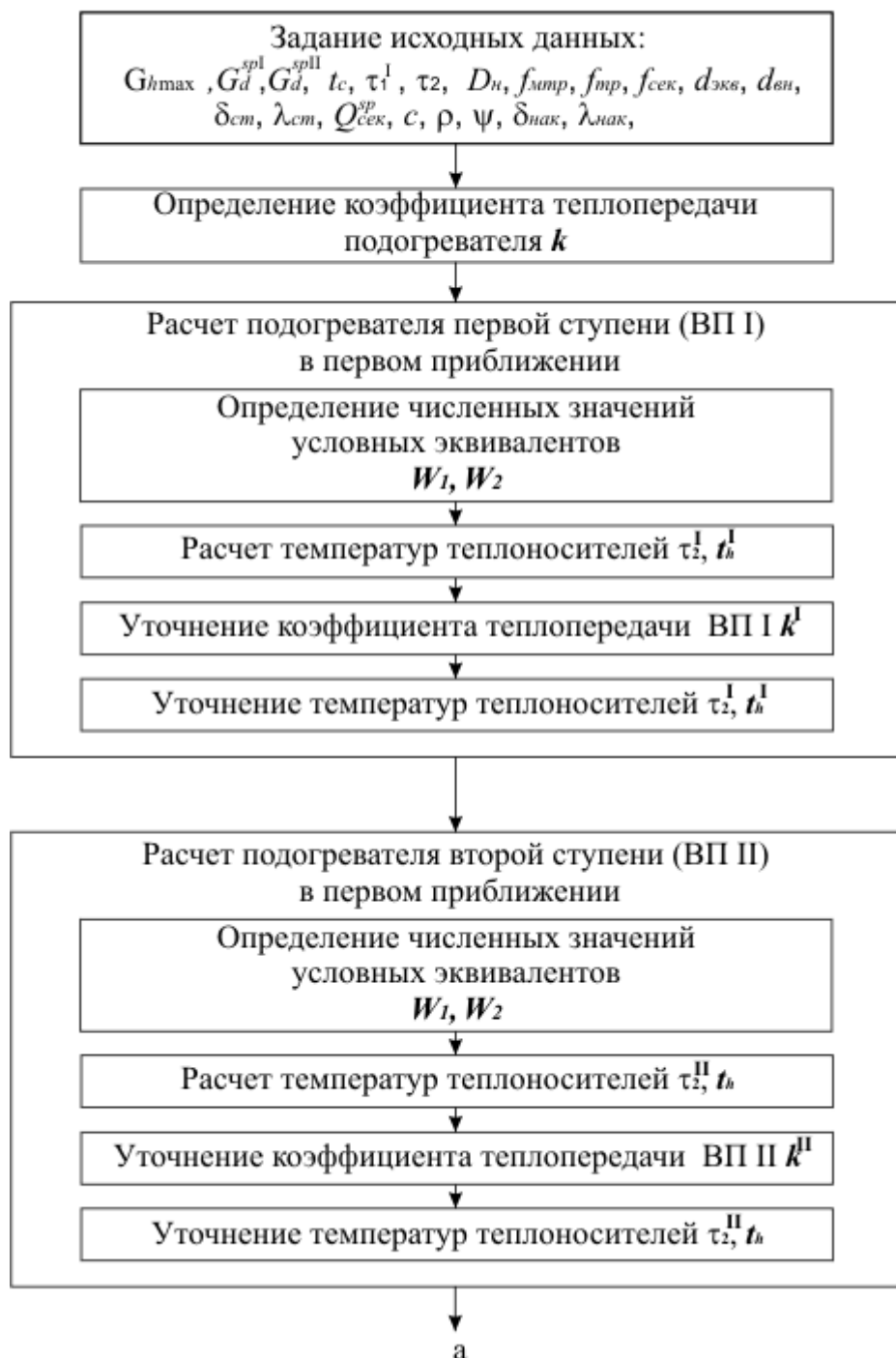


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма поверочного расчета подогревателей
(часть 1)

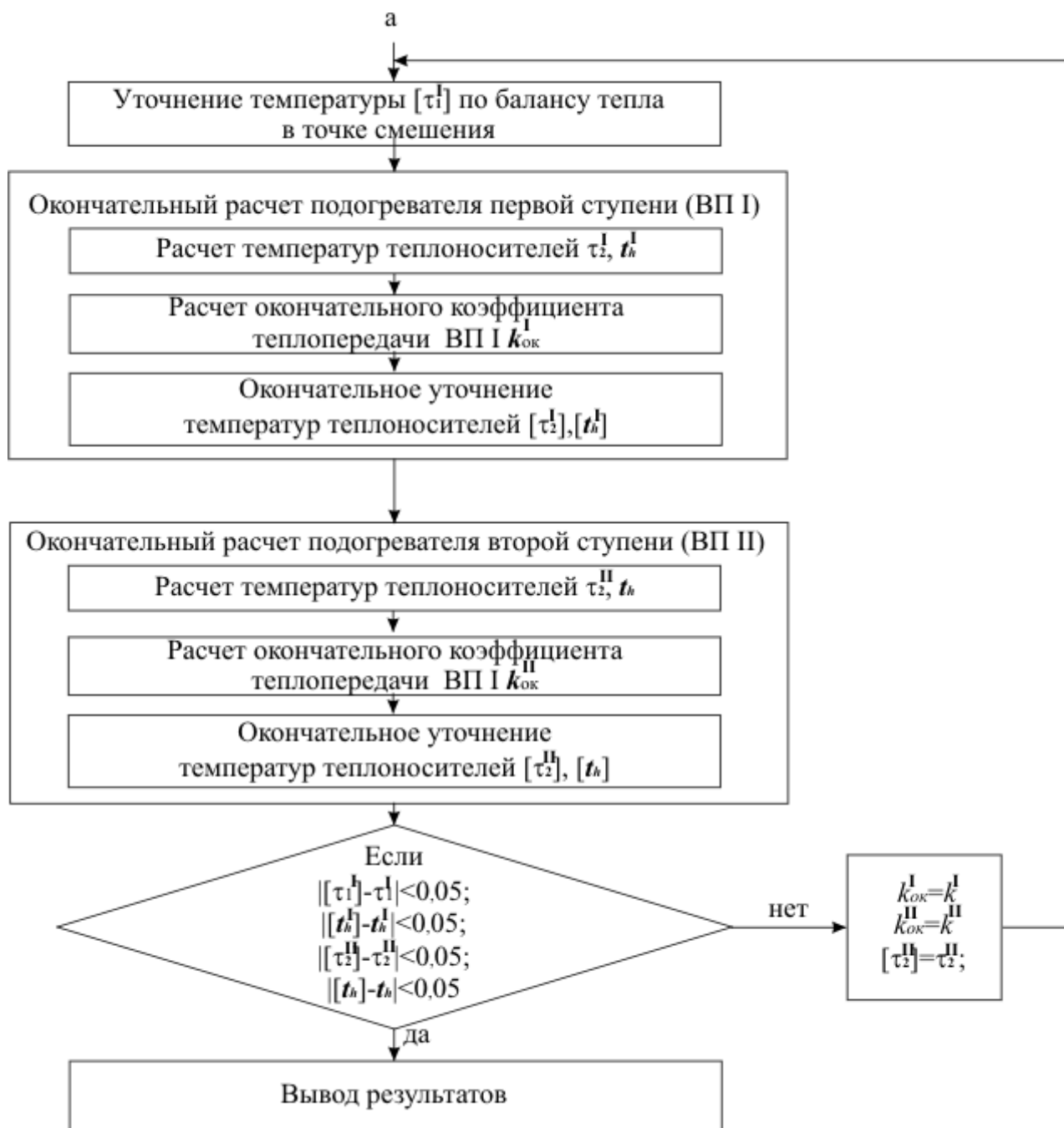


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма поверочного расчета подогревателей
(часть 2)

Таким образом, по приведенному алгоритму можно реализовать построение модели тепловых режимов водоподогревателей горячего водоснабжения, подключенных к закрытой тепловой сети по двухступенчатой смешанной схеме. Полученные формулы могут быть использованы в качестве составляющих в математических моделях тепловых режимов водоподогревателей систем отопления.

Библиографический список:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 201.
2. ГОСТ 27590-2005 Подогреватели кожухотрубные водо-водяные систем теплоснабжения. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2007.