

ПРООН/ГЭФ
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь»

Предложения, расчеты и обоснования для проектного задания на разработку полномасштабного проекта технических приёмов, установок и оборудования для повышения энергоэффективности отопления и горячего водоснабжения с использованием солнечных нагревателей в пилотных жилых зданиях г.г. Гродно и Минска

(этап 1.4)

Исполнитель,
Эксперт по внедрению солнечных коллекторов
в системах теплоснабжения и горячего
водоснабжения в жилом секторе

В.В. Покотилов

Минск
июль 2014

Содержание

	стр.
1.Методика вычисления основных параметров гелиосистемы	3
2. Методика подбора двухходовых регулирующих органов	4
2.1 Методика подбора двухходовых регулирующих органов для первого вида исходных данных	4
2.2 Методика подбора двухходовых регулирующих органов для второго вида исходных данных	6
3 Методика подбора трехходовых регулирующих органов	7
3.1 Методика подбора трехходового регулирующего органа для схемы с байпасом (при разделении потоков)	7
3.2 Методика подбора трехходового регулирующего органа для узла смешения	10

1.Методика вычисления основных параметров гелиосистемы

Методика и последовательность расчёта гелиосистемы теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зданий изложена брошюра для проектировщиков и специалистов в области энергоэффективного теплоснабжения жилых зданий «Гелиосистемы теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зданий», изданной ПРООН в феврале 2014 г.

Методика представляет собой последовательное выполнение следующих пошаговых операций:

1. На основании принятого типа гелиоколлектора и его тепловых характеристик вычисляется для каждого месяца и за год теплопроизводительность 1м² гелиоколлектора.

2. На основании требуемой суточной нормы воды на нужды горячего водоснабжения вычисляется общая годовая потребность в тепловой энергии. (расход горячей воды составляет не более 70 литров, что и следует принять в качестве исходного значения).

3. Требуемая площадь поверхности гелиоколлекторов определяется делением требуемой тепловой энергии за месяц на теплопроизводительность 1м² гелиоколлектора. В качестве расчётного можно выбрать месяц с высокой теплопроизводительностью (например, июль) в том случае, если рассматривается только горячее водоснабжение. При наличии дополнительно иных потребителей в качестве расчётного можно выбрать месяц с низкой теплопроизводительностью в летний период (например, март или сентябрь).

4. Определяется теплопроизводительность гелиосистемы по месяцам года и в целом за год, а также доля компенсации требуемой теплоты за счёт гелиосистемы.

Проектировщикам при выполнении гидравлических расчётов теплопроводов и регулирующей арматуры следует уделить особое внимание уделять правильному подбору регулирующих двухходовых и трёхходовых смесительных клапанов с обоснованным принятием задаваемых исходных условий, таких, как форма пропускной характеристики, требуемая условная пропускная способность и др.

2. Методика подбора двухходовых регулирующих органов

Методика подбора РО (рис.1) зависит от характера исходных данных, которые можно разделить на два вида:

Первый вид исходных данных

Задаются исходные данные:

- расчетные расходы,
- перепад давления на регулируемом участке ΔP_{PY} ,
- сопротивление потребителя $\Delta P_{номр.}$ (системы отопления или теплообменника с подводными теплопроводами и арматурой).

На основании указанных исходных данных следует:

- определить требуемое сопротивление регулирующего органа $(\Delta P_{p.o.ТРЕБ})_{min}$,
- выбрать тип и типоразмер РО.

Второй вид исходных данных

Задаются исходные данные:

- расчетные расходы,
- сопротивление потребителя $\Delta P_{номр.}$ (системы отопления или теплообменника с подводными теплопроводами и арматурой).

На основании указанных исходных данных следует определить:

- выбрать тип и типоразмер РО,
- определить сопротивление регулирующего органа $(\Delta P_{p.o.})_{min}$,
- определить расчетный перепад давления на регулируемом участке ΔP_{PY}

2.1 Методика подбора двухходовых регулирующих органов для первого вида исходных данных

Для *первого вида исходных данных* подбор двухходового РО производится в следующей последовательности.

Необходимые исходные данные:

- максимальный (или расчетный) расход воды через двухходовой РО G_{max} , кг/ч;
- перепад давления на регулируемом участке ΔP_{PY} , Па;
- сопротивление потребителя (системы отопления или теплообменника с подводными теплопроводами и арматурой) $\Delta P_{номр.}$ Па;
- абсолютное давление перед РО P_1 , МПа;
- температура воды перед РО T_1 , К;
- абсолютное давление насыщенного пара P_H , МПа при температуре T_1 ., определяемое из таблицы 1;
- плотность воды ρ , кг/м³ при T_1 , определяемая из таблицы 2.

Таблица 1

Абсолютное давление насыщенного пара

Температура теплоносителя $T, ^\circ\text{C}$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
$P_H, \text{МПа}$	0,101	0,121	0,143	0,169	0,198	0,231	0,271	0,314	0,362	0,417	0,485

Таблица 2

Плотность воды на линии насыщения

Температура теплоносителя $T, ^\circ\text{C}$	0	20	40	50	60	70	80	90	100	120	150
$\rho, \text{кг/м}^3$	1000	998	992	988	983	978	972	965	958	943	917

Требуемое минимальное расчетное значение перепада давления на РО $(\Delta P_{p.o. \text{ТРЕБ}})_{\min}$, Па вычисляется по выражению:

$$(\Delta P_{p.o. \text{ТРЕБ}})_{\min} = \Delta P_{\text{ру}} - \Delta P_{\text{потр}}. \quad (2)$$

Требуемое значение авторитета клапана $a_{v \text{ ТРЕБ}}$ определяется по выражению:

$$a_{v \text{ ТРЕБ}} = \frac{(\Delta P_{p.o. \text{ТРЕБ}})_{\min}}{(\Delta P_{p.o. \text{ТРЕБ}})_{\min} + \Delta P_{\text{потр}}}; \quad (3)$$

По значению $a_{v \text{ ТРЕБ}}$ выбирается тип РО и требуемая форма его пропускной характеристики.

Требуемая расчетная условная пропускная способность РО $k_{vs \text{ ТРЕБ}}$, м³/ч определяется по выражению:

$$k_{vs \text{ ТРЕБ}} = \frac{G_{\max}}{\rho \sqrt{0,1 (\Delta P_{p.o. \text{ТРЕБ}})_{\min}}} 10^2 \quad (4)$$

С использованием технических каталогов следует принять к установке такой типоразмер РО, значение условной пропускной способности которого k_{vs} , м³/ч соответствует условию

$$k_{vs} = (0,9 \dots 1,0) k_{vs \text{ ТРЕБ}}. \quad (5)$$

Расчетный перепад давления на РО $\Delta P_{p.o.}$, Па вычисляется по выражению:

$$\Delta P_{p.o.} = 0,1 \left(\frac{G_{\max}}{k_{vs}} \right)^2. \quad (6)$$

Принятый к установке РО следует проверить на возникновение кавитации при температуре теплоносителя более 100⁰С.

Определяется перепад давления на РО ΔP_k , Па, при котором возникает кавитация, по выражению:

$$\Delta P_k = K_k (P_1 - P_H) 10^6, \quad (7)$$

где K_k – коэффициент начала кавитации.

Следует выбирать РО с более высокими значениями коэффициента начала кавитации K_k , ориентируясь по каталогам арматуры или из таблицы 3.

Таблица 3

Тип РО	Коэффициент начала кавитации K_k	Примечания
Шиберный	0,65	
Односедельный клапан	0,60	
Двухседельный клапан	0,51	
Шаровой	0,68	
Заслоночный	0,36	При угле поворота $\alpha=60^0$

Выбор типоразмера РО завершен, если в результате выполненных расчетов соблюдается неравенство $\Delta P_{p.o.} < \Delta P_k$.

При необходимости, на регулируемом участке после потребителя теплоты устанавливается дроссельная шайба или балансировый вентиль, предназначенный для погашения перепада давления $\Delta P_{ш}$, Па, вычисляемого по выражению:

$$\Delta P_{ш} = \Delta P_{p.u.} - \Delta P_{потр.} - \Delta P_{p.o.} \quad (8)$$

2.2 Методика подбора двухходовых регулирующих органов для второго вида исходных данных

Для *второго вида исходных данных* подбор двухходового РО производится в следующей последовательности.

Необходимые исходные данные:

- максимальный (или расчетный) расход воды через двухходовой РО G_{max} , кг/ч;
- потери давления потребителя (системы отопления или теплообменника с подводными теплопроводами) $\Delta P_{потр.}$, Па;

- абсолютное давление перед РО P_1 , МПа;
- температура воды перед РО T_1 , К;
- абсолютное давление насыщенного пара P_H , МПа при температуре T_1 , определяемое из таблицы 1;
- плотность воды ρ , кг/м³ при T_1 , определяемая из таблицы 2.

Следует принять к установке тип РО, а затем выбрать форму его пропускной характеристики (линейную, равнопроцентную или какую-либо иную). Затем следует задаться значением авторитета клапана $a_{v, ТРЕБ}$.

Требуемое минимальное расчетное значение перепада давления на РО $(\Delta P_{p.o.ТРЕБ})_{min}$, Па вычисляется по выражению:

$$(\Delta P_{p.o.ТРЕБ})_{min} = \frac{\Delta P_{потр}}{\frac{1}{a_{v, ТРЕБ}} - 1} \quad (9)$$

Дальнейшие расчеты и подбор РО выполняется по (4)... (7).

Расчетный перепад давления на регулируемом участке ΔP_{PY} , Па определяется по выражению:

$$\Delta P_{PY} = \Delta P_{p.o.} + \Delta P_{потр.} \quad (10)$$

3 Методика подбора трехходовых регулирующих органов

Трехходовой РО применяется для разделения или смешивания регулируемых потоков теплоносителей.

Разделение потоков используется в схеме с байпасом. Регулирование расхода воды для потребителя осуществляется путем перераспределения постоянного расхода воды от источника теплоты между потребителем и байпасной линией (замыкающим участком).

При автоматическом смешивании потоков осуществляется качественное регулирование, а именно, изменение температуры теплоносителя при постоянном его расходе. В настоящей методике предусматривается смесительный насос, устанавливаемый на подмешивающем или циркуляционном трубопроводе.

3.1 Методика подбора трехходового регулирующего органа для схемы с байпасом (при разделении потоков)

В схеме с байпасом, показанной на рис.8, трехходовой РО разделяет общий поток по двум параллельным регулируемым участкам, которые соединяются между собой в двух узлах: в узле разделения потоков и в узле

смешивания потоков. Между этими узлами перепад давления остается постоянным в процессе регулирования.

Общий поток $G_{общ.}$ разделяется на поток через потребителя G_1 и на поток через байпас G_2 . Данная схема является вариантом схемы дроссельного регулирования.

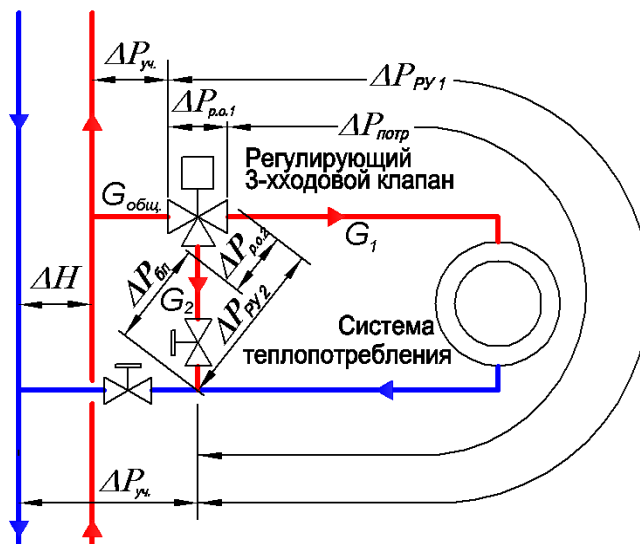


Рис.8. Регулируемые участки, разделяемые трехходовым РО.

Исходными данными, необходимыми для подбора трехходового регулирующего органа (РО) являются:

- расчетный (максимальный) расход теплоносителя для потребителя (например, теплообменника) G_{1max} , кг/ч принимаем для полностью открытого клапана:

$$G_{1max} = G_{общ.};$$

- расчетный (максимальный) расход теплоносителя через байпас G_{2max} , кг/ч принимаем

$$G_{2max} = G_{общ.};$$

- потери давления потребителя (например, теплообменника или калорифера с подводными теплопроводами) $\Delta P_{потр.}$, Па;

- перепад давления на вводе ΔH , Па;

- абсолютное давление перед РО P_1 , МПа;

- температура воды перед РО T_1 , К;

- абсолютное давление насыщенного пара P_H , МПа при температуре T_1 , определяемое из таблицы 1;

- плотность воды ρ , кг/м³ при T_1 , определяемая из таблицы 2.

Подбор оборудования и расчеты выполняются следующим образом.

Следует выбрать тип РО, а затем выбрать форму его пропускной характеристики (линейную, равнопроцентную или какую-либо иную).

Затем следует задаться значением авторитета клапана $a_{v\ TPEB}$.

Требуемое минимальное расчетное значение перепада давления на РО $(\Delta P_{p.o.1\ TPEB})_{min}$, Па вычисляется по выражению:

$$(\Delta P_{p.o.1\ TPEB})_{min} = \frac{\Delta P_{потр}}{\frac{1}{a_{v\ TPEB}} - 1} \quad (11)$$

Требуемая расчетная условная пропускная способность РО $k_{vs\ TPEB}$, м³/ч определяется по выражению:

$$k_{vs\ TPEB} = \frac{G_{1\ max}}{\rho \sqrt{0,1(\Delta P_{p.o.1\ TPEB})_{min}}} 10^2 \quad (12)$$

С использованием технических каталогов следует принять к установке типоразмер РО с соответствующим значением условной пропускной способности k_{vs} , м³/ч.

Расчетный перепад давления на РО $\Delta P_{p.o.1}$, Па вычисляется по выражению:

$$\Delta P_{p.o.1} = 0,1 \left(\frac{G_{1\ max}}{k_{vs}} \right)^2 \quad (13)$$

Расчетное значение потерь давления на регулируемом участке определяется по выражению:

$$\Delta P_{PY1} = \Delta P_{PO1} + \Delta P_{потр} \quad (14)$$

Требуемые суммарные потери давления на подводящих теплопроводах $(\Sigma \Delta P_{уч.})_{TPEB}$, Па вычисляются по выражению:

$$\Sigma (\Delta P_{уч.})_{TPEB} = \Delta H - \Delta P_{PY1} \quad (15)$$

Полученное значение $(\Sigma \Delta P_{уч.})_{TPEB}$ используется для подбора балансового вентиля, устанавливаемого на подающем (или обратном) подводящем трубопроводе, и потерь давления балансового вентиля.

Расчетный перепад давления на РО по потоку через байпас $\Delta P_{p.o.2}$, Па вычисляется по выражению:

$$\Delta P_{p.o.2} = 0,1 \left(\frac{G_{2\max}}{k_{vs}} \right)^2. \quad (16)$$

Расчетные потери давления на регулируемом участке байпаса принимаются равными

$$\Delta P_{PY2} = \Delta P_{PY1}. \quad (17)$$

Требуемая потеря давления трубопровода байпаса и установленного на нем балансового вентиля равна

$$\Delta P_{бл.} = \Delta P_{PY2} - \Delta P_{p.o.2}. \quad (18)$$

Полученное требуемое значение $\Delta P_{бл.}$ используется для подбора балансового вентиля, устанавливаемого на байпасае, и потерь давления балансового вентиля.

3.2 Методика подбора трехходового регулирующего органа для узла смешения

В схеме узла смешения с трехходовым РО в двух вариантах его установки, которая показана на рис.9, предусматривается смесительный насос, устанавливаемый на подмешивающем или циркуляционном трубопроводе. Он предназначен для поддержания постоянного циркуляционного потока через объект регулирования (систему отопления или теплообменник).

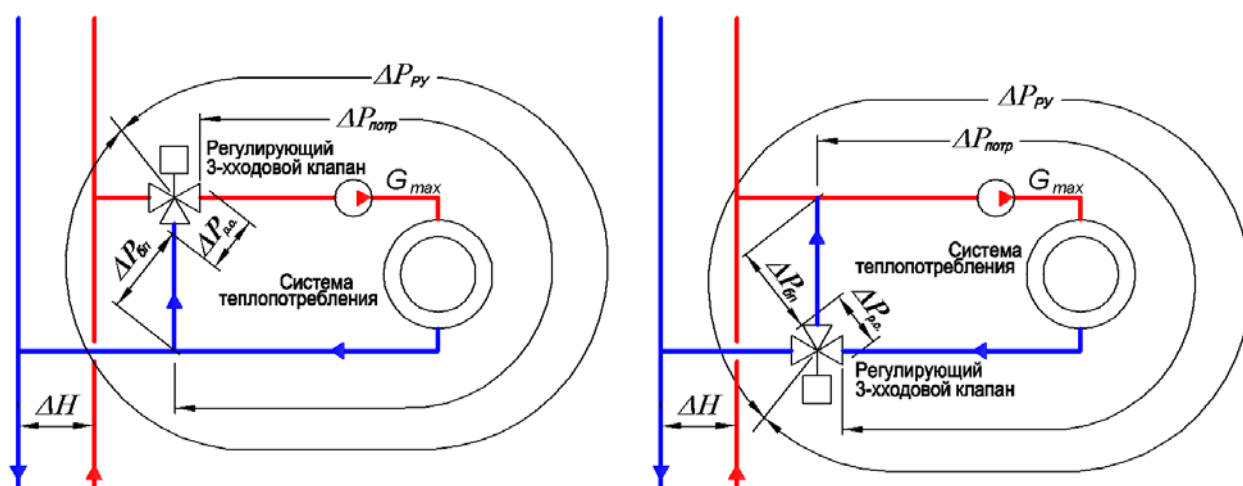


Рис.9. Расчетная схема узла смешения с трехходовым регулирующим органом в двух вариантах его установки

Автоматическое качественное регулирование температуры теплоносителя осуществляется за счет изменения пропорций смешиваемых потоков сетевой и обратной воды с помощью трехходового РО.

В крайнем положении штока трехходовой РО перекрывает сетевую воду, и общий циркуляционный поток проходит через полностью открытый клапан подмешивающего трубопровода. Данная гидравлическая схема циркуляционного кольца является расчетной в методике подбора трехходового РО для узла смешения. В этом случае данное циркуляционное кольцо является расчетным регулируемым участком. Потери давления на регулируемом участке ΔP_{PV} соответствуют циркуляционному давлению, создаваемому смесительным насосом P_H .

Необходимые исходные данные:

- максимальный (или расчетный) расход воды для потребителя теплоты (системы отопления или теплообменника) G_{max} , кг/ч;
- потери давления потребителя (системы отопления или теплообменника с подводными теплопроводами и арматурой) $\Delta P_{номп.}$, Па;
- потери давления в подмешивающем трубопроводе (трубопроводы и запорная арматура) при расчетном расходе (G_{max}) $\Delta P_{бн.}$, Па;
- абсолютное давление перед РО P_1 , МПа;
- температура воды перед РО T_1 , К;
- абсолютное давление насыщенного пара P_H , МПа при температуре T_1 , определяемое из таблицы 1;
- плотность воды ρ , кг/м³ при T_1 , определяемая из таблицы 2.

Следует выбрать тип РО в соответствии с условиями, изложенными в разделе 1, выбрать форму его пропускной характеристики (линейную или равнопроцентную). Затем следует задаться значением авторитета клапана a_{vTPEB} . Требуемое минимальное расчетное значение перепада давления на РО $(\Delta P_{p.o.TPEB})_{min}$, Па вычисляется по выражению:

$$(\Delta P_{p.o.TPEB})_{min} = \frac{\Delta P_{номп.} + \Delta P_{бн.}}{\frac{1}{a_{vTPEB}} - 1} \quad (19)$$

Требуемая условная пропускная способность РО k_{vsTPEB} , м³/ч определяется по выражению:

$$k_{vsTPEB} = \frac{G_{max}}{\rho \sqrt{0,1(\Delta P_{p.o.TPEB})_{min}}} \cdot 10^2 \quad (20)$$

С использованием технических каталогов следует принять к установке такой типоразмер РО, значение условной пропускной способности которого k_{vs} , м³/ч соответствует условию

$$k_{vs} = (0,7 \dots 1,3) k_{vsTPEB} \quad (21)$$

Расчетный перепад давления на РО $\Delta P_{p.o.}$, Па вычисляется по выражению:

$$\Delta P_{p.o.} = 0,1 \left(\frac{G_{max}}{k_{vs}} \right)^2. \quad (22)$$

Принятый к установке РО следует проверить на возникновение кавитации при температуре теплоносителя более 100°C .

Определяется перепад давления на РО ΔP_k , Па, при котором возникает кавитация, по выражению:

$$\Delta P_k = K_k (P_1 - P_H) 10^6, \quad (23)$$

где K_k – коэффициент начала кавитации.

Следует выбирать РО с более высоким значением коэффициента начала кавитации K_k , ориентируясь по каталогам арматуры или из таблицы 3.

Выбор типоразмера РО завершен, если в результате выполненных расчетов соблюдается неравенство $\Delta P_{p.o.} < \Delta P_k$.

Расчетный перепад давления на регулируемом участке ΔP_{PY} , Па определяется по выражению:

$$\Delta P_{PY} = \Delta P_{p.o.} + \Delta P_{номр.} + \Delta P_{бл} \quad (24)$$

Циркуляционный напор проектируемого насоса P_H должен составлять

$$(0,95 \dots 1,10) \Delta P_{PY}. \quad (25)$$

Вышеприведенная методика подбора может быть упрощена путем внесения следующих упрощающих обстоятельств:

- принимается к установке трехходовой РО с линейной пропускной характеристикой;
- суммарные потери давления потребителя (системы отопления или теплообменника с подводными теплопроводами и арматурой) и потери давления в подмешивающем трубопроводе (трубопроводы и запорная арматура) при расчетном расходе G_{max} составляют

$$(\Delta P_{номр.} + \Delta P_{бл.}) \leq 25000 \text{ Па.}$$

При данных упрощающих обстоятельствах методика подбора трехходового РО выполняется в следующей последовательности.

Типоразмер РО трехходового клапана выбирается по его условной пропускной способности k_{vs} , м³/ч, требуемое значение которой определяется на основании соотношения

$$k_{vsTPEB} = \frac{(2G_{max} \dots 3G_{max})}{1000}. \quad (26)$$

Расчетная потеря давления трехходового клапана $\Delta P_{p.o.}$, Па определяется по формуле

$$\Delta P_{p.o.} = 0,1 \left(\frac{G_{max}}{k_{vs}} \right)^2. \quad (27)$$

Дальнейшие расчеты выполняются по (23), (24), (25).