

# СИСТЕМА **KAN-therm**

ПОДОГРЕВ ОТКРЫТЫХ ПЛОЩАДОК

---

**Составители:**

маг. инж. Кшиштов Сеньковский  
маг. инж. Яцек Юхницкий

**Перевод с польского:**

инж. Валентина Куно

Варшава март 2004

Фирма **KAN** Sp. z o. o.

Перепечатка и копирование без согласия фирмы **KAN** Sp. z o. o.  
ЗАПРЕЩЕНЫ!

---

# Содержание

<b>Вступление</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Подогрев открытых площадок</b> .....	<b>3</b>
1.1 Общая характеристика .....	3
1.2. Конструкция нагревательного элемента .....	3
1.3. Величины, характеризующие конструкцию нагревателя .....	4
1.4. Поток тепла через поверхность, контактирующую с наружным воздухом.....	7
1.5. Требуемая температура воды в греющем контуре.....	8
1.6. Сопротивление потоку и охлаждение теплоносителя в греющем контуре.....	9
1.7. Тепловой и гидравлический расчет .....	9
1.8. Схема подводки теплоносителя для подогрева открытых площадок.....	14

# Вступление

**С**истема **KAN-therm**, в состав которой, в частности, входят трубы PE-RT, PE-Xc, предоставляет широкую возможность для применения их в отоплении типа панельное отопление, где соответствующим образом заделанные трубы представляют греющий элемент.

## **К панельному отоплению можно отнести:**

- подогрев открытых площадок, контактирующих с наружным воздухом (спортивных площадок и полей стадионов, коммуникационных трасс, ступенек в переходах, подъездных путей и террас).
- отопление внутри зданий типа обогрева через пол (подпольное отопление), через потолок и стены.

## **В случае отопления внутри зданий можно использовать различную конструкцию греющих элементов (панелей) в зависимости от архитектурных условий, а также предназначения объектов, например,:**

- спортивные залы с обогреваемыми полами типа эластичных (с воздушной прослойкой)
- деревянные полы с воздушной прослойкой,
- конструкция подпольного отопления с греющей плитой, полученной путем заливки бетоном - выполнение строительных работ т. н. "мокрым методом".
- конструкция подпольного отопления с выполнением работ "сухим методом" - особенно полезно при ремонте и реконструкции объектов.

Цель данной разработки - это ознакомление проектировщика со спецификой такого типа решения, а также с методикой проектирования. Нынешнее издание, которое предлагается Вашему вниманию, посвящено подогреву открытых поверхностей, контактирующих с наружным воздухом.

Фирма **KAN** предоставляет программу **KAN co-Graf**, имеющую опцию проектирования подпольного отопления, и программу подбора теплоотдачи обогреваемых полов с воздушной прослойкой в их конструкции (эластичные полы).

Принципы расчета и монтажа системы подпольного отопления приводятся в Справочнике проектировщика и производителя работ, изданном фирмой **KAN**, который представляет собой пособие к системе **KAN-therm**, а соблюдение принципов, приведенных в нем, является основным условием предоставления гарантии.

Программные продукты фирмы **KAN** для проектирования систем отопления, холодного и горячего водоснабжения вместе с циркуляцией доступны на Интернет-сайте [www.kan.com.pl](http://www.kan.com.pl).

# 1. Подогрев открытых площадок

Подогрев открытых площадок может иметь место в следующих случаях:

- подогрев спортивных площадок и полей стадионов, покрытых травой,
- подогрев дорог и коммуникационных трасс, ступенек в переходах и подъездных путей, имеющих контакт с наружным воздухом,
- подогрев взлетных площадок для вертолетов на крышах зданий и т. п.

## 1.1. Общая характеристика

Подогрев поверхности, контактирующей с наружным воздухом, осуществляется, как правило, в следующих случаях:

- предупреждение обледенения поверхности,
- поддержание заданной температуры на поверхности и ее осушение,
- размораживание слоя льда на этих поверхностях.

Такой тип отопления реализуется за счет заделывания труб PE-RT или PE-Xc непосредственно под этими поверхностями (аналогично подпольному отоплению).

С целью предупреждения замерзания теплоносителя используется водный раствор гликоля.

В виду непостоянства внешних условий (при сильном ветре происходит быстрое охлаждение поверхности) следует считаться с тем, что не всегда можно достигнуть вышеописанной цели.

За характерные скорости ветра в типичных ситуациях, имеющих экономично-техническое обоснование, необходимо принимать:

- 1 м/с для защищенных поверхностей (стена леса и т.п.)
- 3 м/с для незащищенных поверхностей
- 0,5 м/с для стадионов и поверхностей с травяным покровом

Максимальную температуру подачи теплоносителя в греющий контур следует принимать равной:

- + 45°C для поверхности с растительным покровом (стадионы),
- + 60°C в остальных случаях.

Положительную температуру на поверхности рекомендуется на уровне + 1°C, но не выше +5°C.

В зависимости от характера работы, а также от предназначения поверхности, наружную температуру можно выбирать в соответствии с нормами или иным способом, если допускается функционирование этих подогреваемых поверхностей в определенном диапазоне наружных температур.

### **Внимание:**

**Если наружные параметры отличаются от приведенных, как стандартных, то необходимо консультироваться, например, в фирме KAN.**

В зимнее время следует обратить внимание на очистку снега с площадки, которая будет подогреваться вышеописанным способом.

## 1.2. Конструкция нагревательного элемента

Можно выделить два вида конструкции:

- трубы прокладываются в сыпучих слоях (песок, смешанный с бетоном, утрамбованный грунт), покрытых сверху травой (спортивные площадки) или брусчаткой, асфальтом. Толщина всех слоев над трубой не должна превышать 25 см при прокладке в грунте, а в песке - не больше 10 см.
- трубы замоноличиваются в бетоне, сверху укладываются каменные плитки (ступеньки переходов, подъездные пути). Над трубами требуется минимум 6 см раствора бетона.

В случае травяного покрытия глубина укладки труб зависит от способа ухода за этой поверхностью (трубы должны быть так заглублены, чтобы не возможно было их повредить в ходе обработки этой поверхности), а в случае прокладки коммуникационных трасс глубина укладки может быть обусловлена архитектурно-конструктивными требованиями.

Под трубами, как правило, присутствует природная подложка или дополнительные подсыпки и природная подложка (грунт).

Пример конструкции подогрева открытых поверхностей представлен на рисунке ниже:

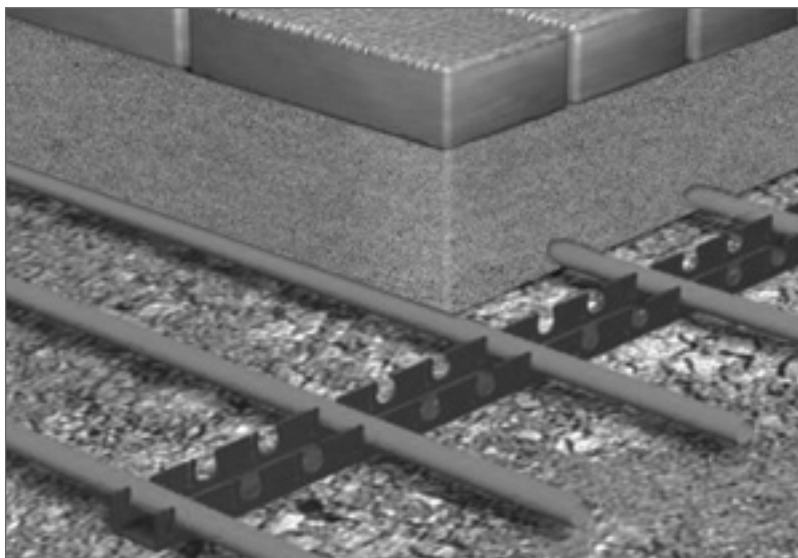


Рис. 1. Подогрев площадки, выложенной плиткой.



Рис. 2. Подогрев поверхности стадиона с травяным покрытием.

### 1.3. Величины, характеризующие конструкцию нагревателя

Конструкцию нагревателя характеризует приведенная толщина слоев над и под трубами:

$$H_0 = \sum e_i/a_i \times 1,16 \text{ [м]}:$$

$e_i$  - толщина слоя [м];

$a_i$  - коэффициент теплопроводности слоя [Вт/мК].

Ввиду ограничений на потери тепла вниз, отношение приведенной толщины слоев сверху (над трубами)  $H_{0B}$  к эквивалентной толщине слоев снизу (под трубами)  $H_{0H}$  должно быть меньше или равно 0,1. Причем,  $H_{0H}$  рассчитывается для всех слоев до глубины промерзания грунта. Если отношение  $H_{0B}/H_{0H}$  не соответствует вышеприведенным условиям, то следует предусмотреть дополнительные изоляционные подсыпки грунта под трубами.

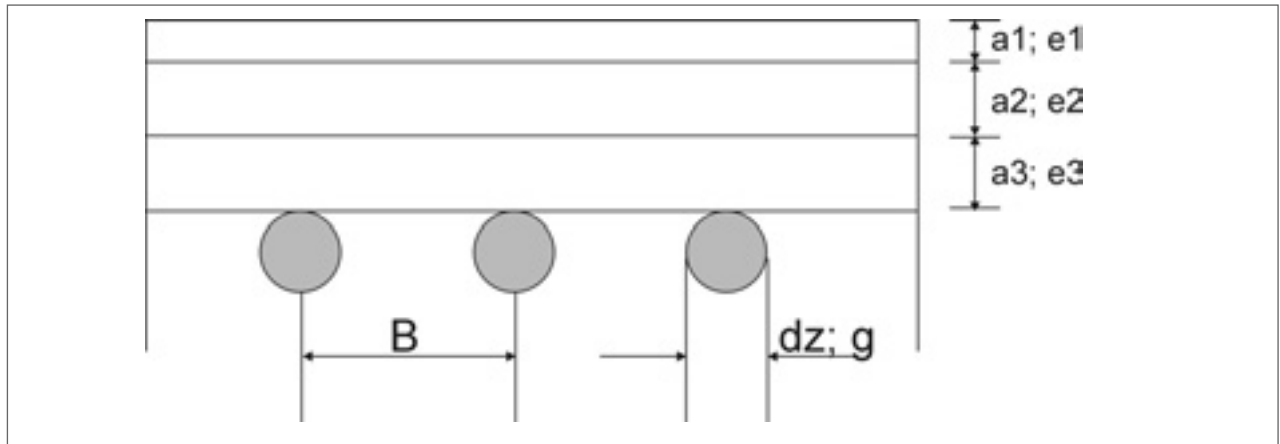


Рис. 2. Величины, характеризующие конструкцию нагревателя.

Геометрия труб ( $dz, g$ ) и их шаг ( $B$ ) при заданной величине  $H_0$  характеризует термическое сопротивление  $R$  [ $m^2K/Вт$ ].

Таб. 1. Значения термического сопротивления  $R$  в зависимости от приведенной толщины слоя  $H_0$  над трубой и шага между трубами  $B$  для трубы  $\varnothing 18 \times 2,0$ .

$H_0$ [м]	$B$ [м]				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$R$ [ $m^2K/Вт$ ]					
0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18
0,08	0,11	0,13	0,16	0,19	0,21
0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25
0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28
0,14	0,18	0,21	0,25	0,28	0,31
0,16	0,20	0,24	0,28	0,31	0,35
0,18	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38
0,20	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42
0,22	0,27	0,33	0,37	0,41	0,45
0,24	0,29	0,35	0,40	0,45	0,49
0,26	0,32	0,38	0,43	0,48	0,52
0,28	0,34	0,41	0,47	0,51	0,56
0,30	0,36	0,44	0,50	0,55	0,59
0,32	0,39	0,47	0,53	0,58	0,63
0,34	0,41	0,49	0,56	0,62	0,67
0,36	0,44	0,52	0,59	0,65	0,70
0,38	0,46	0,55	0,62	0,68	0,74
0,40	0,48	0,58	0,65	0,72	0,77

Таб. 2. Значения термического сопротивления  $R$  в зависимости от приведенной толщины слоя  $h_0$  над трубой и шага между трубами  $B$  для трубы  $\varnothing 25 \times 3,5$ .

h <sub>0</sub> [м]	B [м]				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
0,06	0,07	0,10	0,12	0,14	0,17
0,08	0,09	0,12	0,14	0,17	0,20
0,10	0,11	0,14	0,17	0,20	0,22
0,12	0,13	0,17	0,20	0,23	0,25
0,14	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28
0,16	0,17	0,22	0,25	0,28	0,32
0,18	0,20	0,24	0,28	0,31	0,35
0,20	0,22	0,26	0,31	0,34	0,38
0,22	0,24	0,29	0,33	0,37	0,41
0,24	0,26	0,31	0,36	0,40	0,44
0,26	0,28	0,34	0,39	0,43	0,47
0,28	0,30	0,36	0,41	0,46	0,50
0,30	0,32	0,39	0,44	0,49	0,54
0,32	0,34	0,41	0,47	0,52	0,57
0,34	0,36	0,44	0,50	0,55	0,60
0,36	0,38	0,46	0,52	0,58	0,63
0,38	0,40	0,48	0,55	0,61	0,66
0,40	0,42	0,51	0,58	0,64	0,70

## 1.4. Поток тепла через открытую поверхность

Величина потока тепла, передаваемого через поверхность с заданной температурой, зависит от:

- температуры этой поверхности -  $T_F$
- наружной температуры -  $T_H$
- скорости ветра -  $W$

В случае кратковременной работы нагревателя, дополнительно следует учитывать период запуска системы оборудования, когда происходит нагревание слоев подложки, а также таяние слоя льда, покрывающего эту поверхность.

Требуемый поток тепла в фазе запуска, в основном, зависит от заложенного времени таяния слоя льда. Из таблиц, приведенных ниже, можно определить требуемый поток тепла вверх  $Q$  [Вт/м<sup>2</sup>] для различных наружных температур  $T_H$  [K], температуры поверхности  $T_F$  [K] и скорости ветра  $W$  [м/с].

**Таб. 3. Поток тепла  $Q_1$ , передаваемый вверх, в фазе стабилизации параметров (после достижения заданной температуры на поверхности  $T_F$ ).**

TF [K]	274							278						
TH [K]	268	263	257	255	253	251	249	268	263	257	255	253	251	249
W [м/с]	Q1 [Вт/м <sup>2</sup> ]							Q1 [Вт/м <sup>2</sup> ]						
0,50	77	143	223	250	277	304	331	132	199	280	308	335	363	391
1,00	89	164	254	284	315	345	375	151	227	318	349	379	410	441
3,00	139	254	392	437	483	528	573	233	349	486	532	578	623	669

**Таб. 4. Максимальный поток тепла  $Q_2$ , передаваемый вверх, с учетом таяния тонкого слоя льда, образованного на поверхности, в течение 2 часов.**

TF [K]	274							278						
TH [K]	268	263	257	255	253	251	249	268	263	257	255	253	251	249
W [м/с]	Q2 [Вт/м <sup>2</sup> ]							Q2 [Вт/м <sup>2</sup> ]						
0,50	105	171	250	277	303	330	357	105	171	250	277	303	330	357
1,00	116	190	280	310	340	370	400	116	190	280	310	340	370	400
3,00	157	272	409	455	500	545	591	157	272	409	455	500	545	591

**Таб. 5. Максимальный поток тепла  $Q_3$ , передаваемый вверх, с учетом таяния тонкого слоя льда, образованного на поверхности, в течение 1 часа**

TF [K]	274							278						
TH [K]	268	263	257	255	253	251	249	268	263	257	255	253	251	249
W [м/с]	Q3 [Вт/м <sup>2</sup> ]							Q3 [Вт/м <sup>2</sup> ]						
0,50	147	212	291	318	345	372	399	147	212	291	318	345	372	399
1,00	157	231	321	351	381	411	441	157	231	321	351	381	411	441
3,00	198	313	450	496	541	587	632	198	313	450	496	541	587	632

При расчетах для заданных  $T_F$ ,  $T_H$  и  $w$  следует выбрать наибольшее значение из  $Q_1$ ,  $Q_2$  или  $Q_3$  в зависимости принятого времени таяния льда).

## 1.5. Требуемая температура воды в греющем контуре

Таб. 6. Значения минимальной температуры воды в греющем контуре  $T_{rw}$  [°C] как функции потока тепла  $Q$  [Вт/м<sup>2</sup>], а также термических сопротивлений  $R$  [м<sup>2</sup>К/Вт] и температуры поверхности  $T_F = 274$  K.

TF [K]	274												
Q [Вт/м <sup>2</sup> ]	70	120	170	220	270	320	370	420	470	520	570	620	670
R [м <sup>2</sup> К/Вт]	T <sub>rw</sub> [°C]												
0,08	6,6	10,6	14,6	18,6	22,6	26,6	30,6	34,6	38,6	42,6	46,6	50,6	54,6
0,10	8,0	13,0	18,0	23,0	28,0	33,0	38,0	43,0	48,0	53,0	58,0		
0,12	9,4	15,4	21,4	27,4	33,4	39,4	45,4	51,4	57,4				
0,14	10,8	17,8	24,8	31,8	38,8	45,8	52,8						
0,16	12,2	20,2	28,2	36,2	44,2	52,2							
0,18	13,6	22,6	31,6	40,6	49,6	58,6							
0,20	15,0	25,0	35,0	45,0	55,0								
0,22	16,4	27,4	38,4	49,4									
0,24	17,8	29,8	41,8	53,8									
0,26	19,2	32,2	45,2										
0,28	20,6	34,6	48,6										
0,30	22,0	37,0	52,0										
0,32	23,4	39,4	55,4										
0,34	24,8	41,8											
0,36	26,2	44,2											
0,38	27,6	46,6											
0,40	29,0	49,0											
0,42	30,4	51,4											
0,44	31,8	53,8											
0,46	33,2												
0,48	34,6												
0,50	36,0												
0,52	37,4												
0,54	38,8												
0,56	40,2												
0,58	41,6												
0,60	43,0												

Таб. 7. Значения минимальной температуры воды в греющем контуре  $T_{rw}$  [°C] как функции потока тепла  $Q$  [Вт/м<sup>2</sup>], а также термических сопротивлений  $R$  [м<sup>2</sup>К/Вт] и температуры поверхности  $T_F = 278$  K.

TF [K]	278												
Q [Вт/м <sup>2</sup> ]	70	120	170	220	270	320	370	420	470	520	570	620	670
R [м <sup>2</sup> К/Вт]	T <sub>rw</sub> [°C]												
0,08	10,6	14,6	18,6	22,6	26,6	30,6	34,6	38,6	42,6	46,6	50,6	54,6	58,6
0,10	12,0	17,0	22,0	27,0	32,0	37,0	42,0	47,0	52,0	57,0	62,0		
0,12	13,4	19,4	25,4	31,4	37,4	43,4	49,4	55,4	61,4				
0,14	14,8	21,8	28,8	35,8	42,8	49,8	56,8						
0,16	16,2	24,2	32,2	40,2	48,2	56,2							
0,18	17,6	26,6	35,6	44,6	53,6	62,6							
0,20	19,0	29,0	39,0	49,0	59,0								
0,22	20,4	31,4	42,4	53,4									
0,24	21,8	33,8	45,8	57,8									
0,26	23,2	36,2	49,2										
0,28	24,6	38,6	52,6										
0,30	26,0	41,0	56,0										
0,32	27,4	43,4	59,4										
0,34	28,8	45,8											
0,36	30,2	48,2											
0,38	31,6	50,6											
0,40	33,0	53,0											
0,42	34,4	55,4											
0,44	35,8	57,8											
0,46	37,2												
0,48	38,6												
0,50	40,0												
0,52	41,4												
0,54	42,8												
0,56	44,2												
0,58	45,6												
0,60	47,0												

## 1.6. Сопротивления потоку и охлаждение теплоносителя в греющем контуре

Таб. 8. Скорость воды в трубопроводах, сопротивление потоку и количество транспортируемого тепла  $Q_w$  при различных охлаждениях воды  $dt$  для труб  $\varnothing 18 \times 2$ .

dt [°C]		20	15	10	5
V [м/с]	PI [Па/м]	Qw [Вт]	Qw [Вт]	Qw [Вт]	Qw [Вт]
0,05	7	559	419	279	140
0,1	22	1 117	838	559	279
0,2	75	2 234	1 676	1 117	559
0,3	154	3 351	2 513	1 676	838
0,4	255	4 468	3 351	2 234	1 117
0,5	377	5 585	4 189	2 793	1 396
0,6	520	6 702	5 027	3 351	1 676
0,7	683	7 819	5 864	3 910	1 955
0,8	864	8 936	6 702	4 468	2 234
0,9	1065	10 053	7 540	5 027	2 513
1,0	1283	11 170	8 378	5 585	2 793
1,2	1774	13 404	10 053	6 702	3 351
1,4	2333	15 638	11 729	7 819	3 910
1,6	2961	17 872	13 404	8 936	4 468
1,8	3654	20 106	15 080	10 053	5 027
2,0	4413	22 340	16 755	11 170	5 585

Таб. 9. Скорость воды в трубопроводах, сопротивление потоку и количество транспортируемого тепла  $Q_w$  при различных охлаждениях воды  $dt$  для труб  $\varnothing 25 \times 3,5$ .

dt [°C]		20	15	10	5
V [м/с]	PI [Па/м]	Qw [Вт]	Qw [Вт]	Qw [Вт]	Qw [Вт]
0,05	5	923	692	462	231
0,1	16	1 847	1 385	923	462
0,2	55	3 693	2 770	1 847	923
0,3	112	5 540	4 155	2 770	1 385
0,4	186	7 386	5 540	3 693	1 847
0,5	275	9 233	6 924	4 616	2 308
0,6	380	11 079	8 309	5 540	2 770
0,7	499	12 926	9 694	6 463	3 231
0,8	631	14 772	11 079	7 386	3 693
0,9	778	16 619	12 464	8 309	4 155
1,0	937	18 465	13 849	9 233	4 616
1,2	1296	22 158	16 619	11 079	5 540
1,4	1704	25 851	19 388	12 926	6 463
1,6	2163	29 544	22 158	14 772	7 386
1,8	2669	33 237	24 928	16 619	8 309
2,0	3223	36 930	27 698	18 465	9 233

## 1.7. Тепловой и гидравлический расчет

### 1.7.1. Требуемый поток тепла $Q$

Определяем поток тепла  $Q$  [Вт/м<sup>2</sup>] при заданных внешних условиях (заданы  $T_F$ ,  $T_n$ ,  $W$  и, если учитывается образование льда, то время его таяния) из таблиц 3, 4, 5.

### 1.7.2. Приведенная толщина $H_0$

Определяем значение  $H_0$  над трубой и проверяем условие:  $H_{0B}/H_{0H}$  должно быть не больше 0,1.

### 1.7.3. Определение требуемого сопротивления $R$

Для принятого потока тепла  $Q$  [Вт/м<sup>2</sup>], температуры поверхности  $T_F$  и температуры воды  $T_{pw}$  из таблицы 6 или 7 выбираем требуемое сопротивление  $R$  [м<sup>2</sup>К/Вт].

### 1.7.4. Определение реального сопротивления $R_{rz}$ .

По таблицам 1 и 2 для найденного значения  $H_0$  выбираем сопротивление  $R_{rz}$  [м<sup>2</sup>К/Вт] наиболее наиболее приближенное к рассчитанному в п. 1.7.3 и на основании этого выбираем диаметр трубы и шаг между ними  $B$ .

### 1.7.5. Определение реальной минимальной температуры воды $T_{pw}$

Для рассчитанного  $R_{rz}$  (п. 1.7.4.) определяем требуемую реальную температуру воды из выражения:

$$T_{pwr} = Q \times R_{rz} + T_F.$$

### 1.7.6. Мощность греющего контура $Q_w$

Если известна длина греющего контура  $L_w$ , например, из геометрии нагреваемой поверхности (длина стороны площадки), определяем обслуживаемую через нее площадь поверхности  $F$  из выражения:

$$F = L_w \times B \text{ [м}^2\text{]}$$

и определяем требуемую мощность греющего контура:

$$Q_w = Q \times F \times 1.1 \text{ [Вт]}$$

Если известна площадь поверхности  $F$  и знаем, что она будет обслуживаться одним греющим контуром, то его длину можно определить из зависимости:

$$L_w = F / B \text{ [м]}$$

и определяем требуемую мощность греющего контура:

$$Q_w = Q \times F \times 1.1 \text{ [Вт]}$$

### 1.7.7. Линейные потери давления $P_l$

Из таблиц 8 и 9 в зависимости от принятого диаметра трубы выбираем охлаждение  $dt$  воды и для подсчитанного значения  $Q_w$  отсчитываем линейное сопротивление  $P_l$ .

### 1.7.8. Гидравлическое сопротивление греющего контура $P$

Гидравлическое сопротивление греющего контура определяем по формуле  $P = L_w \times P_l$  [Па]

### 1.7.9. Анализ потерь давления Р в греющем контуре

Если расчетное сопротивление слишком большое, то необходимо повторить вычисления от пункта 1.7.6, и изменить:

- диаметр трубы на больший (выбрать новое R и в соответствии с пунктами 1.7.4 и 1.7.5 скорректировать температуру воды  $T_{rw}$ ),,
- или принять большее охлаждение воды  $dt$  и повторить шаги от п. 1.7.7,,
- или разделить греющий контур на несколько меньших и повторить шаги от п. 1.7.6.

#### Пример 1

Подогрев греющей плиты стадиона с размерами 70x100 м.

Трубы уложены под поверхность на глубину 25 см.

Цель отопления - размораживание тонкого слоя льда в течение 2 часов, работа при низкой наружной температуре - 5°C и поддержание температуры на поверхности  $T_F + 1^\circ\text{C}$ .

#### Согласно п. 1.7.1

для  $w=0,5$  м/с,  $T_n = 268$  К,  $T_F = 274$  К из таблицы 4 выбираем  $Q = 105$  Вт/м<sup>2</sup> (> от 77 Вт/м<sup>2</sup> - таб. 3).

	а [Вт/мК]	е [м]	Но
грунт с растительн.	0,9	0,1	0,13
грунт	1,74	0,15	0,10
		Сумма	0,23

#### Согласно п. 1.7.2

определяем  $h_o = 0,23$  м - расчет представлен ниже в таблице.

#### Согласно п. 1.7.3

для выбранного потока тепла  $Q = 105$  [Вт/м<sup>2</sup>] (наиболее близкое значение 120 - таб. 6), температуры поверхности  $T_F = 274$  К и принятой температуры воды  $T_{rw} = 39,24$  из таблицы 6 выбираем требуемое сопротивление  $R = 0,32$  [м<sup>2</sup>К/Вт].

#### Согласно п. 1.7.4

по таблицам 1 и 2 для рассчитанного значения  $h_o = 0,23$  определяем сопротивление  $R_{rz}$ , наиболее близкое к требуемому (см. п. 1.7.3) и на основании этого выбираем варианты:

- труба диаметра  $\varnothing 18$  и ее шаг  $B = 0,15$  м      отсюда  $R_{rz} = 0,34$
- труба диаметра  $\varnothing 25$  и ее шаг  $B = 0,2$  м      отсюда  $R_{rz} = 0,34$
- труба диаметра  $\varnothing 25$  и ее шаг  $B = 0,25$  м      отсюда  $R_{rz} = 0,385$

#### Согласно п. 1.7.5

для рассчитанного  $R_{rz}$  устанавливаем требуемую реальную температуру воды из зависимости:

- для  $\varnothing 18$  и  $B = 0,15$  м       $T_{pwr} = 105 \times 0,34 + 1 = 36,7^\circ\text{C}$
- для  $\varnothing 25$  и  $B = 0,2$  м       $T_{pwr} = 105 \times 0,34 + 1 = 36,7^\circ\text{C}$
- для  $\varnothing 25$  и  $B = 0,25$  м       $T_{pwr} = 105 \times 0,385 + 1 = 41,4^\circ\text{C}$

#### Согласно п. 1.7.6

принимаем длину греющего контура, равной 70 м (короткая сторона греющей плиты стадиона):

- для  $\varnothing 25$  и шага  $B = 0,2$  м

$$F = 70 \times 0,2 = 14 \text{ м}^2:$$

$$Q_w = 14 \times 105 \times 1,1 = 1617 \text{ Вт}$$

- для  $\varnothing 25$  и шага  $B = 0,25$  м

$$F = 70 \times 0,2 = 17,5 \text{ м}^2:$$

$$Q_w = 17,5 \times 105 \times 1,1 = 2021 \text{ Вт}$$

- для  $\varnothing 18$  и шага  $B = 0,15 \text{ м}$

$$F = 70 \times 0,15 = 10,5 \text{ м}^2:$$

$$Q_w = 10,5 \times 105 \times 1,1 = 1213 \text{ Вт}$$

### Согласно п. 1.7.7

перепад давления  $P$ :

- из таблицы 9 для  $\varnothing 25$  и для  $dt = 5^\circ\text{C}$  получим:

$$Q_w = 2021 \text{ Вт отсюда: } P_l = 200 \text{ Па/м. Тогда: } P = 70 \times 200 = 14\,000 \text{ Па}$$

$$Q_w = 1617 \text{ Вт отсюда: } P_l = 150 \text{ Па/м. Тогда: } P = 70 \times 150 = 10\,500 \text{ Па}$$

- из таблицы 8 для  $\varnothing 18$  и для  $dt = 5^\circ\text{C}$  получим:

$$Q_w = 1213 \text{ Вт отсюда: } P_l = 300 \text{ Па/м. Тогда: } P = 70 \times 300 = 21\,000 \text{ Па.}$$

Так как падение давления слишком большое, то принимаем  $dt = 10^\circ\text{C}$  отсюда:  $P_l = 100 \text{ Па/м}$ .

$$\text{Тогда } P = 70 \times 100 = 7\,000 \text{ Па}$$

### Температура подачи воды:

- для  $\varnothing 18$  и шага  $B = 0,15 \text{ м}$  ;  $t_{\text{п}} = t_{\text{рв}} + dt = 36,7 + 10 = 46,7^\circ\text{C}$ .
- для  $\varnothing 25$  и шага  $B = 0,2 \text{ м}$  ;  $t_{\text{п}} = t_{\text{рв}} + dt = 36,7 + 5 = 41,7^\circ\text{C}$ .
- для  $\varnothing 25$  и шага  $B = 0,25 \text{ м}$  ;  $t_{\text{п}} = t_{\text{рв}} + dt = 41,4 + 5 = 46,4^\circ\text{C}$ .

выбираем трубу  $\varnothing 25$  с шагом  $B = 0,25 \text{ м}$  и  $T_{\text{п}} = 45^\circ\text{C}$

Полная мощность для подогрева всей поверхности:

$$Q_c = 105 \times 100 \times 70 \times 1,1 = 808\,500 \text{ Вт.}$$

Полное количество труб:

$$L_c = 100 \times 70 / 0,25 = 28\,000 \text{ м.}$$

## Пример 2

Подогрев террасы  $10 \times 10 \text{ м}$ , выложенной мрамором с толщиной  $5 \text{ см}$ .

Над трубой дополнительно  $6 \text{ см}$  бетона.

Наружная температура  $-20^\circ\text{C}$ , температура на поверхности  $+1^\circ\text{C}$ . Необходимо растопить тонкий слой льда в течении  $2$  часов.

### Согласно п. 1.7.1

для  $W = 3 \text{ м/с}$ ,  $T_{\text{н}} = 253 \text{ К}$  и  $T_{\text{г}} = 274 \text{ К}$  из таблицы 5 выбираем  $Q = 500 \text{ Вт/м}^2$ .

### Согласно п. 1.7.2

определяем  $H_0 = 0,08 \text{ м}$  - расчет представлен ниже в таблице.

	а [Вт/мК]	е [м]	Но
мрамор	3,54	0,05	0,02
ветон	1,16	0,06	0,06
		сумма	0,08

### Согласно п. 1.7.3

для выбранного потока тепла  $Q = 500$  [Вт/м<sup>2</sup>] (наиболее близкое значение 520 - таб. 6), температуры поверхности  $T_F = 274$  К и принятой температуры воды  $T_{pwr} = 42,6^\circ\text{C}$  из таблицы 6 выбираем требуемое сопротивление  $R = 0,08$  [м<sup>2</sup>К/Вт].

### Согласно п. 1.7.4

по таблицам 1 и 2 для значения  $N_0 = 0,08$  определяем сопротивление  $R_{r2}$ , наиболее близкое к требуемому (см. п. 1.7.3) и на основании этого выбираем диаметр трубы  $\varnothing 18 \times 2$  и ее шаг  $B = 0,1$  м отсюда  $R_{r2} = 0,11$  или для трубы  $\varnothing 25$  и  $B = 0,15$  м отсюда  $R_{r2} = 0,12$

### Согласно п. 1.7.5

для выбранного  $R = 0,11$  для  $\varnothing 18$  и  $R = 0,12$  для  $\varnothing 25$  устанавливаем требуемую реальную температуру воды из зависимости:

- для  $\varnothing 18$   $T_{pwr} = 500 \times 0,11 + 1 = 56^\circ\text{C}$ ,
- для  $\varnothing 25$   $T_{pwr} = 500 \times 0,12 + 1 = 61^\circ\text{C}$ .

Выбираем  $\varnothing 18$  с шагом  $B = 0,1$  м.

Полная мощность, необходимая для подогрева всей поверхности:

$$Q_C = 10 \times 10 \times 500 \times 1,1 = 55\,000 \text{ Вт}$$

Рассчитаем полную длину укладываемых труб:

$$L_C = 10 \times 10 / 0,1 = 1000 \text{ м.}$$

Рассчитаем мощность, приходящуюся на 1 м трубы:

$$Q_m = Q_C / L_C = 55000 / 1000 = 55 \text{ Вт/м.}$$

Так как длина стороны подогреваемого поля 10 м, то длина греющего контура  $L_w$  может быть кратна этому значению, таким образом, 10 м, 20 м, 30 м и т.д.

Для различных длин контура, рассчитаем мощность греющего контура и падение давления в нем.

■  $L_w = 10$  м, тогда  $Q_w = Q_m \times L_w = 10 \times 55 = 550$  Вт. Из таб. 8 при  $dt = 5$  выберем  $V = 0,2$  м/с и  $P_l = 75$  Па/м, следовательно,  $P = 10 \times 75 = 750$  Па.

■  $L_w = 30$  м, тогда  $Q_w = Q_m \times L_w = 30 \times 55 = 1650$  Вт. Из таб. 8 при  $dt = 5$  выберем  $V = 0,6$  м/с и  $P_l = 520$  Па/м, следовательно,  $P = 30 \times 520 = 15\,600$  Па.

■  $L_w = 40$  м, тогда  $Q_w = Q_m \times L_w = 40 \times 55 = 2200$  Вт. Из таб. 8 при  $dt = 5$  выберем  $V = 0,8$  м/с и  $P_l = 864$  Па/м, следовательно,  $P = 40 \times 864 = 34\,560$  Па.

Выбираем  $L_w = 30$  м, потому что сопротивление потоку близко к принятому (не превышает 20 кПа).

Температура подачи воды  $t_{п} = T_{pwr} + dt = 56 + 5 = 61^\circ\text{C}$  - принимаем  $60^\circ\text{C}$

### 1.8. Схема подвода теплоносителя для подогрева открытых площадок.

В случае подогрева больших открытых площадок, например, спортивные площадки 70x100 м, подвода теплоносителя к греющим трубопроводам должна осуществляться с помощью коллекторов, выполненных из труб больших диаметров. Греющие трубопроводы должны непосредственно соединяться с коллекторами.

Ввиду неуместности применения регулирующих элементов типа вентиль для обеспечения равномерного потока теплоносителя по греющим трубам рекомендуется использовать схему Тичельмана разводки греющих трубопроводов (равные сопротивления потоку для каждого циркуляционного кольца)

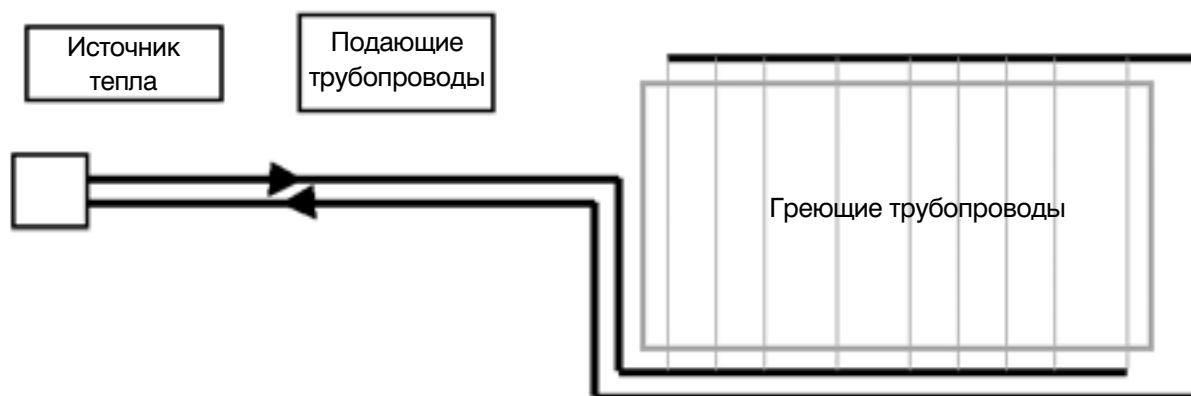


Рис. 4. Примерная схема подвода теплоносителя.