

### 3. ПОДЭТАП 1.3. ПРОВЕДЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ ИЗ ВПСТ ТРУБ

#### 3.1. Постановка вопроса

Гидравлический расчет безнапорных трубопроводов водоотведения следует выполнять в соответствии с требованиями СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» и СП 40-102-2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования».

В отечественной практике полиэтиленовые трубы диаметром до 1800 мм предполагается использовать впервые.

Анализ с помощью диаграммы Moody (рис. 12) показывает, что трубопроводы водоотведения из труб витых с полой стенкой (ВПСТ) из полиэтилена низкого давления (ПНД) диаметром 600-1800 мм будут работать в области гидравлически гладких труб. То есть, коэффициент гидравлического сопротивления трению по длине трубопровода  $\lambda$  не зависит от коэффициента абсолютной шероховатости  $K_s$  материала труб ВПСТ. И его значения могут определяться по формуле Блазауса.

Ввиду отсутствия опытного подтверждения этому, и невозможность определения по этой формуле гидравлических параметров при частичном заполнении труб пока должна использоваться с некоторым запасом для гидравлических расчетов трубопроводов водоотведения из витых с полой стенкой (ВПСТ) труб из полиэтилена низкого давления, производства ООО «Бородино-Пласт» методика гидравлического расчета, приводимая в СП 40-102-2000.

Таблица 17

Расчетные гидравлические параметры трубопроводов водоотведения из ВПСТ труб из ПНД

d, мм		$v_p^*, \text{ м}^2/\text{с} \cdot 10^6$		$V_p, \text{ м/с}$		$K_s, \text{ м} \cdot 10^4$		$\left(\frac{d}{K_s}\right)_p \cdot 10^{-3}$		$Re_p \cdot 10^{-5}$	
внутр.	расчетн.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
600	600	0,9	4,67	0,95	5	0,1	0,4	60	15	1,2	6,3
1800	1800	0,9	4,67	1,20	5	0,1	0,4	180	45	4,6	2,4

\*таблица 18

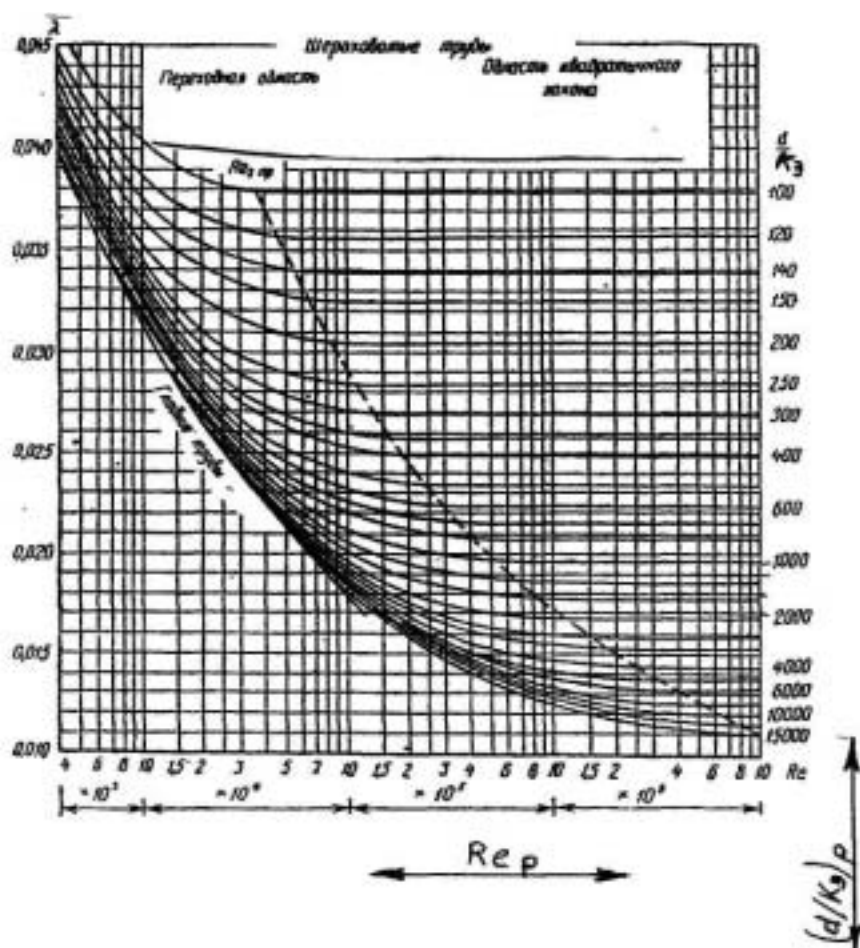


Рис. 12. Диаграмма Moody с расчетными (табл. 17) числами Рейнольдса, диаметрами  $d$  и коэффициентами абсолютной шероховатости [1] для витых с полый стенкой труб (ВПСТ) из полиэтилена низкого давления диаметром 600-1800 мм, производства ООО «Бородино-Пласт»

Таблица 18

Значения коэффициента кинематической вязкости в зависимости от количества взвешенных веществ и температуры стоков

Температура стоков, °С	Значения $\nu$ , $10^{-6}$ м <sup>2</sup> /с, при количестве взвешенных веществ, мг/л						
	менее 100	100	200	300	400	500	600
1	2	3	4	5	6	7	8
2	1,67	2,17	2,67	3,17	3,67	4,17	4,67
3	1,61	1,83	2,05	2,77	2,49	2,71	2,93
4	1,56	1,68	1,80	1,92	2,04	2,16	2,28
5	1,52	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92	2,00
6	1,47	1,52	1,58	1,63	1,69	1,76	1,80
7	1,42	1,46	1,50	1,54	1,58	1,62	1,67
8	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51	1,54	1,58
9	1,35	1,37	1,40	1,42	1,45	1,47	1,49
10	1,31	1,33	1,35	1,37	1,39	1,41	1,43
11	1,27	1,29	1,30	1,32	1,34	1,35	1,37
12	1,24	1,25	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32
13	1,21	1,22	1,23	1,25	1,26	1,27	1,28
14	1,17	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23
15	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19
16	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,16
17	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,12	1,13
18	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,10
19	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06
20	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04
21	0,99	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02
22	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98
23	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96
24	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94
25	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,92	0,92

### 3.2. Методика гидравлических расчетов

Для проведения гидравлических расчетов трубопроводов водоотведения из витых с поллой стенкой (ВПСТ) труб из полиэтилена низкого давления (ПНД) использовалась следующая методика.

Уклон трубопровода  $i$ , системы водоотведения определялся по формуле:

$$i = \frac{\lambda_s V^{b_s}}{2g4R_s} \quad (31)$$

где  $\lambda_s$  – коэффициент гидравлического сопротивления трения по длине трубопровода;

$V$  – средняя скорость течения стоков, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$R_s$  – гидравлический радиус потока, м;

$b_s$  – безразмерный показатель степени;

$$\lambda_s = 0,2 \left( \frac{K_s}{4R_s} \right)^a \quad (32)$$

где  $a$  – эмпирический показатель степени, зависящий от  $K_s$ ,

$$a = 0,3124K_s^{0,0516} \quad (33)$$

$$b_s = 3 - \frac{\lg Re_{ss}}{\lg Re_\phi} \quad (34)$$

где  $K_s$  – коэффициент эквивалентной шероховатости, м, согласно СП 40-102-2000 не может приниматься менее 0,001 мм.

Для труб производства ООО «Бородино-Пласт» значения  $K_s$  не установлены, принимаем 0,02 мм.

Числа Рейнольдса определяются по формулам:

$$Re_{ss} = \frac{500 \cdot 4R_s}{K_s} \quad (35)$$

$$Re_\phi = \frac{V \cdot 4R_s}{\nu} \quad (36)$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с.

Для бытовых стоков принимали  $\nu = 1,49 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с. При транспортировании по трубопроводу чистой воды значения коэффициента кинематической вязкости принимаются с учетом ее расчетной температуры,  $t_c$ , °С.

$t_c$	5	10	12	14	16	18	20	30	40
$\nu \cdot 10^6$	1,52	1,31	1,24	1,17	1,11	1,06	1,01	0,8	0,66

При принятии значений  $\nu$  для стоков, содержащих взвешенные вещества, помимо температуры учитывается их количество (табл. 19).

Средняя скорость течения жидкости  $V_n$  при неполном наполнении трубопровода определялась по формуле:

$$V_n = V_n \left( \frac{R_{\text{нп}}}{R_{\text{пн}}} \right)^{1.48} \quad (37)$$

где  $V_n$  – средняя скорость течения жидкости при полном наполнении трубопровода, м/с;

$R_{\text{нп}}, R_{\text{пн}}$  – гидравлические радиусы при неполном и полном наполнении трубопровода, м.

Расход жидкости при определенном наполнении определялся по формуле:

$$q_n = V_n \cdot \omega \quad (38)$$

где  $\omega$  – живое сечение потока жидкости при данном наполнении трубопровода, м<sup>2</sup>,

которое равно:  $\omega = K_{\omega} d^2$ , где  $d$  – расчетный (внутренний) диаметр труб, м, без учета допусков ( $\pm 0,91\%$  для диаметра 700 мм и  $\pm 0,36\%$  для 1800 мм).

Для определения параметров сечения потока в трубопроводе, работающем с частичным наполнением использовались данные табл. 19.

Гидравлический радиус  $R_n = R \cdot d \quad (39)$

Таблица 19

h/D	$K_{\omega}$	$R_n$	$R_{\text{нп}}/R_{\text{пн}}$	$V_n/V_n^*$	$q_n/q_n^*$
1	2	3	4	5	6
0,1	0,04088	0,0635	0,2540	-	-
0,15	0,07388	0,0929	0,3711	-	-
0,20	0,11182	0,1206	0,4824	-	-
0,25	0,15355	0,1466	0,5912	-	-
0,30	0,19817	0,1709	0,6836	0,78	0,20
0,35	0,24498	0,1935	0,7816	0,86	0,28
0,40	0,29337	0,2142	0,8568	0,92	0,34
0,45	0,34278	0,2331	0,9322	0,96	0,43
0,50	0,39270	0,2500	1,0000	1,00	0,50
0,55	0,44262	0,2649	1,0617	-	0,59
0,60	0,49203	0,2776	1,1104	1,07	0,66
0,65	0,54042	0,2881	1,1596	-	0,76
0,70	0,58723	0,2962	1,1048	1,08	0,84
0,75	0,63185	0,3017	1,2053	-	0,88

1	2	3	4	5	6
0,80	0,67357	0,3042	1,2168	1,07	0,91
0,85	0,71152	0,3033	1,2054	-	0,95
0,90	0,74452	0,2980	1,1920	1,04	0,98
0,95	0,77072	0,2865	1,1115	-	0,99
1,00	0,78540	0,2500	1,0000	1,00	1,00

\*Скорости и расходы при полном «п» и частичном «н» наполнениях с точностью 5% определяли также с использованием этих соотношений.

### 3.3. Проведение гидравлических расчетов

Гидравлические расчеты трубопроводов проводились на компьютере «Pentium 3» в системе Microsoft Windows по программе Excel в соответствии с принятой методикой и сортамента труб ВПСТ.

### 3.4. Результаты гидравлических расчетов

Результаты расчетов представлены в таблицах 20 и 21, а также на номограмма 13 и 14.

### 3.5. Выводы

1. Показано, что трубопроводы водоотведения из витых с полой стенкой (ВПСТ) труб из полиэтилена низкого давления (ПНД) диаметром 600-1800 мм производства ООО «Бородино-Пласт» работают в области гидравлического сопротивления гладких труб и для их гидравлического расчета можно использовать формулу Блазиуса, в которой  $\lambda$  не зависит от  $K_s$ .

2. Рекомендовано для гидравлических расчетов трубопроводов водоотведения из ВПСТ труб использовать методику СП 40-102-2000, так как она позволяет определять гидравлические параметры с учетом заполнения труб.

3. В результате гидравлических исследований разработаны таблицы и номограммы, с помощью которых можно принимать гидравлические параметры трубопроводов с точностью 5% и 10% соответственно.

Значение потерь напора  $1000i$  следует увеличить на 3-5% с целью учета гидравлических сопротивлений в стыках труб.

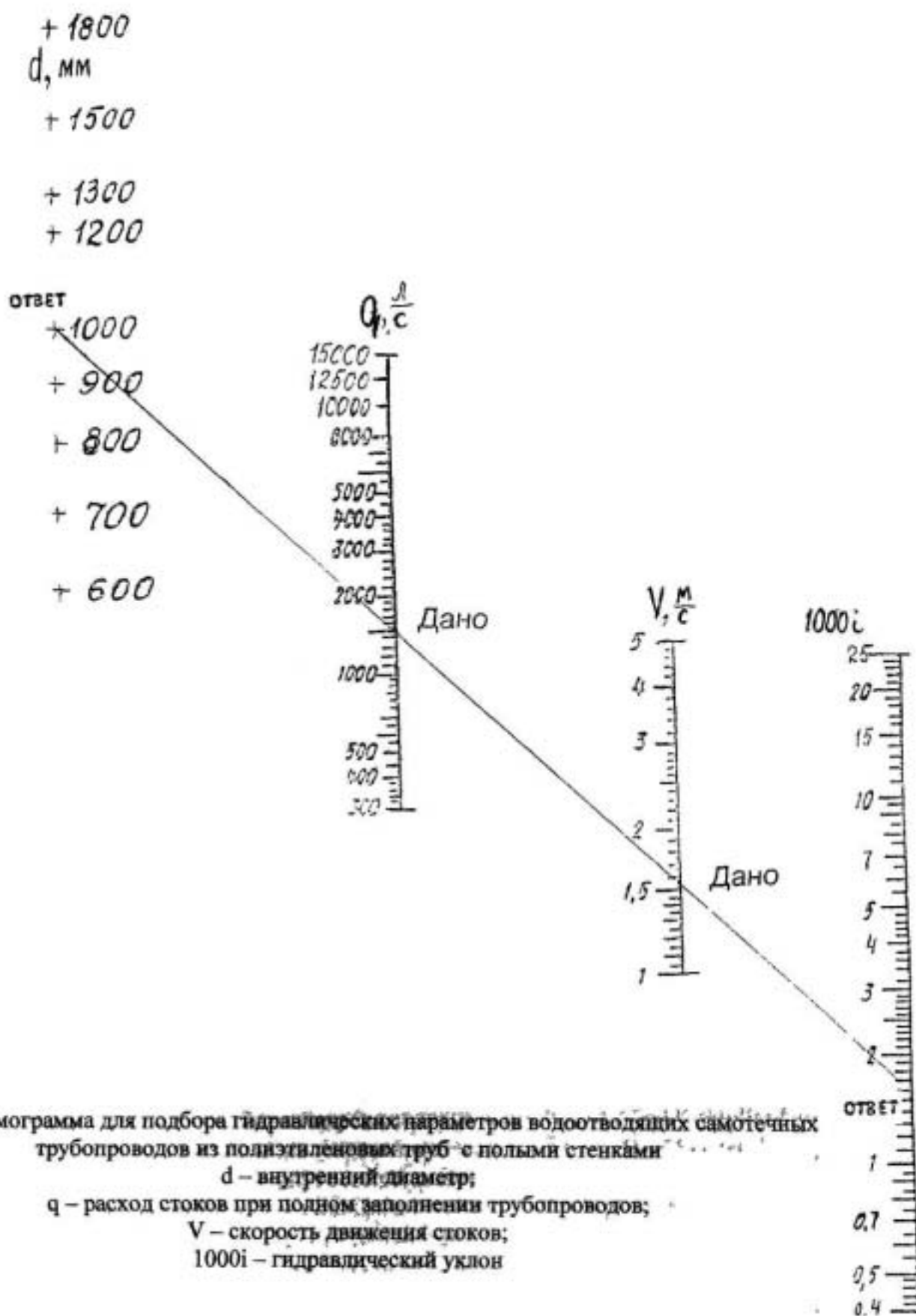


Рис. 13. Номограмма для подбора гидравлических параметров водоотводящих самотечных трубопроводов из полиэтиленовых труб с полыми стенками  
 $d$  – внутренний диаметр;  
 $q$  – расход стоков при полном заполнении трубопроводов;  
 $V$  – скорость движения стоков;  
 $1000i$  – гидравлический уклон

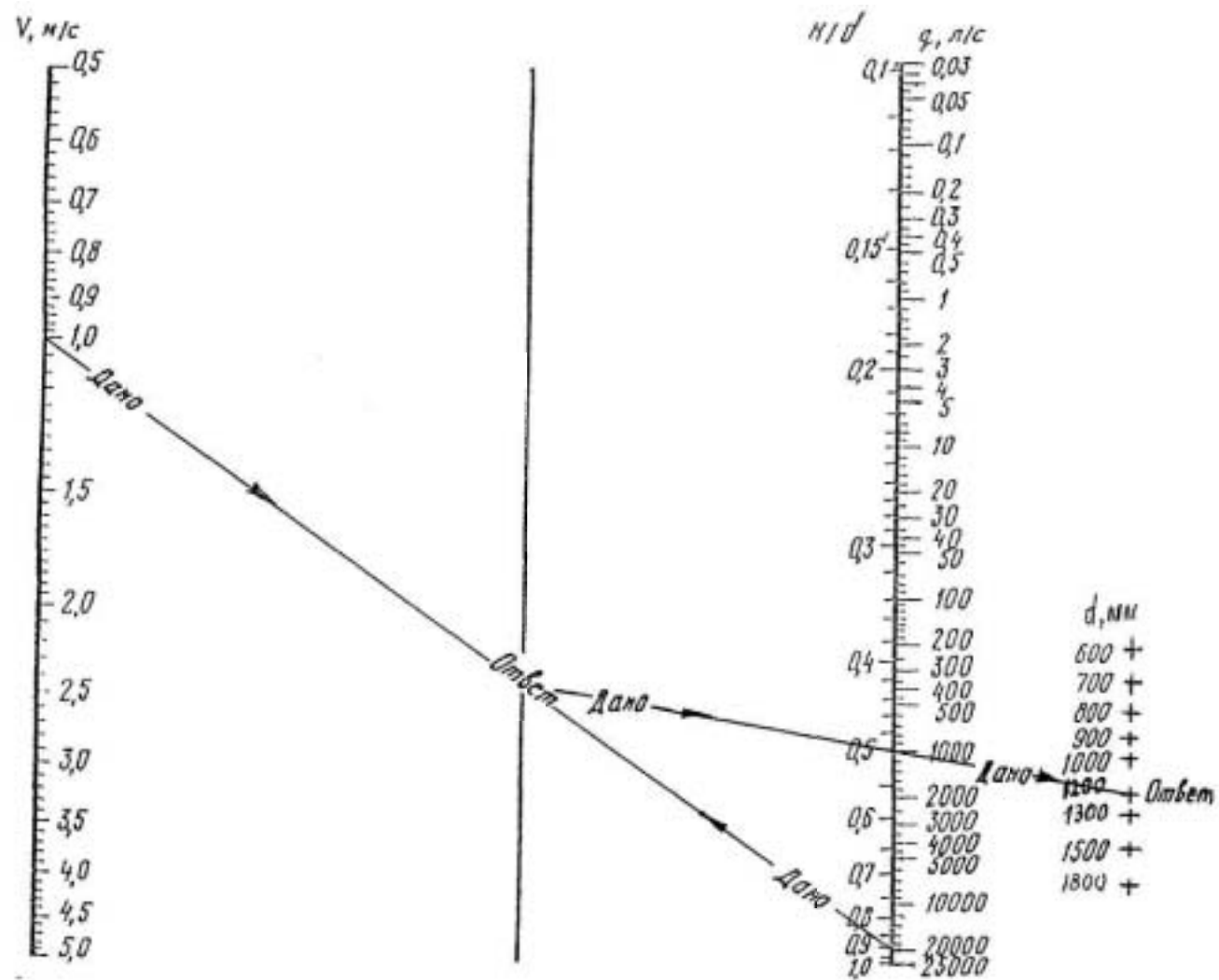


Рис. 14. Номограмма для определения диаметров,  $d$  водоотводящих трубопроводов из полиэтиленовых труб с полыми стенками в зависимости от скорости движения стоков,  $V$ , их расхода,  $q$  и заполнения  $n/d$  при гидравлических расчетах

Таблица 20 для гидравлического расчета канализационных трубопроводов из полиэтиленовых труб с полыми стенками ( $K_s = 0,02$  мм и  $\gamma = 1,49 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с)

q, л/с	Наружный диаметр/толщина стенки трубы, мм																	
	620/10		740/20		860/30		980/40		1100/50		1400/100		1500/100		1800/150		2200/200	
	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
142	0,34	0,50	0,16	0,37														
212	0,71	0,75	0,33	0,55	0,17	0,42												
283	1,22	1,00	0,57	0,74	0,30	0,56	0,17	0,45										
354	1,84	1,25	0,86	0,92	0,45	0,70	0,25	0,56	0,15	0,45								
424	2,58	1,50	1,21	1,10	0,63	0,84	0,35	0,67	0,21	0,54								
566	4,43	2,00	2,07	1,47	1,07	1,13	0,60	0,89	0,36	0,72	0,15	0,50	0,10	0,43				
636	5,51	2,25	2,57	1,65	1,33	1,27	0,75	1,00	0,45	0,81	0,18	0,56	0,12	0,48				
707	6,72	2,50	3,14	1,84	1,63	1,41	0,91	1,11	0,54	0,90	0,22	0,63	0,15	0,53				
778	8,05	2,75	3,76	2,02	1,94	1,55	1,09	1,22	0,65	0,99	0,26	0,69	0,18	0,59				
848	9,46	3,00	4,41	2,20	2,28	1,69	1,28	1,33	0,76	1,08	0,31	0,75	0,21	0,64	0,10	0,48		
919	11,01	3,25	5,13	2,39	2,65	1,83	1,49	1,45	0,88	1,17	0,36	0,81	0,24	0,69	0,12	0,52		
990	12,67	3,50	5,91	2,57	3,05	1,97	1,71	1,56	1,02	1,26	0,41	0,88	0,28	0,75	0,14	0,56		
1060	14,41	3,75	6,72	2,76	3,47	2,11	1,94	1,67	1,15	1,35	0,47	0,94	0,32	0,80	0,16	0,60		
1131	16,29	4,00	7,59	2,94	3,92	2,25	2,19	1,78	1,30	1,44	0,53	1,00	0,36	0,85	0,18	0,64		
1202	18,28	4,25	8,51	3,12	4,40	2,39	2,46	1,89	1,46	1,53	0,60	1,06	0,40	0,91	0,20	0,68		
1272	20,34	4,50	9,47	3,31	4,89	2,53	2,73	2,00	1,62	1,62	0,66	1,33	0,45	0,96	0,22	0,72		
1343	22,54	4,75	10,49	3,49	5,42	2,67	3,02	2,11	1,80	1,71	0,73	1,19	0,49	1,01	0,24	0,76	0,10	0,53
1413	24,82	5,00	11,55	3,67	5,96	2,81	3,33	2,22	1,98	1,80	0,81	1,25	0,54	1,07	0,27	0,80	0,11	0,56
1508			13,06	3,92	6,74	3,00	3,76	2,37	2,24	1,92	0,91	1,33	0,61	1,14	0,30	0,85	0,12	0,59
1604			14,68	4,17	7,57	3,19	4,22	2,52	2,51	2,04	1,02	1,42	0,69	1,21	0,34	0,91	0,14	0,63
1701			16,40	4,42	8,46	3,39	4,72	2,68	2,80	2,17	1,14	1,50	0,77	1,28	0,38	0,96	0,16	0,67
1797			18,20	4,67	9,38	3,58	5,23	2,83	3,11	2,29	1,26	1,59	0,85	1,35	0,42	1,02	0,17	0,71
1893			20,08	4,92	10,35	3,77	5,77	2,98	3,43	2,41	1,39	1,67	0,94	1,43	0,46	1,07	0,19	0,74
1989			22,06	5,17	11,36	3,96	6,34	3,13	3,76	2,53	1,53	1,76	1,03	1,50	0,51	1,13	0,21	0,78
2136					13,01	4,25	7,25	3,36	4,30	2,72	1,75	1,89	1,18	1,61	0,58	1,21	0,24	0,84



Таблица 21 для гидравлического расчета канализационных трубопроводов из полиэтиленовых труб с полыми стенками ( $K_0 = 0,1$  мм и  $\nu = 1,49 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )

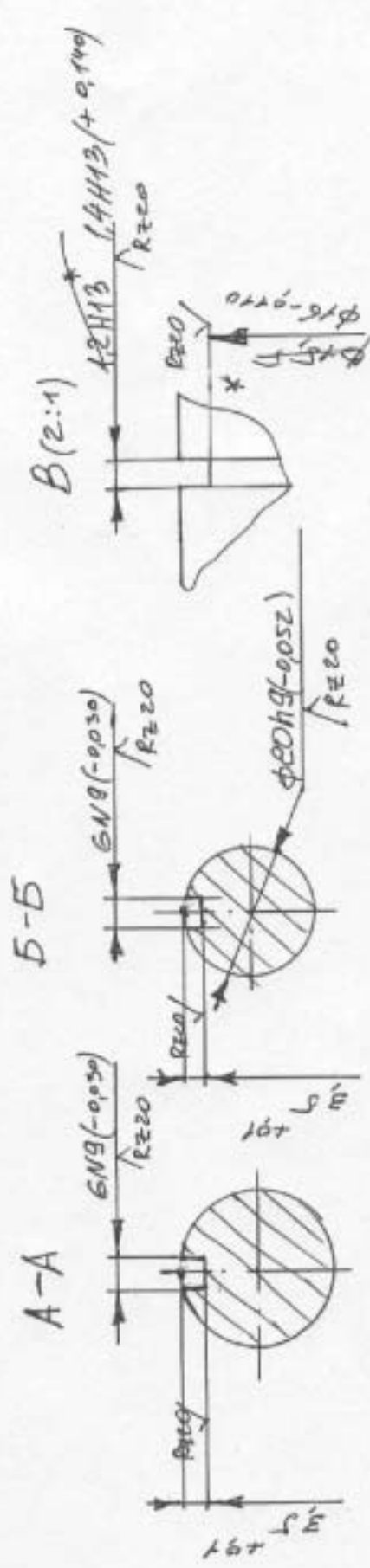
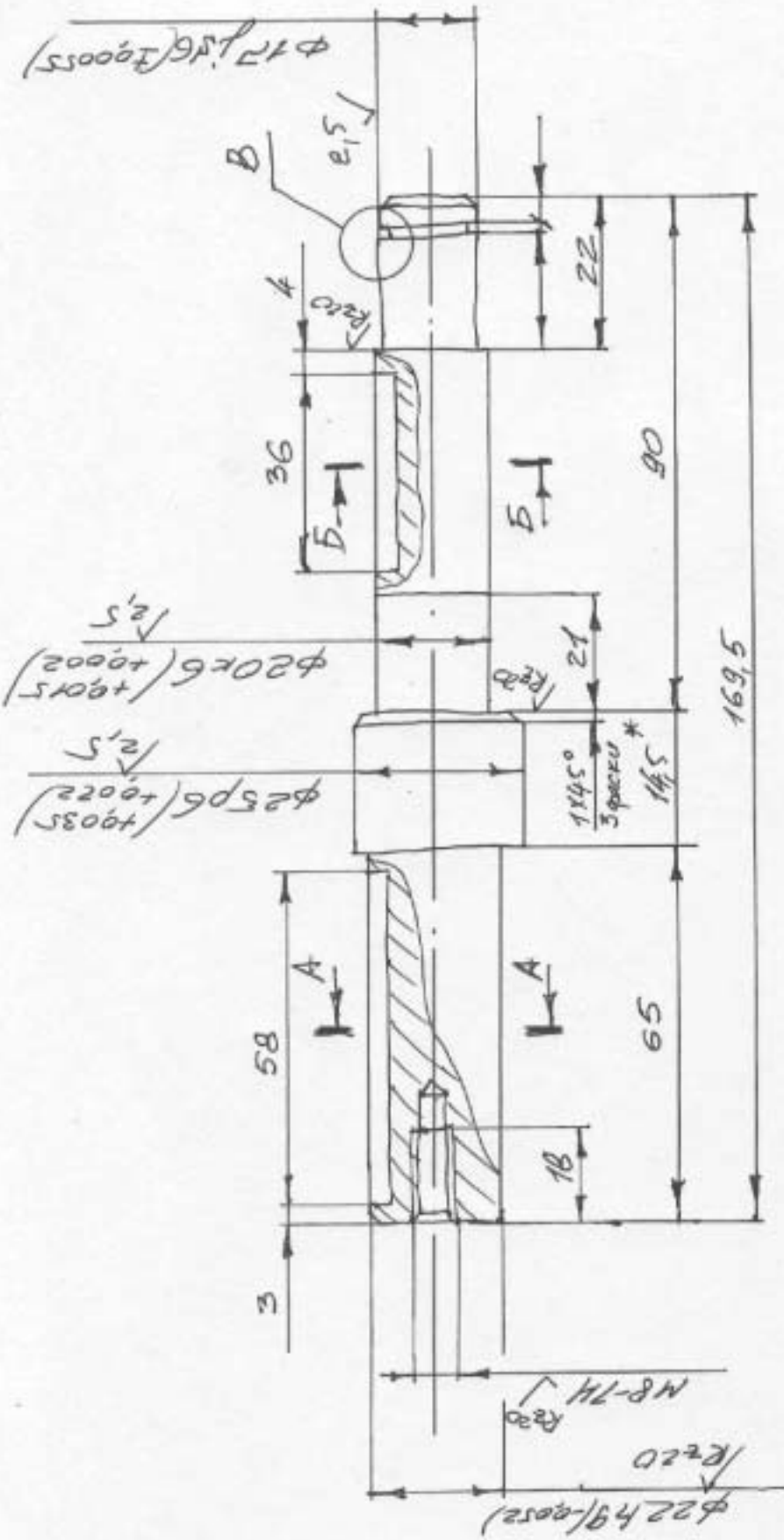
q, л/с	Наружный диаметр/толщина стенки трубы, мм																	
	620/10		740/20		860/30		980/40		1100/50		1400/100		1500/100		1800/150		2200/200	
	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с	1000i	V, л/с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
142	0,37	0,50	0,18	0,37														
212	0,79	0,75	0,37	0,55	0,19	0,42												
283	1,36	1,0	0,63	0,74	0,33	0,56	0,18	0,45										
354	2,08	1,25	0,96	0,92	0,50	0,70	0,28	0,56	0,16	0,45								
424	2,92	1,50	1,36	1,10	0,70	0,84	0,39	0,67	0,23	0,54								
566	5,05	2,0	2,34	1,47	1,20	1,13	0,67	0,89	0,40	0,72	0,16	0,50	0,11	0,43				
636	6,30	2,25	2,92	1,65	1,50	1,27	0,83	1,0	0,49	0,81	0,20	0,56	0,13	0,48				
707	7,71	2,50	3,56	1,84	1,83	1,41	1,02	1,11	0,60	0,90	0,24	0,63	0,16	0,53				
778	9,25	2,75	4,27	2,02	2,19	1,55	1,22	1,22	0,72	0,99	0,29	0,69	0,20	0,59				
848	10,90	3,0	5,04	2,20	2,58	1,69	1,44	1,33	0,85	1,08	0,34	0,75	0,23	0,64	0,11	0,48		
919	12,71	3,25	5,87	2,39	3,01	1,83	1,67	1,45	0,99	1,17	0,40	0,81	0,27	0,69	0,13	0,52		
990	14,66	3,50	6,76	2,57	3,47	1,97	1,92	1,56	1,14	1,26	0,46	0,88	0,31	0,75	0,15	0,56		
1060	16,70	3,75	7,70	2,76	3,95	2,11	2,19	1,67	1,29	1,35	0,52	0,94	0,35	0,80	0,17	0,60		
1131	18,91	4,0	8,72	2,94	4,46	2,25	2,48	1,78	1,46	1,44	0,59	1,0	0,40	0,85	0,20	0,64		
1202	21,25	4,25	9,79	3,12	5,01	2,39	2,78	1,89	1,64	1,53	0,66	1,06	0,45	0,91	0,22	0,68		
1272	23,68	4,50	10,91	3,31	5,58	2,53	3,10	2,0	1,83	1,62	0,74	1,33	0,50	0,96	0,24	0,72		
1343	26,28	4,75	12,10	3,49	6,19	2,67	3,43	2,11	2,03	1,71	0,82	1,19	0,55	1,01	0,27	0,76	0,11	0,53
1413	28,98	5,0	13,34	3,67	6,82	2,81	3,78	2,22	2,23	1,80	0,90	1,25	0,60	1,07	0,30	0,80	0,12	0,56
1508			15,11	3,92	7,73	3,0	4,28	2,37	2,53	1,92	1,02	1,33	0,68	1,14	0,34	0,85	0,14	0,59
1604			17,00	4,17	8,69	3,19	4,82	2,52	2,84	2,04	1,14	1,42	0,77	1,21	0,38	0,91	0,15	0,63
1701			19,03	4,42	9,73	3,39	5,39	2,68	3,18	2,17	1,28	1,50	0,86	1,28	0,42	0,96	0,17	0,67
1797			21,14	4,67	10,80	3,58	5,98	2,83	3,53	2,29	1,42	1,59	0,95	1,35	0,47	1,02	0,19	0,71
1893			23,36	4,92	11,93	3,77	6,61	2,98	3,90	2,41	1,57	1,67	1,05	1,43	0,52	1,07	0,21	0,74
1989			25,69	5,17	13,12	3,96	7,26	3,13	4,28	2,53	1,72	1,76	1,15	1,50	0,57	1,13	0,23	0,78



ЛИТЕРАТУРА

1. Переводные материалы с корейского языка «Двуслойные полиэтиленовые трубы PE YI» (переданы ООО «Бородино-Пласт»).
2. Технические условия «Трубы из полиэтилена витые с поллой стенкой», ТУ 2248-004-45726757-02 (ООО «Бородино-Пласт»).
3. Свод правил «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов». Общие требования. СП 40-102-2000.
4. Добромислов А.Я. Таблицы для гидравлических расчетов напорных и безнапорных трубопроводов из полимерных материалов. Под ред. В.С. Ромейко. Пособие к СНиП 40-03-99; СП 40-102-98; СП 41-102-98; СП 40-103-98; СН 478-80. М., ТОО «Изд-во ВНИИКМП», 2000, 321 с.

Р240 (√)



смягч 40Х (HRC 34...42)  
 ( 65Г, HRC 42...48)  
 ( см. 45, HRC 30...40)

\* карбидная p-puc  
 [по ГОСТ 16-011, B=1,4 H13 (+0,14)]