

Лекция №12

Тема **ОЧИСТКА ЗАКРЫТОЙ МЕЛИОРАТИВНОЙ СЕТИ ОТ ЗАИЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

1. Определение параметров технологического оборудования, используемого при гидродинамическом способе очистки дренажа
2. Водопропускная способность дренажных трубопроводов при гидродинамическом способе очистки

Первый вопрос

Наибольшее распространение при очистке закрытых дренажных систем от заиления получил механизированный гидродинамический способ с применением дренопромывочных машин и вспомогательных механизмов.

Гидродинамический способ основан на использовании энергии воды.

На конце напорного рукава, вводимого в коллектор, монтируется промывочная насадка, оснащенная одним или несколькими передними и наклонными тыльными соплами. При помощи подающего устройства или вручную напорный рукав продвигается по трубопроводу, при этом исходящие из передних и тыльных сопел насадки водяные струи размывают отложения. Вынос наносов происходит под действием тыльных струй воды при наматывании промывочного рукава на барабан установки при работающем насосе.

К числу основных характеристик устройства промывки дренажа можно отнести скорость и расход струй, исходящих из промывочной насадки.

Эти характеристики определяются расходом и давлением воды, создаваемыми насосом установки и потерями давления воды на пути от насоса к насадке. Для оценки потерь напора, которые возникают в устройстве промывки дренажа, необходимо определить основные исходные параметры. Такими параметрами являются: расход промывочной воды; внутренний диаметр и длина промывочного рукава; параметры промывочной насадки (давление, диаметры и количество отверстий для формирования струй).

Анализ параметров устройств промывки дренажа, разработанных различными производителями, показывает, что расход промывочной воды находится в пределах $0,5 \div 2,7$ л/с. При этом внутренний диаметр промывочного рукава составляет $13 \div 25$ мм, а длина промывочного рукава находится в пределах $100 \div 300$ м. Ориентируясь на приведенные данные, для оценки эксплуатационных характеристик устройства промывки дренажа приняты следующие исходные параметры: расход – $0,5 \dots 2,5$ л/с; внутренний диаметр рукава – 15, 20 и 25 мм; длина рукава – 200 и 300 м.

В общем виде схема водопроводящей системы устройства промывки дренажа приведена на рис. 1.

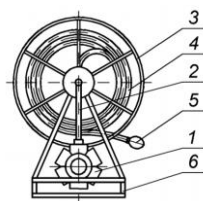


Рисунок 1 – Схема устройства промывки дренажа 1 – насос, 2 – трубопровод, 3 – барабан, 4 – промывочный рукав, 5 – промывочная насадка, 6 – рама.

Водопроводящая система включает в себя насос (1), трубопровод (2), подводящий воду от насоса к барабану (3) с промывочным рукавом (4) на котором закреплена промывочная насадка (5).

Потери напора в водопроводящих элементах будут складываться из потерь на поворот потока ΔP_n на пути от насоса до барабана с промывочным рукавом, потерь на плавный поворот потока в свернутом на барабане промывочном рукаве ΔP_{mn} , потерь по длине промывочного рукава ΔP_{np} . Кроме того, потери напора будут происходить в промывочной насадке. Схема промывочной насадки представлена на рисунке 5.2.

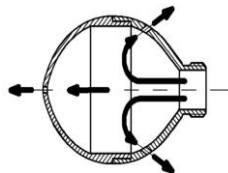


Рисунок 2 – Схема промывочной насадки

Потери напора в промывочной насадке будут складываться из потерь на расширение потока в самой насадке ΔP_p , и повороте потока под острым углом ΔP_n . Суммарные потери можно представить в следующем виде:

$$\Delta P = \Delta P_n + \Delta P_{mn} + \Delta P_{np} + \Delta P_p + \Delta P_n, \quad (1)$$

При подводе воды от насоса к оси барабана и от нее к промывочному рукаву поток дважды совершает поворот под прямым углом. Потери напора на поворот потока определяются по формуле [2]:

$$\Delta P_n = \zeta_n \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

где: V – скорость потока воды, м/с;

ζ_n – коэффициент сопротивления для поворота трубы на 90° , (составляет 1,1);

g – ускорение свободного падения, м/с².

Скорость потока воды определяется по известному расходу Q и площади поперечного сечения трубопровода S_T .

$$V = \frac{Q}{S_T}, \quad (3)$$

где: Q – расход, м³/с;

S_T – площадь поперечного сечения, м².

Потери на плавный поворот на 180° в свернутом на барабане промывочном рукаве составят:

$$\Delta P_{mn(180^\circ)} = \zeta_{mn} \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

где: ζ_{mn} – коэффициент сопротивления для плавного поворота трубопровода определяется по формуле

$$\zeta_{mn} = \alpha [0,2 + 0,001(100\lambda)^8] \sqrt{d/R}, \quad (5)$$

где: α – параметр, зависящий от угла поворота, при угле поворота 180° , ($\alpha = 1,33$);

λ – коэффициент гидравлического трения;

d – диаметр промывочного рукава, м;

R – радиус изгиба свернутого на барабане промывочного рукава, м.

Коэффициент гидравлического трения зависит от числа Рейнольдса и для круглых трубопроводов определяется по формуле:

$$R_e = \frac{Vd}{\nu} \quad (6)$$

где: V – скорость потока жидкости, м/с;

d – диаметр трубопровода, м;

ν – кинематический коэффициент вязкости м²/с.

При расходах $0,5 \div 2,5$ л/с и диаметре трубопровода $15 - 25$ мм число Рейнольдса будет изменяться в пределах $40000 \div 210100$. Для таких чисел Рейнольдса коэффициент гидравлического трения определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{(1,821gR_{ed} - 1,64)^2}. \quad (7)$$

Радиус плавного поворота промывочного рукава можно принять как на голландской машине «Синиор» или на установке промывки дренажа УПД-120, который составляет – $0,6 - 0,75$ м.

Максимальные потери напора будут возникать на начальном этапе промывки, когда промывочный рукав практически полностью свернут на барабане и для расчета обычно принимается этот наиболее неблагоприятный вариант.

Количество витков на барабане определяется по зависимости.

$$n = \frac{L}{2\pi R} \quad (8)$$

где: L – длина промывочного рукава, м.

Суммарные потери давления на плавный поворот промывочного рукава на барабане устройства составят:

$$\Delta P_{\text{пл}} = \zeta_{\text{пл}} \frac{V^2}{2g} 2n \quad (9)$$

Потери напора по длине промывочного рукава определяются по формуле А.Дарси-Ф.Вейсбаха:

$$\Delta P_{\text{лр}} = \lambda \frac{LV^2}{d2g}. \quad (10)$$

Потери на расширение потока в самой насадке составят:

$$\Delta P_p = \zeta_p \frac{V^2}{2g}, \quad (11)$$

где: ζ_p – коэффициент сопротивления расширению определяется по формуле

$$\zeta_p = K_p \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2, \quad (12)$$

где: K_p – коэффициент смягчения при постепенном расширении, $K_p = 1,07$;

ω_1 и ω_2 – площади сечений потока до и после расширения.

Ориентировочно потери на поворот потока внутри промывочной насадки можно рассчитать по формуле:

$$\Delta P_n = \zeta_n \frac{V^2}{2g}, \quad (13)$$

где: $\zeta_n = 3,0$.

Суммарные потери напора в водопроводящих элементах дренапромывочного устройства, вычисленные по вышеприведенным формулам приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Суммарные потери напора в водопроводящих элементах дренапромывочного устройства, м

Диаметр промывочного рукава, мм	Длина промывочного рукава, м									
	200					300				
	Расход, л/с									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Потери напора, м										
15	164	502	1013	1681	2498	246	752	1515	2512	3733
20	52	179	270	441	651	78	207	403	659	972
25	24	54	100	160	234	36	81	150	239	349

Установка промывки дренажа УПД-120, применяемая в Республике Беларусь для очистки закрытых дренажных систем от заилиения оборудована мембранным водяным насосом M135S, с давлением 5,0 МПа.

С учетом потерь напора в водоподводящих элементах дренопромывочного устройства остаточное давление воды в промывочной насадке при давлении насоса 5,0 МПа приведено в таблице 2 и на рисунке 3.

Т а б л и ц а 2 – Напор воды в промывочной насадке при заданных параметрах длины, внутреннего диаметра промывочного рукава и расхода воды при давлении насоса 5,0 МПа

Диаметр промывочного рукава, мм	Длина промывочного рукава, м									
	200					300				
	Расход, л/с									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Напор в насадке, МПа										
15	3,36	-	-	-	-	2,54	-	-	-	-
20	4,48	3,61	2,30	0,59	-	4,22	2,93	0,96	-	-
25	4,76	4,46	4,00	3,40	2,66	4,64	4,0	3,50	2,61	1,51

Суммарные потери напора в устройстве промывки дренажа с использованием промывочных рукавов с внутренним диаметром 15...25 мм и их длине 300 м, в зависимости от расхода воды, представлены на рисунке 3.

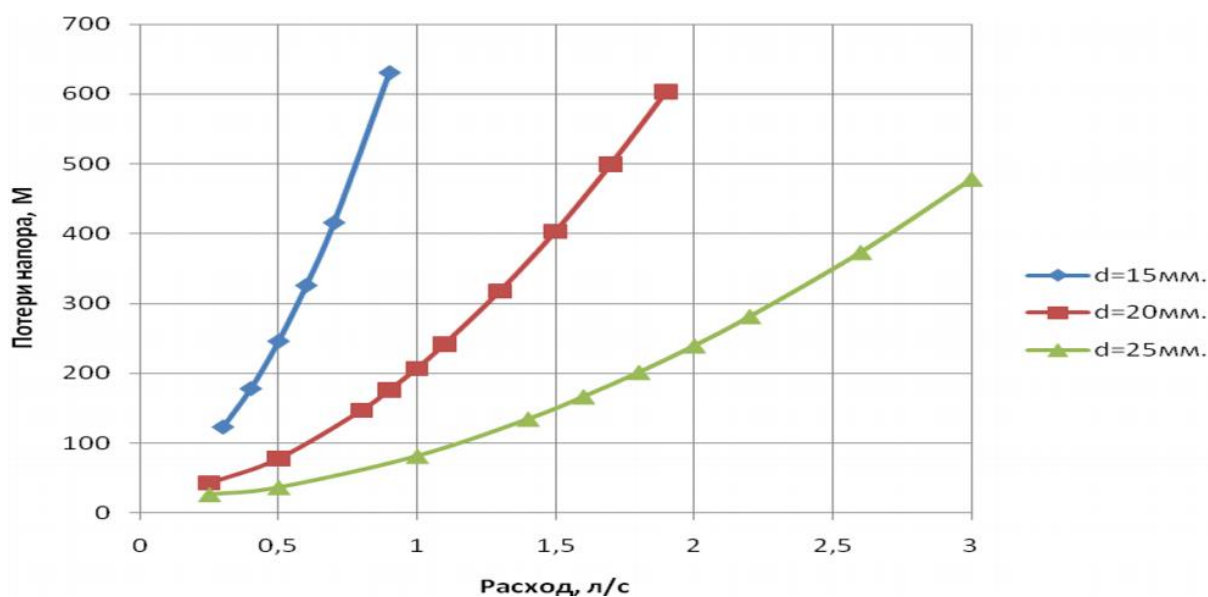


Рисунок 3 – Суммарные потери напора в устройстве промывки дренажа в зависимости от внутреннего диаметра промывочного рукава длиной 300 м и расхода воды

С учетом потерь напора в устройстве промывки дренажа, на рис. 4 приведен напор воды в промывочной насадке в зависимости от внутреннего диаметра промывочного рукава длиной 300 м и рабочего давления водяного насоса 5,0 МПа.

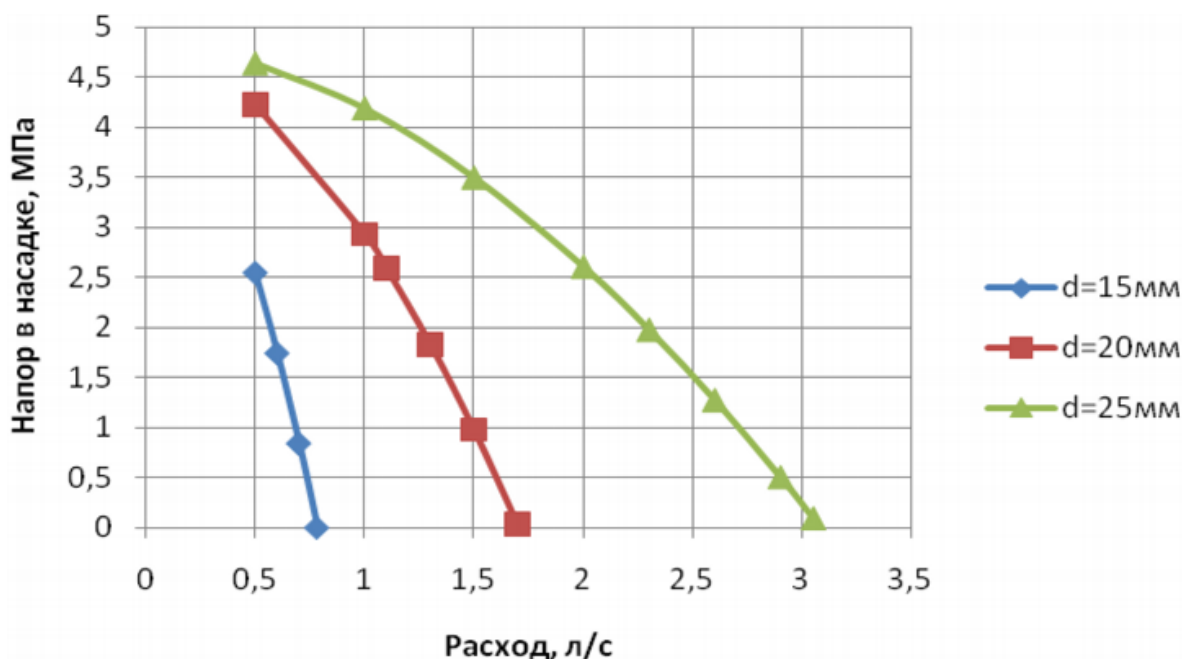


Рисунок 4 – Напор воды в промывочной насадке устройства промывки дренажа в зависимости от внутреннего диаметра промывочного рукава длиной 300 м при давлении водяного насоса 5,0 МПа.

Европейская комиссия по дренажу рекомендует рабочее давление в промывочной насадке 0,9 ...1,1, но не более 1,3 МПа. Исходя из данного положения при давлении 0,9 ...1,1 МПа, расход при комплектовании установки промывочным рукавом с внутренним диаметром 15 мм составит всего 0,6... 0,7 л/с, что не в полной мере обеспечит необходимый объем воды для транспортировки размытых отложений.

Промывочный рукав диаметром 25 мм также не рационален по причине высокого остаточного давления в промывочной насадке, которое составляет от 1,5 до 4,2 МПа. В данном случае, при диаметре рукава 25 мм целесообразно использовать водяной насос с более низким давлением. Однако увеличение диаметра промывочного рукава приведет к повышению его массы, стоимости и необходимых усилий по его продвижению по дренажному трубопроводу.

Исходя из вышеизложенного, предпочтительно оборудовать установку промывки дренажа УПД-120 промывочным рукавом с внутренним диаметром 20 мм, при его длине 300 м. Длина промывочного рукава 300 м предпочтительна с той точки зрения, что в большинстве случаев длина промываемых коллекторов на объектах реконструкции составляет более 200 м, в связи с чем установка УПД-120 при очистке дренажного трубопровода может постоянно располагаться у его устья, без дополнительного перемещения по трассе, что существенно сократит время промывки и снизит себестоимость работ.

Второй вопрос

Основным способом очистки дренажных трубопроводов от заилиenia является гидродинамический с применением дренопромывочных машин. Для оценки возможности транспортировки размытого грунта по дренажным трубопроводам необходимы сведения о режимах движения воды (пульпы) в трубопроводах в зависимости от их уклона и диаметра.

Скорость течения воды в дренажных трубах определяется по формуле Шези.

$$V = C\sqrt{Ri} \quad (14)$$

где: V – скорость, м/с;

C – эмпирический скоростной коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус, м;

i – уклон дрены.

Для определения коэффициента C рекомендуется формула академика Н.Н. Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (15)$$

где: n – коэффициент шероховатости;

y – показатель степени, (по данным Маннинга равен 1/6).

Основной гидравлической характеристикой потока является гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (16)$$

где: ω – площадь живого сечения потока, м²;

χ – смоченный периметр трубы, м.

Для труб работающих полным заполнением $R = d/4$,

где: d – диаметр трубы, м.

Расход воды определяется по формуле:

$$Q = \omega \times V, \quad (17)$$

При гидродинамическом способе очистки разрыв отложений происходит посредством применения промывочной насадки, вода к которой подводится через напорный промывочный рукав.

Промывочный рукав во время очистки дренажного трубопровода находится в его полости и оказывает существенное влияние на характеристики потока воды.

Ранее было установлено, что оптимальный диаметр промывочного рукава, при использовании насоса с давлением 5,0 МПа, составляет 20 мм. Толщина стенок промывочных рукавов при расчетном давлении 5,0 МПа обычно составляет 3,5...4,0 мм. Примем толщину стенок 4,0 мм, тогда наружный диаметр промывочного рукава составит 28 мм.

Расчетная схема для определения характеристик потока воды в дренажном трубопроводе при нахождении в его полости промывочного рукава представлена на рисунке 5.5.

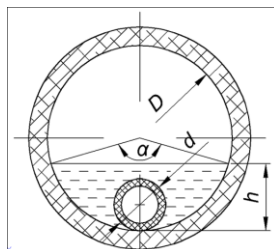


Рисунок 5.5 – Расчетная схема для определения характеристик потока воды в дренажном трубопроводе при нахождении в его полости промывочного рукава.

Как было приведено выше, гидравлический радиус определяется, как отношение площади живого сечения потока к длине смоченного периметра.

Площадь живого сечения потока можно определить по следующей зависимости:

$$W = S_c - S_{np} \quad (18)$$

где: S_c – площадь сегмента потока воды, м²;

S_{np} – площадь сечения промывочного рукава, м².

Площадь сегмента определяется по формуле:

$$S_c = \frac{D^2 \alpha}{8} - \sqrt{Dh - h^2} \left(\frac{D}{2} - h \right), \quad (19)$$

где: D – диаметр дренажного трубопровода, м;

α – центральный угол, рад;

h – высота потока, м.

Центральный угол α в свою очередь равен:

$$\alpha = \arccos \frac{D-2h}{D}. \quad (20)$$

Длина смоченного периметра χ составит:

$$\chi = l + \pi d, \quad (21)$$

где: χ – длина смоченного периметра, м;

l – длина смоченного участка диаметра трубопровода, м;

d – диаметр промывочного рукава, м.

Длина смоченного участка диаметра трубопровода l составит:

$$l = \frac{D\alpha}{2}. \quad (22)$$

Влияние напорного промывочного рукава на скоростные и расходные показатели потока воды в дренажных трубопроводах приведено в таблице 5.3 приложения 2.

Для оценки возможности выноса размытых отложений из трубопроводов гравитационным потоком воды, в процессе их промывки, необходимы сведения о скоростных и расходных показателях воды (пульпы) при различных уровнях ее в трубопроводах. Для упрощения данных расчетов, в таблицах 5.4–5.6 приложения 2 приведены показатели гидравлических параметров потока воды (пульпы) в наиболее распространенных дренажных трубопроводах диаметром 75, 100 и 125 мм при расположении в них напорного рукава диаметром 28 мм. Расчет выполнен при коэффициенте шероховатости 0,17.

На основании значений гидравлического радиуса табл. 5.4...5.6, рассчитаны средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расходы в дренажных трубопроводах диаметром 75, 100 и 125 мм при расположении в них напорного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов табл. 5.7...5.9 приложения 2.

Исходя из анализа исследований ряда авторов по очистке дренажных трубопроводов гравитационным потоком воды, и данных таблиц 5.7...5.9, характеризующих скоростной и расходный поток воды, можно сделать вывод, что в процессе продвижения промывочного рукава с насадкой по трубопроводу, гравитационным потоком могут извлекаться частицы грунта размером менее 0,01 и частично 0,05 мм, т.к. при наиболее распространенных уклонах коллекторов 0,002–0,003 скорость пульпы не превышает 0,2...0,3 м/с. Следовательно, для эффективной очистки трубопровода необходимо создать в нем напорный скоростной режим транспортирования размытых отложений.

Важным параметром работы дренажного трубопровода является его расходная характеристика K , которая представляет собой расход трубопровода при гидравлическом уклоне равном единице. Расходная характеристика определяется по формуле академика Н.Н. Павловского.

$$K = \omega C \sqrt{R}, \quad (23)$$

где: ω – площадь живого сечения потока, м²;

C – скоростной коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус, м.

Значение расходной характеристики K для дренажных трубопроводов диаметром 75 ...125 мм при расположении в них напорного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения трубопровода водой приведены в таблице 10.

Потери напора H_ω по длине трубопровода можно определить по следующей формуле.

$$H_\omega = \frac{Q^2}{K^2} l, \quad (24)$$

где: Q – расход воды в трубопроводе, м³/с, (л/с);

d – диаметр трубопровода, м;

K – расходная характеристика м³/с, (л/с);

l – длина трубопровода, м.

Расход можно представить так:

$$Q = K \sqrt{\frac{H_w}{l}} = K \sqrt{i}, \quad (25)$$

где: i – уклон трубопровода.

В свою очередь:

$$i = \frac{Q^2}{K^2}. \quad (26)$$

С учетом расходной характеристики дренажных трубопроводов определяется необходимый гидравлический уклон, обеспечивающий транспортировку пульпы по дренажному трубопроводу с определенной транспортирующей скоростью v потока (табл.11, рис. 6).

Т а б л и ц а 10 – Значение расходной характеристики K в зависимости от диаметра трубопровода и степени его наполнения при коэффициенте шероховатости 0,017

		Диаметр трубопровода, мм					
		75		100		125	
В долях диаметра h/d	От площади сечения, %	Расходная характеристика K , л/с					
		K	K^2	K	K^2	K	K^2
0,1	5	–	–	–	–	–	–
0,2	14	–	–	–	–	2,09	4,36
0,3	25	0,59	0,35	2,86	8,16	7,07	49,94
0,4	37	1,88	3,53	6,46	41,72	14,40	207,29
0,5	50	3,67	13,46	11,05	122,18	23,46	550,52
0,6	63	5,78	33,36	16,24	263,66	33,51	1122,84
0,7	75	7,99	63,83	21,53	463,57	43,63	1903,20
0,8	86	10,05	101,03	26,34	693,66	52,69	2775,82
0,9	95	11,61	134,60	29,82	889,44	59,10	3492,76
1,0	100	11,56	133,70	29,25	855,65	57,46	3301,46

Таблица 5.11 – Гидравлический уклон, обеспечивающий напорную транспортировку пульпы по дренажному трубопроводу при расположении в нем напорного рукава диаметром 28 мм в зависимости от необходимой транспортирующей скорости потока

Транспортирующая скорость, м/с	Диаметр трубопровода, мм					
	75		100		125	
	Расчетный расход пульпы, л/с	Гидравлический уклон	Расчетный расход пульпы, л/с	Гидравлический уклон	Расчетный расход пульпы, л/с	Гидравлический уклон
0,2	0,74	0,004	1,46	0,002	2,33	0,002
0,4	1,48	0,016	2,91	0,010	4,67	0,006
0,6	2,23	0,037	4,37	0,022	7,01	0,015
0,8	2,97	0,066	5,82	0,040	9,34	0,26
1,0	3,71	0,103	7,28	0,062	11,68	0,41

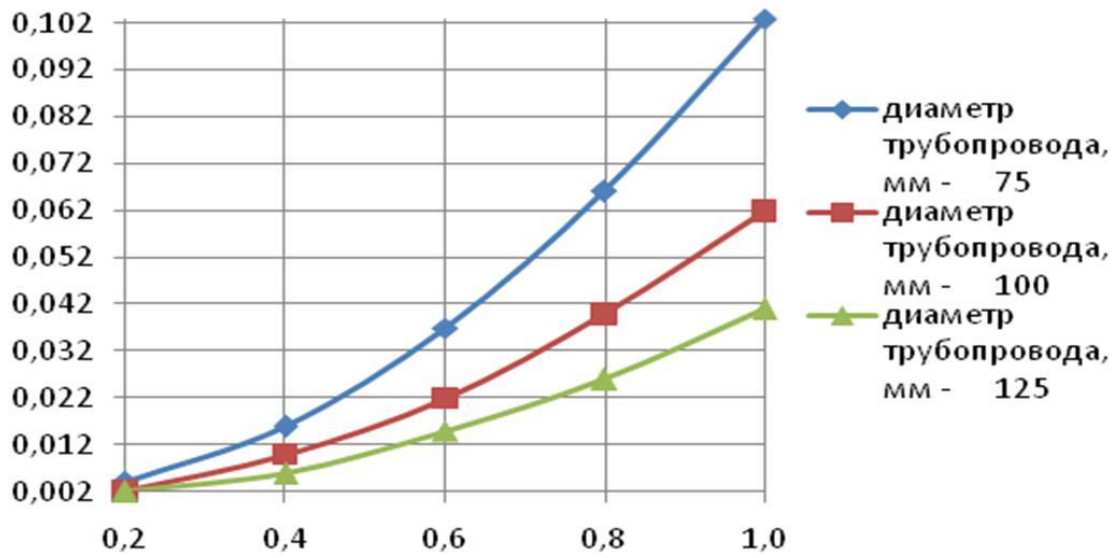


Рисунок 6 – Зависимости гидравлических уклонов дренажных трубопроводов от транспортирующей скорости потока пульпы.