

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ОЧИСТКИ

*Н. Н. Погодин, кандидат технических наук*

*А. С. Анженков, кандидат технических наук*

*В. А. Болбышко, кандидат технических наук*

*РУП «Институт мелиорации»,  
г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

Проанализированы скоростные и расходные показатели потока воды (пульпы) в дренажных трубопроводах при различных диаметрах и уклонах. Определены скоростной режим для транспорта размытых отложений, гидравлические уклоны трубопроводов для формирования необходимой транспортирующей скорости потока, влияние промывочного рукава на скоростные и расходные показатели потока размытых отложений.

**Ключевые слова:** дренажные трубопроводы, способы очистки, дренажно-промывочные устройства, транспортировка размытых отложений, напорный скоростной режим.

### Abstract

*N. N. Pogodin, A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko*  
**THEORETICAL STUDY OF WATER CAPACITY OF DRAINAGE PIPELINES AT HYDRODYNAMIC CLEANING METHOD**

Speed and flow rates of water flow (pulp) in drainage pipelines at various diameters and slopes are analyzed. Speed regime for transporting washed-out sediments, hydraulic slopes of pipelines to form the necessary transporting flow rate, the influence of the flushing hose on the speed and flow rates of the flow of washed-out sediments are defined.

**Keywords:** drainage pipelines, cleaning methods, drainage devices, transportation of eroded sediments, pressure high-speed mode.

### Введение

В Республике Беларусь закрытая дренажная сеть обеспечивает водный режим на 2,23 млн га мелиорированных земель. Суммарная протяженность подземных дренажных трубопроводов составляет 957 тыс. км, в т. ч. 780 тыс. км – регулирующая дренажная и 177 тыс. км – проводящая коллекторная сеть.

Поддержание осушительной сети в работоспособном состоянии, обеспечивающем благоприятный водный режим для эффективного ведения растениеводства на мелиорированных землях, требует высокого уровня ее технического обслуживания при своевременной очистке дренажных трубопроводов от заилиения.

Эффективность работы закрытой дренажной системы определяется в т. ч. ее водопримной и водопротпускной способностями. Водопротпускная способность дренажных

трубопроводов во многом зависит от заилиения полостей дренажных трубок частицами грунта и окисными соединениями железа. Оно увеличивает время отвода избыточных грунтовых вод по сравнению с проектным, что приводит к переувлажнению мелиорированных земель.

В свою очередь, степень заилиения дренажных трубопроводов зависит от вида грунта, в котором они заложены, качества укладки, состояния защитно-фильтрующего материала, скорости и объема дренажного стока, влияющих на вынос отложений из трубопровода.

Заилиение бывает следующих видов:

- частицами грунта;
- окисными соединениями железа;
- смешанного, когда в слое частиц грунта находятся железистые соединения.

Заилиение окисными соединениями железа отмечается на территориях с повышенным

содержанием железа в грунтовых водах (больше 3 мг/л). Охра, отлагающаяся в дренажных трубках, в основном представляет собой осадок гидроокиси железа – студенистую массу, осаждающуюся на стенки дрен.

### Результаты исследования и их обсуждение

Эффективность очистки дренажных трубопроводов зависит от степени их заилиения, скорости и объема дренажного стока. Последние параметры обуславливаются приточностью воды в дрены, а также диаметром и уклоном трубопроводов. Очистка дренажных трубопроводов заключается в выносе отложений, т. е. перемещении частиц грунта, которое, в свою очередь, зависит как от размера их фракций, так и скорости дренажного стока. По данным академика Н. Н. Павловского наименьшие допустимые скорости в дренах при обычных связных грунтах должны составлять 0,15–0,2 м/с; в песчаных грунтах – 0,3–0,35 м/с; для дрен, в которые могут поступать загрязненные воды, – 0,6 м/с [3]. В исследованиях профессора Д. А. Меламута указано, что для перемещения пылеватого и илистого грунта с геометрической крупностью частиц 0,005–0,05 мм необходима скорость потока воды 0,1–0,18 м/с, для суглинистых отложений – 0,25–0,35 м/с, для песка мелкого с крупностью частиц 0,05–0,25 мм – 0,18–0,3 м/с [4].

По нормам проектирования осушительных систем в Литовской ССР минимальные допустимые скорости в дренах, закладываемых в глинистых и суглинистых грунтах, принимались 0,2 м/с, в супесчаных и песчаных – 0,3 м/с, пылеватых – 0,4 м/с [5]. В Эстонской ССР за основу принималась величина допустимых минимальных уклонов при соответствующих скоростях потока воды в полностью заполненных трубах. Для транспортировки мелкозернистых песков и плавунцов (основная фракция 0,05–0,25 мм) требуются скорости в пределах 0,28–0,39 м/с, а для выноса глинистых грунтов (частицы грунта диаметром 0,01 мм до 50 %) необходимы скорости 0,2–0,3 м/с [6]. По данным профессора В. М. Зубца движение наносов в дренажных трубах начинается при 0,15–0,17 м/с, а средняя незаилающая скорость потока в дренах, обеспечивающая их самоочистку, должна находиться в пределах 0,3–0,4 м/с [7].

Наибольшие ее отложения наблюдаются в устьях, местах соединения дрен с коллектором, перехода уклонов с больших на меньшие, в карманах профиля, при нулевых и обратных уклонах [1, 2].

Согласно исследованиям Б. И. Блажиса размыв мелкозернистых наносов и пылеватой супеси возможен при выдерживании скоростей течения воды 0,30–0,35 м/с в дренажных трубах диаметром 50 мм; 0,35–0,40 м/с – при диаметре 100 мм; 0,50–0,55 м/с – при диаметре 200 мм [8].

Согласно исследованиям К. Ф. Алеханда частицы грунта больше 0,05 мм транспортируются и оседают в дренажных трубах, меньше 0,05 мм – транспортируются потоком и частично выносятся в канал и только при размере менее 0,01 мм – полностью выносятся из дрен и коллекторов, причем самоочистка происходит при скорости дренажного потока 0,2–0,3 м/с, а в мелкозернистых наносах полная прочистка дренажных линий – при 0,55–0,6 м/с [9].

В Республике Беларусь минимальный диаметр труб закрытой регулирующей сети принят 50 мм при уклоне дренажных трубопроводов не менее 0,003. При этом минимальная скорость течения воды в коллекторах при пропуске расчетных расходов должна составлять 0,3 м/с, а максимальная (не допускающая размыв) – 1,5 м/с в керамических трубах и 3,0 м/с – в пластмассовых [10].

Согласно изданным в БССР временным техническим условиям (1959) оптимальной скоростью движения воды в гончарных трубах считалась 0,6...0,8 м/с, а минимальная, при расположении дренажных систем в глинистых грунтах, принималась 0,3 м/с [11].

Для очистки трубопроводов от железистых соединений скорость потока по разным исследованиям должна составлять 0,3–0,4 м/с, а минимальный уклон дренажной линии – быть не менее 0,004 [1, 2, 12].

Самоочистка дренажных систем в основном происходит в весенний период при высоком уровне грунтовых вод. Эффективная очистка в значительной мере зависит от уровня воды в каналах. В период весенних паводков, летних и осенних дождей дренажная коллекторная

сеть в большей степени находится в подпоре, вследствие чего скорость дренажного стока в ней резко снижается, и самоочистка трубопроводов в полной мере не происходит.

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.

Различают два основных режима движения потока: ламинарный и турбулентный. Турбулентный поток способен удерживать частицы грунта во взвешенном состоянии и транспортировать их на значительное расстояние, несмотря на то, что плотность этих частиц в 2–3 раза превышает плотность воды. Данный режим определяется числом Рейнольдса  $R_e$ . Турбулентный режим движения устанавливается для труб при  $R_e \geq 2320$  [3].

В табл. 1 приведены значения числа  $R_e$ , соответствующие скоростным характеристикам потока воды при температуре 10 °C ( $\sigma_{10^\circ} = 0,013 \text{ см}^2/\text{с}$ ).

Таблица 1 – Значение числа  $R_e$  в зависимости от скорости течения воды, диаметра и уклона трубопровода

Диаметр трубопровода, мм	Уклон трубопровода											
	0,002		0,003		0,004		0,005		0,006		0,007	
	V	$R_e$	V	$R_e$	V	$R_e$	V	$R_e$	V	$R_e$	V	$R_e$
50	0,14	7000	0,18	9000	0,20	10000	0,22	11000	0,25	12500	0,26	13000
75	0,18	13500	0,23	17250	0,26	19500	0,29	21750	0,33	24750	0,35	26250
100	0,23	23000	0,27	27000	0,32	32000	0,35	35000	0,39	39000	0,42	42000
125	0,26	32500	0,32	40000	0,37	46250	0,41	51250	0,45	56250	0,48	60000
150	0,30	45000	0,36	54000	0,42	63000	0,48	72000	0,51	76500	0,56	84000
175	0,33	57750	0,41	71750	0,46	80500	0,52	91000	0,56	98000	0,62	108500

Примечание. V – скорость потока воды, м/с.

Как следует из табл. 1, в полностью заполненных дренажных трубопроводах наблюдается турбулентный режим потока воды.

При гидродинамическом способе очистки размыв отложений осуществляется 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.

Установлено, что оптимальный диаметр промывочного рукава при использовании насоса с давлением 5 МПа составляет 20 мм. Толщина стенок промывочных рукавов при расчетном давлении 5 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 рис. 1.

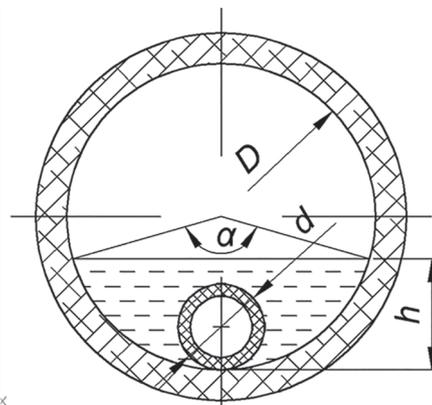


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения характеристик потока воды в дренажном трубопроводе при нахождении в его полости промывочного рукава

Гидравлический радиус определяется как отношение площади живого сечения потока к длине смоченного периметра.

Площадь живого сечения потока можно определить по следующей зависимости:

$$W = S_c - S_{np}, \quad (1)$$

где:  $S_c$  – площадь сегмента потока воды,  $\text{м}^2$ ;

$S_{пр}$  – площадь сечения промывочного рукава, м<sup>2</sup>.

Площадь сегмента определяется по общеизвестной формуле

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

где:  $D$  – диаметр дренажного трубопровода, м;

$\alpha$  – центральный угол, рад.;

$h$  – высота потока, м.

Центральный угол  $\alpha$ , в свою очередь, равен

$$\alpha = 2 \arccos \frac{D - 2h}{D}. \quad (3)$$

Длина смоченного периметра, м, составит

$$\chi = l + \pi d, \quad (4)$$

где:  $l$  – длина смоченного участка диаметра трубопровода, м;

$d$  – диаметр промывочного рукава, м.

Длина смоченного участка диаметра трубопровода, м, составит

$$l = \frac{D \alpha}{2}. \quad (5)$$

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

Таблица 2 – Средние гравитационные расходы и скорости течения воды в полностью заполненных трубопроводах при расположении в них напорного промывочного рукава диаметром 28 мм (сложные условия)

Диаметр трубопровода, мм	Уклон трубопровода											
	0,002		0,003		0,004		0,005		0,006		0,007	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
75	0,14	0,53	0,17	0,65	0,20	0,75	0,22	0,84	0,24	0,92	0,26	0,99
100	0,18	1,33	0,22	1,63	0,26	1,88	0,29	2,10	0,32	2,30	0,34	2,49
125	0,22	2,60	0,27	3,18	0,31	3,67	0,35	4,11	0,38	4,50	0,42	4,86
150	0,26	4,42	0,32	5,41	0,37	6,25	0,41	6,98	0,45	7,65	0,48	8,26
175	0,29	6,86	0,36	8,40	0,41	9,70	0,46	10,85	0,51	11,88	0,55	12,83

Примечание.  $V$  – скорость потока воды, м/с;  $Q$  – расход, л/с.

Анализ табл. 2 показывает, что наличие в трубопроводе напорного промывочного рукава существенно снижает скоростные и расходные показатели потока воды. Наиболее отчетливо это проявилось при диаметре коллектора 75 мм, где снижение составило соответственно 32,8 и 36,2 %, а при диаметре 175 мм скорость и расход потока воды снизилась всего на 12,1 и 13,0 %, т. е. при увеличении диаметра трубопровода влияние напорного рукава на скоростные и расходные показатели воды снижается.

Для оценки возможности выноса размываемых отложений из трубопроводов гравитационным потоком воды в процессе их промывки необходимы сведения о скоростных и расходных показателях воды (пульпы) при различных ее уровнях в трубопроводах. Для упрощения данных расчетов в табл. 3–5 приведены показатели гидравлических параметров потока воды (пульпы) в наиболее распространенных дренажных коллекторах диаметром 75, 100 и 125 мм при расположении в них напорного рукава диаметром 28 мм.

На основании значений гидравлического радиуса в табл. 6–8 приведены 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.

Исходя из анализа исследований ряда авторов по очистке дренажных трубопроводов гравитационным потоком воды, изложенных ранее в тексте, и материалов, характеризующих скоростной и расходный потоки воды (табл. 6–8), 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 размываемых отложений.

Таблица 3 – Расчетные значения гидравлических параметров потока воды (пульпы) в трубопроводе диаметром 75 мм при расположении в нем напорного промывочного рукава диаметром 28 мм

Наполнение трубопровода		Площадь живого сечения в долях квадрата диаметра ( $w/d^2$ )	Смоченный периметр в долях диаметра ( $x/d$ )	*Гидравлический радиус в долях диаметра ( $R/d$ )
в долях диаметра, $h/d$	от площади сечения, %			
0,1	5	–	–	–
0,2	14	–	–	–
0,3	25	0,0887	2,3321	0,0380
0,4	37	0,1839	2,5423	0,0723
0,5	50	0,2832	2,7436	0,1032
0,6	63	0,3826	2,9450	0,1299
0,7	75	0,4777	3,1551	0,1514
0,8	86	0,5641	3,3871	0,1665
0,9	95	0,6351	3,6710	0,1730
1,0	100	0,6759	4,3144	0,1567

Примечание. \* – расчет выполнен при нижнем расположении рукава в трубопроводе.

Таблица 4 – Расчетные значения гидравлических параметров потока воды (пульпы) в трубопроводе диаметром 100 мм при расположении в нем напорного промывочного рукава диаметром 28 мм

Наполнение трубопровода		Площадь живого сечения в долях квадрата диаметра ( $w/d^2$ )	Смоченный периметр в долях диаметра ( $x/d$ )	*Гидравлический радиус в долях диаметра ( $R/d$ )
в долях диаметра, $h/d$	от площади сечения, %			
0,1	5	–	–	–
0,2	14	–	–	–
0,3	25	0,1366	2,0389	0,0670
0,4	37	0,2318	2,2491	0,1031
0,5	50	0,3311	2,4504	0,1351
0,6	63	0,4305	2,6518	0,1623
0,7	75	0,5257	2,8620	0,1837
0,8	86	0,6120	3,0939	0,1978
0,9	95	0,6829	3,3778	0,2022
1,0	100	0,7238	4,0212	0,1800

Примечание. \* – расчет выполнен при нижнем расположении рукава в трубопроводе.

Таблица 5 – Расчетные значения гидравлических параметров потока воды (пульпы) в трубопроводе диаметром 125 мм при расположении в нем напорного промывочного рукава диаметром 28 мм

Наполнение трубопровода		Площадь живого сечения в долях квадрата диаметра ( $w/d^2$ )	Смоченный периметр в долях диаметра ( $x/d$ )	*Гидравлический радиус в долях диаметра ( $R/d$ )
в долях диаметра, $h/d$	от площади сечения, %			
0,1	5	–	–	–
0,2	14	0,0724	1,6310	0,0444
0,3	25	0,1588	1,8630	0,0852
0,4	37	0,2540	2,0732	0,1225
0,5	50	0,3533	2,2745	0,1553
0,6	63	0,4526	2,4759	0,1828
0,7	75	0,5478	2,6860	0,2040
0,8	86	0,6342	2,9180	0,2173
0,9	95	0,7051	3,2018	0,2202
1,0	100	0,7460	3,8453	0,1940

Примечание. \* – расчет выполнен при нижнем расположении рукава в трубопроводе.

При гидродинамической очистке основной вынос отложений происходит за счет истечения струй воды из тыльных сопел промывочной насадки.

Для повышения эффективности транспортировки размытых отложений разработана промывочная насадка, отличающаяся тем, что на корпусе между передним и задними соплами установлена манжета. При извлечении из трубопровода она изгибается и работает как скребок: вместе с потоком воды выносит отложения наружу [16].

При извлечении насадки со скоростью, превышающей скорость гравитационного потока, перед ней создается напорный режим движения воды (пульпы).

Необходимый расчетный расход воды (пульпы)  $Q_{рас}$  можно вычислить по зависимости

$$Q_{рас} = \frac{V_{рас}}{V} Q, \quad (6)$$

где:  $V_{рас}$  – необходимая расчетная скорость потока, м/с;

$V$  – существующая скорость, м/с;

$Q$  – существующий расход, л/с.

Важным параметром работы дренажного трубопровода является расходная характеристика  $K$ , которая представляет собой расход трубопровода при гидравлическом уклоне, равном единице. Она определяется по формуле академика Н. Н. Павловского [3]

$$K = w \cdot C \sqrt{R}, \quad (7)$$

где:  $w$  – площадь живого сечения потока, м<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент Шези;

$R$  – гидравлический радиус, м.

Значение  $K$  для дренажных трубопроводов диаметром 75–125 мм при расположении в них напорного рукава и в зависимости от степени наполнения их водой, приведены в табл. 9.

Таблица 6 – Средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расходы в дренажном трубопроводе диаметром 75 мм при расположении в нем промывочного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов ( $n = 0,017$ )

Наполнение трубопровода в долях диаметра, $h/d$	0,002		0,003		0,004		0,005		0,006		0,007	
	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
0,3	0,03	0,05	0,03	0,07	0,04	0,08	0,04	0,08	0,05	0,09	0,05	0,10
0,4	0,08	0,08	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15	0,14	0,16	0,15
0,5	0,16	0,10	0,20	0,13	0,23	0,15	0,26	0,16	0,28	0,18	0,31	0,19
0,6	0,26	0,12	0,32	0,15	0,37	0,17	0,41	0,19	0,45	0,22	0,48	0,23
0,7	0,36	0,13	0,44	0,16	0,51	0,19	0,57	0,21	0,62	0,23	0,67	0,25
0,8	0,45	0,14	0,55	0,17	0,64	0,20	0,71	0,22	0,78	0,25	0,84	0,27
0,9	0,52	0,14	0,64	0,18	0,73	0,21	0,82	0,23	0,90	0,25	0,97	0,27
1	0,52	0,14	0,63	0,17	0,73	0,19	0,82	0,22	0,90	0,24	0,97	0,25

Примечание. Q – расход, л/с; V – скорость, м/с.

Таблица 7 – Средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расход в дренажном трубопроводе диаметром 100 мм при расположении в нем промывочного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов ( $n = 0,017$ )

Наполнение трубопровода в долях диаметра, $h/d$	0,002		0,003		0,004		0,005		0,006		0,007	
	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
0,3	0,13	0,09	0,16	0,12	0,18	0,13	0,20	0,15	0,22	0,16	0,24	0,18
0,4	0,29	0,13	0,35	0,15	0,41	0,18	0,46	0,20	0,50	0,22	0,54	0,23
0,5	0,49	0,15	0,61	0,18	0,70	0,21	0,78	0,24	0,86	0,26	0,93	0,28
0,6	0,73	0,17	0,89	0,21	1,03	0,24	1,15	0,27	1,26	0,29	1,36	0,32
0,7	0,96	0,18	1,18	0,22	1,36	0,26	1,52	0,29	1,67	0,32	1,80	0,34
0,8	1,18	0,19	1,44	0,24	1,67	0,27	1,86	0,30	2,04	0,33	2,20	0,36
0,9	1,33	0,19	1,63	0,24	1,89	0,28	2,11	0,31	2,31	0,34	2,50	0,37
1	1,31	0,18	1,60	0,22	1,85	0,26	2,07	0,29	2,27	0,31	2,45	0,34

Примечание. Q – расход, л/с; V – скорость, м/с.

Таблица 8 – Средние гравитационные скорости течения воды (пульпы) и ее расход в дренажном трубопроводе диаметром 125 мм при расположении в нем промывочного рукава диаметром 28 мм в зависимости от степени наполнения и уклонов ( $n = 0,017$ )

Наполнение трубопровода в долях диаметра, $h/d$	0,002		0,003		0,004		0,005		0,006		0,007	
	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
0,2	0,09	0,08	0,11	0,10	0,13	0,12	0,15	0,13	0,16	0,14	0,18	0,15
0,3	0,32	0,13	0,39	0,16	0,45	0,18	0,50	0,20	0,55	0,22	0,59	0,24
0,4	0,64	0,16	0,79	0,20	0,91	0,23	1,02	0,26	1,12	0,28	1,21	0,30
0,5	1,05	0,19	1,29	0,23	1,48	0,27	1,66	0,30	1,82	0,33	1,96	0,36
0,6	1,50	0,21	1,84	0,26	2,12	0,30	2,37	0,34	2,60	0,37	2,80	0,40
0,7	1,95	0,23	2,39	0,28	2,76	0,32	3,09	0,36	3,38	0,40	3,65	0,43
0,8	2,36	0,24	2,89	0,29	3,33	0,34	3,73	0,38	4,08	0,41	4,41	0,45
0,9	2,64	0,24	3,24	0,29	3,74	0,34	4,18	0,38	4,58	0,42	4,95	0,4
1	2,57	0,22	3,32	0,27	3,63	0,31	4,06	0,35	4,45	0,38	4,81	0,41

Примечание. V – скорость потока воды, м/с; Q – расход, л/с.

Таблица 9 – Значение расходной характеристики K в зависимости от диаметра трубопровода и степени его наполнения при коэффициенте шероховатости 0,017

Наполнение трубопровода		Диаметр трубопровода, мм					
		75		100		125	
в долях диаметра, $h/d$	от площади сечения, %	Расходная характеристика K, л/с					
		K	K <sup>2</sup>	K	K <sup>2</sup>	K	K <sup>2</sup>
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

Потери напора  $H_w$  по длине трубопровода можно определить по следующей формуле [15]:

$$H_w = \frac{Q^2}{K^2} \ell, \quad (8)$$

где: Q – расход воды в трубопроводе, м<sup>3</sup>/с (л/с);

d – диаметр трубопровода, м;

K – расходная характеристика, м<sup>3</sup>/с (л/с);

$\ell$  – длина трубопровода, м.

Расход можно представить следующим образом:

$$Q = K \sqrt{\frac{H_w}{\ell}} = K \sqrt{i}, \quad (9)$$

где: i – уклон трубопровода.

В свою очередь,

$$i = \frac{Q^2}{K^2}, \quad (10)$$

С учетом вышеприведенных зависимостей можно рассчитать необходимый гидравличе-

ский уклон, обеспечивающий транспортировку пульпы по дренажному трубопроводу при определенной транспортирующей скорости потока пульпы.

Допустим, необходимая транспортирующая скорость должна составлять 0,6 м/с. Расчет выполним при диаметрах трубопроводов 75, 100 и 125 мм.

По зависимости (6) определим необходимый расчетный расход пульпы согласно данных табл. 6–8 по скоростям и расходам при  $h/d = 1$ :

– для диаметра 75 мм

$$Q_{\text{рас. 75}} = \frac{0,6 \times 0,52}{0,14} = 2,23 \text{ л/с};$$

– для диаметра 100 мм

$$Q_{\text{рас. 100}} = \frac{0,6 \times 1,31}{0,18} = 4,34 \text{ л/с};$$

– для диаметра 125 мм  

$$Q_{рас. 125} = \frac{0,6 \times 2,57}{0,22} = 7,01 \text{ л/с.}$$

Необходимый гидравлический уклон определим по формуле (10) для соответствующих диаметров и расходной характеристики, приведенных в табл. 9. При диаметре трубопровода 75 мм  $i = \frac{2,23^2}{133,7} = 0,037$ ; для диаметров 100 и 125 мм уклон соответственно составит 0,022 и 0,015.

При действующем уклоне 0,002 необходимый гидравлический уклон для транспортировки пульпы при скорости 0,6 м/с должен составлять 0,035 при диаметре трубопровода 75 мм. А при диаметрах 100 и 125 мм соответственно 0,02 и 0,013. Следовательно, для очистки трубопровода диаметром 75 мм на расстояние 100, 200 и 300 м необходимо создавать напор воды 3,5; 7,0 и 10,5 м. Для трубопровода диаметром 100 мм необходим напор 2,0; 4,0 и 6,0

м, а для трубопроводов диаметром 125 мм – соответственно 1,3; 2,6 и 3,9 м.

С учетом методики вышеприведенных расчетов в табл. 10 указаны гидравлические уклоны дренажных трубопроводов, обеспечивающие напорную транспортировку размытых отложений (пульпы) в зависимости от необходимой транспортирующей скорости потока.

На рис. 2 представлены теоретически рассчитанные гидравлические уклоны дренажных трубопроводов в зависимости от необходимой транспортирующей скорости потока размытых отложений (пульпы), обеспечивающей их гидротранспорт.

Приведенные исследования будут использованы в дальнейшем при разработке нового конструктивного решения промывочной насадки и расчета усилий при извлечении ее из дренажного трубопровода в процессе его промывки с учетом рассчитанного напора воды, а также данных табл. 10 и рис. 2.

Таблица 10 – Гидравлический уклон, обеспечивающий напорную транспортировку пульпы по дренажному трубопроводу в зависимости от необходимой транспортирующей скорости потока

Необходимая транспортирующая скорость, м/с	Диаметр трубопровода, мм					
	75		100		125	
	Расчетный расход пульпы, л/с	Необходимый гидравлический уклон	Расчетный расход пульпы, л/с	Необходимый гидравлический уклон	Расчетный расход пульпы, л/с	Необходимый 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	0,026
1,0	3,71	0,103	7,28	0,062	11,68	0,041

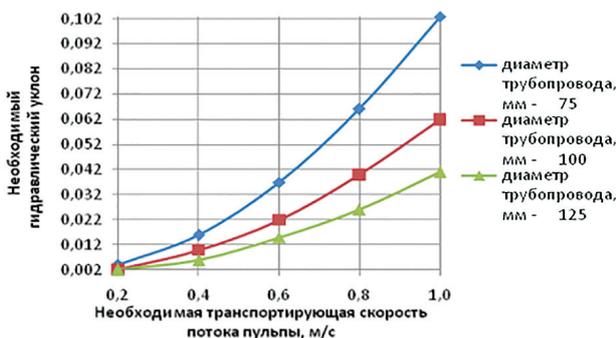


Рисунок 2 – Зависимости гидравлических уклонов дренажных трубопроводов от необходимой транспортирующей скорости потока пульпы

### Заключение

Выполненные исследования позволяют определить значения гидравлических параметров потока воды (пульпы), а также режимы гравитационной и напорной транспортировки размытых отложений (пульпы) в дренажных трубопроводах при гидродинамическом способе их очистки.

**Библиографический список**

1. Маслов, Б. С. Заиление дренажей железистыми отложениями: природа и способы борьбы / Б. С. Маслов // Гидротехника и мелиорация. – 1972. – № 10. – С. 34-41.
2. Хруцкая, З. Я. Заиление дренажа железистыми соединениями / З. Я. Хруцкая. – М : Колос, 1970. – С. 64-66.
3. Павловский, Н. Н. Краткий гидравлический справочник / Н. Н. Павловский. – Л. ; М. : Госиздат, 1940. – 309 с.
4. Меламут, Д. Л. Гидромеханизация в мелиоративном строительстве / Д. Л. Меламут. – М. : Стройиздат, 1981. – С. 89.
5. Научный отчет Лит НИИГиМ. – Кедайнай, 1969. – 42 с.
6. Митрахович, А. И. Исследование гидравлических характеристик заиленных полиэтиленовых гофрированных труб. / А.И. Митрахович // Мелиорация. – 2017. – № 3 (81). – С. 29-35.
7. Зубец, В. М. Эксплуатация закрытых осушительных систем / В. М. Зубец, А. Е. Вакар. – М. : Агропромиздат, 1989. – С. 31.
8. Блажис, Б. И. Гидравлические сопротивления гончарных и бетонных дренажных труб : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 06.531 / Б. И. Блажис. – Харьков, 1962.
9. Алеканд, К. Ф. Исследование заиления гончарного дренажа в минеральных грунтах : автореф. дис. ... канд. : 06.531 / К. Ф. Алеканд. – Минск, 1966.
10. Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования : ТКП 45-3.04-8-2005 (02250) : введ. 01.11.2005 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2006. – 105 с.
11. Временные технические условия и нормы для проектирования осушительных систем на минеральных избыточно-увлажненных землях в БССР / Министерство сельского хозяйства БССР. – Минск : Издательство Академии сельскохозяйственных наук БССР, 1959. – 17 с.
12. Кунце, Г. Загрязнение почвы железом и заохривание труб. / Г. Кунце. – М.: Агропромиздат, 1986. – С.102.
13. Проектирование и возведение мелиоративных систем и сооружений : пособие П 1-98 СНиП 2.06.03 –85. – Минск, 1999. – 85 с.
14. Мелиорация и водное хозяйство. Осушение: справочник / под ред. Б. С. Маслова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 447 с.
15. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1961. – 349 с.
16. Промывочная головка : пат. ВУ 11880 / В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин. – Оpubл. 24.08.2018.

Поступила 11.09.2019