

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАИЛЕННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБ

А.И. Митрахович, кандидат технических наук, доцент

РУП «Институт мелиорации»

г. Минск, Беларусь

Аннотация

В статье приведены результаты лабораторного исследования пропускной и транспортирующей способности полиэтиленовых гофрированных труб при заилении механическими частицами. Отмечается, что эффективность работы дренажных систем определяется надежностью функционирования дрен и коллекторов и, в первую очередь, их пропускной способностью. Установлено, что заилиение труб песчаными наносами слоем 0,1-0,3 диаметра уменьшает их пропускную способность на 27-70 %. Получено значение размывающей скорости потока, необходимой для самоочистки гофрированных труб от наносов, которую считаем как минимально незаиляющую.

Ключевые слова: гидравлические сопротивления, дренаж, заилиение труб, уклон трубопровода, скорость потока, наносы, расход потока, осушение

Abstract

A.I. Mitrakhovich

INVESTIGATION OF HYDRAULIC FEATURES OF SILTED POLYETHYLENE CORRUGATED PIPES

The article presents the results of laboratory investigation of siltation to discover how mechanical particles affects throughput ability of polyethylene corrugated pipes. Capacity of drainage systems depends on reliable operation of drains and collectors and throughput ability. Siltation in pipes caused by sand of 0.1-0.3 diameter decreases throughput ability by 27-70 %. The value of the eroding flow velocity necessary for self-cleaning of the corrugated pipes is obtained, which is considered as minimally non-insulating.

Keywords: hydraulic resistance, drainage, silting of pipes, slope of the pipeline, flow intensity, sediment, flow rate, dehumidification

Введение

Надежность работы горизонтального дренажа обуславливается работоспособным состоянием составляющих его элементов и типом грунта, в котором они заложены. Эффективность его работы оценивается степенью готовности сельхозугодий к проведению на них сельхоз работы в рекомендуемые сроки и поддержанию благоприятных условий в вегетационный период роста и развития растений. Качество осушения оценивается степенью соответствия существующего водного режима на мелиорированной площади требуемым показателям. Потому весьма актуальным для проектирования реконструкции мелиоративных систем является установление причин неэффективности действия дренажа, которые могут обуславливаться как неправильным выбором конструкции дренажной сети, ошибками в расчетах параметром систем, так и недостатками режима эксплуатации.

К наиболее частой причине снижения работоспособности систем можно отнести заилиение дренажных труб частицами грунта и железистыми соединениями. Степень заилиения трубок, прежде всего, зависит от вида грунта, в котором заложены дрены,

скорости течения воды в них, защиты стыков и перфорированной поверхности труб фильтрующим материалом и пр.

Следует отметить, что в прошлом столетии применялся только гончарный дренаж и все исследования по заилению относятся только к нему. Поэтому актуальным было получение данных по влиянию заилиения на гидравлические характеристики полиэтиленовых гофрированных труб. Следует отметить, что до настоящего времени нет данных по процессам заилиения гофрированных дренажных труб и их гидравлическим характеристикам. В статье освещаются результаты лабораторных исследований, проведенные ранее автором в БелНИИМиВХ, которые могут использоваться при изучении работоспособности и эффективности пластмассового дренажа.

Результаты и обсуждения

Дренажные трубы работают при полном наполнении сравнительно короткое время и обычно бывают заполнены лишь частично. В это же время в них наблюдаются наименьшие скорости. Установлено, что фильтрационные материалы не гарантируют полную защиту дрен от проникновения частиц грунта и отложения в ней взвешенных наносов. Вынос нано-

сов из дренажных труб связан со скоростью потока в них. Их самоочистка зависит от уклона дрен и шероховатости труб. В практике проектирования обычно указываются минимально допустимые скорости потока в дренажных трубах и допустимые пределы величин минимального уклона.

В старых руководствах дренажных работ [1], [2] за минимальную допустимую скорость потока в гончарных дренах считали скорость равную 0,15–0,20 м/с и, исходя из этого, определялись величины минимальных допустимых уклонов – (0,002–0,004).

Однако, как показала практика и некоторые исследования, такие скорости и уклоны не всегда обеспечивают самоочистку дрен. Так, Виссер [3] считал, что из-за небольших площадей, осушаемых отдельными дренами, расход воды в них не обеспечит при уклонах, несколько больших 0,002, нужной для перемещения наносов скорости 0,2 м/с. Он полагал, что самоочистка дрен может происходить только при уклонах 0,01 или работе дрены под напором.

По нормам проектирования осушительных систем в Литовской ССР [4] минимальные допустимые скорости в дренах, закладываемых в глинистых и суглинистых грунтах, составляли 0,2 м/с в супесчаных, 0,3 м/с – в песчаных и 0,4 м/с – в пылеватых.

В Эстонской ССР при проектировании и строительстве гончарного дренажа за основу принята величина допустимых минимальных уклонов или соответствующие скорости потока ($v_{дон}$) в сплошь заполненных трубах [5].

Наибольшие скорости (0,28–0,39 м/с) требуются для выноса мелкозернистых песков и плывунов (основная фракция 0,05–0,25 мм). Уклон в этом случае колеблется от 0,0025 до 0,0045. Наименьшие скорости (0,20–0,30 м/с) требуются для дрен, заложенных в глинистых грунтах (частиц с диаметром 0,01 мм до 50 %).

У нас в Республике для гончарного дренажа допускаются минимальные уклоны 0,002 [1].

Необходимо отметить, что известные рекомендации по выбору минимальных допустимых скоростей экспериментально не всегда проверялись, а составлены на основе многолетнего опыта строительства и эксплуатации дренажа.

Наиболее детально размывающие скорости в гончарном дренаже исследованы К. Алекандом [2], В.М. Зубцом [3] и Б.Н. Блажисом [4]. Ими установле-

но, что движение наносов в дренажных трубах начинается при средних скоростях 0,08–0,14 м/с. По сравнению с открытыми потоками размывающие скорости в дренажных трубах для одинаковых фракций грунта намного меньше. М.А. Великанов [5] для открытых потоков вывел минимальную скорость (v_{min}), равную 0,24 м/с, ниже которой не могут двигаться даже самые мелкие частицы. Аналогичные данные получены С.К. Ревяшко [6], который наблюдал первые подвижки зерен грунта при донной скорости ($v_{дон}$) 10,5 см/с и $v_{ср}$ 21,3 см/с. Такое различие, по видимому, можно объяснить увеличением пульсации потока за счет боковых стенок трубы. С увеличением пульсации, как отмечал Ц.Е. Мирцхулава [7], размывающая способность потока увеличивается при равных средних по сечению скоростях. Хотя первые подвижки частиц грунта и начинаются при $v_{ср}$ равной 0,08–0,14 м/с, однако расход наносов при этих скоростях ничтожный и не имеет практического значения. По данным Блажиса [9], размыв отложившихся мелкозернистых наносов и пылевой супеси в гончарных трубах возможен, если при диаметре трубы 50 мм скорость составляет 0,30+0,35 м/с, а при диаметрах 100 и 200 мм – 0,35+0,40 и 0,50+0,55 м/с соответственно. Как видим, размывающие скорости зависят и от диаметра труб.

Для пластмассовых гофрированных дренажных труб минимальные допустимые уклоны и скорости принимались по аналогии с гончарными, без экспериментальной проверки. Для выдачи обоснованных рекомендаций по выбору минимально допустимых их величин были проведены специальные исследования, которые охватили все диаметры применяемых на практике гофрированных труб Борисовского завода пластмассовых изделий (БЗПИ).

Опыты проводились на гидравлической установке. Длина испытываемых труб составляла 22 м. Для исследования были взяты гофрированные полиэтиленовые трубы диаметром 73,9; 91 и 119 мм. Трубы исследовались при уклонах 0,002 и 0,005. Для заиливания труб применялся хорошо отсортированный песок крупностью $d < 0,31$ мм, поскольку в полевых условиях он составляет основную часть (более 60 %) наносов в дренах [8]. Установлено также, что в большинстве генетических групп несвязных грунтов Беларуси преобладают мелкозернистые и разнозернистые пески, содержания

фракций $d < 0,4$ мм здесь составляют 40–60 % [9]. Относительная толщина слоя отложений (h) принималась в пределах 0,08–0,35 D . Уменьшение площади живого сечения труб при данной толщине отложений составляло 5–35 %. Загрузка труб песком проводилась через отверстия, сделанные в верхней части труб. Разравнивали песок специальными шаблонами, размеры которых соответствовали степени уменьшения живого сечения. Каждый отрезок трубы заполнялся отдельно. Соединялись трубы резиновыми муфтами. Длина загружае-

мой песком части труб бралась 15–17 м, длина расчетного участка – 5 м. Высота наполнения труб водой замерялась мерными иглами. На конце трубопровода был установлен щиток для ликвидации кривой спада. Расход воды замерялся объемным способом. Для измерения расхода наносов применялся ящик-ловушка, который устанавливался в конце измерительного участка. Наносы поступали в ловушку из отверстия, сделанного в дне трубы. Расходы наносов замерялись при установившейся глубине наполнения труб.

Таблица 1. – Гидравлические характеристики гофрированной полиэтиленовой трубы диаметром 119 мм без заиления при уклоне 0,002

№№ пп	H, мм	H/D	Q, л/с	ω , см ²	u, м/с	R, см	λ	t°
1	16	0,13	0,063	8,62	0,07	0,96	0,03	2
2	20	0,17	0,265	12,64	0,21	1,23	0,044	2
3	26	0,22	0,402	18,2	0,22	1,56	0,051	2
4	31	0,26	0,600	23	0,26	0,18	0,042	5
5	38	0,32	1,00	29,5	0,34	2,13	0,029	5
6	46	0,39	1,38	40,2	0,34	2,49	0,033	6
7	53	0,45	1,83	48,5	0,38	2,78	0,030	6
8	59	0,50	2,260	55,6	40,5	2,98	0,028	6
9	65	0,55	2,645	62,6	42,0	3,16	0,028	6
10	71	0,60	2,990	70,0	43,0	3,30	0,028	6
11	74	0,62	3,255	72,6	45,0	3,35	0,026	6
12	84	0,68	3,740	80,7	46,0	3,49	0,026	6
13	89	0,75	4,130	89,8	46,0	3,60	0,0266	6
14	95	0,80	4,400	95,6	46,0	3,62	0,0268	6
15	100	0,84	4,700	99,9	47,5	3,60	0,025	6
16	106	0,89	4,970	104,0	48	3,55	0,024	6,5
17	110	0,93	5,170	107,9	47,8	3,46	0,0236	6,5
18	116	0,98	5,200	110,7	47	3,32	0,0235	6,5

Таблица 2. – Гидравлические характеристики гофрированной полиэтиленовой трубы диаметром 119 мм, заиленной на высоту 0,30 D при уклоне 0,002

№№ пп	H, мм	H/D	Q, л/с	ω , см ²	u, м/с	R, см	λ	Вынос, см ³ /сут	t°
1	41	0,34	0,033	7,9	0,04	2,24	0,98		2
2	42	0,35	0,047	9,3	0,053	2,30	0,74		
3	44	0,37	0,089	11,9	0,075	2,40	0,4		2,5
4	45	0,38	0,129	13,3	0,096	2,44	0,27		
5	50	0,42	0,248	18,3	0,13	2,64	0,185		4
6	57	0,48	0,445	25,7	0,17	2,90	0,125		4,5
7	64	0,54	0,682	35,6	0,19	3,12	0,111	192	6
8	70	0,59	0,940	42,9	0,22	3,27	0,097	720	
9	77	0,65	1,205	51,0	0,23	3,43	0,086	1180	
10	84	0,70	1,47	58,0	0,25	3,53	0,078	3040	
11	92	0,77	1,750	66,5	0,26	3,61	0,077	19400	
12	99	0,83	2,020	73,2	0,27	3,61	0,069	31400	
13	105	0,88	2,260	78,1	0,29	3,57	0,062	12240	
14	113	0,95	2,500	84,0	0,297	3,41	0,055		

Таблица 3. – Гидравлические характеристики гофрированной полиэтиленовой трубы диаметром 91 мм, заиленной на высоту 0,36 D при уклоне 0,005

№№ пп	H, мм	H/D	Q, л/с	ω , см ²	u, м/с	Расход наносов, см ³ /сут	R, см	λ	t°
1	37	0,40	0,033	3,4	0,10	-	1,95	0,76	6,5
2	38	0,42	0,062	5,0	0,12	-	2,02	0,55	
3	39	0,43	0,124	5,82	0,21	-	2,05	0,185	
4	45	0,49	0,228	10,8	0,20	576	2,09	0,204	
5	49	0,54	0,279	14,8	0,19	576	2,39	0,258	7
6	52	0,57	0,330	17,3	0,19	1250	2,45	0,265	7
7	55	0,60	0,426	19,8	0,216	200	2,52	0,21	
8	59	0,65	0,490	24	0,206	200	2,62	0,24	
9	62	0,68	0,592	26	0,22		2,67	0,216	
10	67	0,73	0,690	29,9	0,23	576	2,72	0,20	
11	72	0,79	0,790	34	0,23	2200	2,76	0,203	
12	78	0,86	0,878	38	0,23	4800	2,77	0,205	
13	83	0,91	0,952	41	0,23	7680	2,69	0,199	
14	86	0,95	0,972	43	0,226	22000	2,61	0,199	

Таблица 4. – Гидравлические характеристики гофрированной полиэтиленовой трубы диаметром 91 мм, заиленной на высоту 0,16 D при уклоне 0,005

№№ пп	H, мм	H/D	Q, л/с	ω , см ²	u, м/с	Расход наносов, см ³ /сут	R, см	λ	t°
1	24	0,26	0,078	6,6	0,12	-	1,37	0,37	3,5
2	25	0,27	0,107	8	0,13	-	1,43	0,33	
3	26	0,29	0,154	8,4	0,18		1,5	-	-
4	27	0,30	0,183	9,3	0,18	336	1,55	-	2
5	33	0,36	0,289	13,8	0,15	6240	1,79	0,31	
6	37	0,41	0,336	18	0,14	5300	1,98	0,39	6
7	40	0,44	0,432	20,6	0,135	2880	2,08	0,44	7
8	45	0,49	0,518	25,3	0,20	3800	2,28	0,21	7
9	50	0,55	0,656	29,5	0,22	3000	2,41	0,20	7
10	55	0,60	0,817	33,8	0,24	6500	2,52	0,17	7
11	61	0,67	0,955	39,4	0,24	10000	2,65	0,18	
12	65	0,71	1,100	42,4	0,26	-	2,71	0,16	
13	71	0,78	1,300	47,4	0,27	13000	2,72	0,146	
14	73	0,80	1,560	48,7	0,32	26600	2,76	0,107	
15	74	0,84	1,720	49,3	0,34	39000	2,76	0,09	

Таблица 5. – Зависимость пропускной способности труб от степени заиления

D, мм	Уклон, i	Степень заиления, H/D	Уменьш. площадь сечения трубы, %	Q1 л/с чистой трубы при H/D = 0,8	Q2 л/с заиленной трубы при H/D = 0,8	(Q-Q ₂)/Q ₂ ·100%
74	0,005	0,075	5	1,5	1,1	27
		0,20	14	1,5	0,7	53
	0,002	0,15	9	1,1	0,8	27
		0,20	14	1,1	0,7	36
91	0,005	0,16	10	2,7	1,4	48
		0,26	20	2,7	0,9	67
		0,36	31	2,7	0,8	70
	0,002	0,30	25	1,6	0,8	50
119	0,002	0,30	23	4,5	2,0	55

В результате проведенных опытов определены средние скорости в заиленной и незаиленной трубе, данные некоторых из них представлены в таблицах 1-5.

Наносы, отложившиеся в трубах, уменьшая живое сечение потока, оказывают большое влияние и на сам поток, уменьшают скорость течения и пропускную способность труб. Например, при заилении труб до 0,3 внутреннего диаметра возможно снижение их пропускной способности до 70 % [10]. Некоторые исследователи считают, что при высоте наилка равной 0,1-0,5 диаметра трубы уже требуется проводить ремонт дренажной системы.

На рисунке 1 представлены кривые изменения коэффициента сопротивления λ в зависимости от наполнения для заиленных и незаиленных труб. Коэффициент сопротивления λ определялся по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\lambda = \frac{8gRi}{v^2}, \quad (1)$$

где v – средняя скорость потока, м/с; R – гидравлический радиус, м; g – ускорение, м/с²; i – уклон трубопровода.

Характер кривых сопротивления различный. По сравнению с чистыми, в полностью заиленных трубах сопротивление увеличивается незначительно. Однако по мере уменьшения степени наполнения разница существенно увеличивается. Так при высоте наполнения 0,5 D коэффициент сопротивления заиленных труб в 3 раза больше, чем чистых. Аналогичный характер имеют кривые сопротивления и в трубах диаметром 91 мм.

Наносы очень сильно влияют на пропускную способность труб, что хорошо видно из таблиц 1-5 и рисунков (1-4). Опытами установлено, что заиление труб диаметром 74 мм слоем 0,075 D, что соответствует уменьшению площади сечения на 5%, при наполнении близком к полному снижает пропускную способность на 27 – 30 %.

Заиление на высоту 0,2 D ведет к уменьшению пропускной способности на 50 и более процентов. Следует заметить, что при одинаковой степени заиления с увеличением уклона разница в расходах чистых и заиленных труб возрастает. Если для труб диаметром 74 мм при высоте наполнения 0,2 D и уклоне 0,002 расход заиленных труб на 27 % меньше, чем

чистых, то при $i = 0,005$, эта разница достигает 53 %. Это объясняется различными размерами песчаных гряд. При большем уклоне образуются гряды большей высоты: они создают большую шероховатость. Исходя из результатов опытов, заиления труб слоем больше 0,1 D следует считать опасным, т.к. оно вызывает существенное снижение пропускной способности.

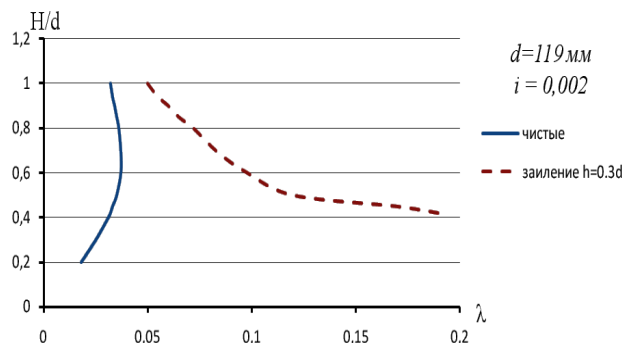


Рисунок 1. – Зависимость гидравлического сопротивления от степени наполнения трубы и ее заиления

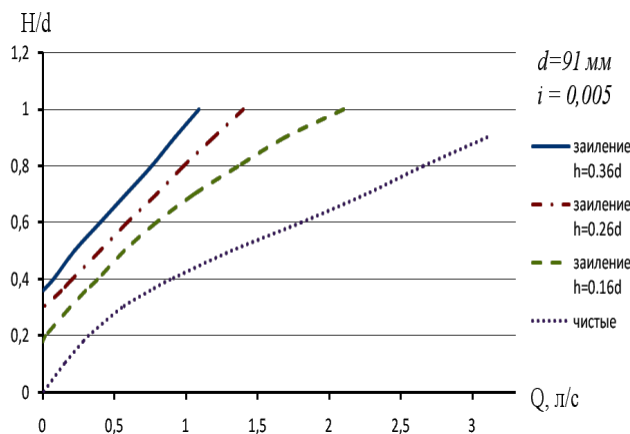


Рисунок 2. – Зависимость расхода от степени наполнения трубы и ее заиления

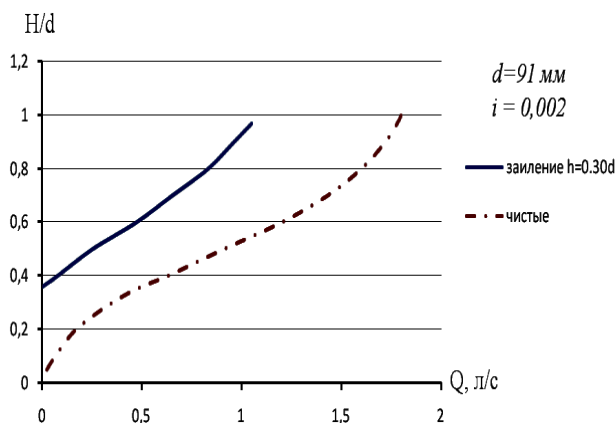


Рисунок 3. – Зависимость расхода от степени заиления и наполнения трубы

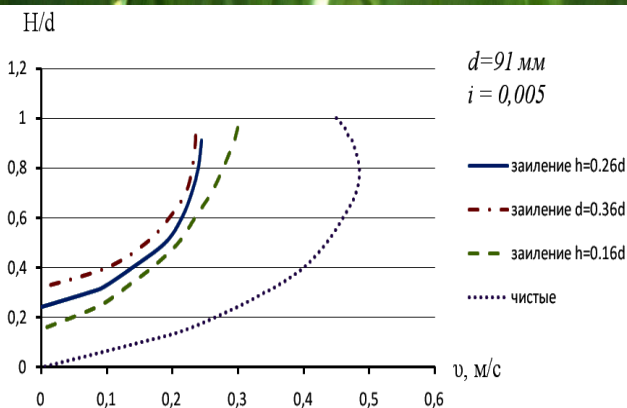


Рисунок 4. – Зависимость скорости потока от степени заиления и наполнения труб

Уменьшая пропускную способность труб, наносы тем самым снижают площадь осушения, обслуживаемую данным коллектором.

Снижение пропускной способности труб в результате заиления обуславливает снижение скорость потока в них на такую же величину (рисунки 1-4). При вычислении средней скорости потока в заиленных трубах за расчетную площадь живого сечения потока принимали площадь, смоченный периметр которой составляют стенки трубы и поверхность наносов. Эта площадь равна (рисунок 5):

$$w = w_1 - w_2 \tag{2}$$

где w – площадь живого сечения потока; w_1 – площадь с высотой наполнения H ; w_2 – площадь сечения наносов с высотой h .

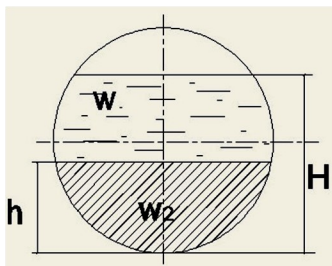


Рисунок 5. – Сечение заиленной трубы

Одновременно с измерением расхода и скорости при различных степенях наполнения, высоте заиления и уклонах проводились замеры расхода наносов с целью установления возможности самоочистки труб. Первые подвижки песка в наших опытах имели место при средних скоростях 0,12–0,15 м/с. Однако расход наносов при таких скоростях незначительный. Интенсивное влечение наносов по дну происходит при скоростях больше 0,20 м/с, когда начинают формироваться гряды. В транспорте наносов

грядовый режим движения наносов является основным. Расход замеряемых нами наносов состоял полностью из донных наносов. Взвешенные наносы составляли ничтожную часть от общего количества наносов. Наиболее интенсивное движение наносов наблюдалось при скоростях 0,22–0,24 м/с, причем такие скорости характерны для исследованных труб всех диаметров.

В таблице 6 приводятся данные по размывающим скоростям и расходу наносов. Если взять скорости потока и расход наносов при наполнении труб H/D больше 0,7, то полученные данные показывают, что размывающие и транспортирующие скорости в трубах всех диаметров находятся в пределах 0,22–0,26 м/с.

Таблица 6. – Размывающие и транспортирующие скорости потока в гофрированных трубах

D, мм	Уклон i	Степень заиления, h/D	Расход наносов, см³/сут	V _{ср.} , м/с	Наполнение труб, H/D
91	0,005	0,16	10000	0,24	0,67
		0,26	8640	0,22	0,66
		0,36	4800	0,23	0,86
	0,002	0,31	1920	0,21	0,87
119	0,002	0,30	19400	0,26	0,77
74	0,005	0,20	3400	0,23	0,73

Из таблицы видно, что полученных скоростей вполне достаточно для самоочистки труб.

Выводы

1. Заиление труб песком крупностью $d < 0,31$ мм слоем 0,1–0,3 диаметра труб, что соответствует уменьшению площади живого сечения трубы на 5–25 %, снижает их пропускную способность на 27–70 %. Заиление, уменьшающие площадь сечения трубы более чем на 5%, следует считать опасным.

2. При одинаковой степени наполнения гофрированных труб с увеличением уклона трубопровода увеличиваются их гидравлические сопротивления, вследствие образования песчаных гряд больших размеров при больших скоростях потока.

3. Величина размывающей скорости потока, необходимая для самоочистки гофрированных труб от механических наносов, должна быть не менее 0,25 м/с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования. / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь.– Минск, 2006.– С.105.
2. Алеканд, К.Ф. Исследование заиления гончарного дренажа в минеральных грунтах./ К.Ф. Алеканд // Автореферат кандид. диссертации. – Минск, – 1966.
3. Научный отчет отдела эксплуатации БелНИИМиВХ.– Минск, 1968.
4. Научный отчет Лит. НИИГиМ Кедайняй, 1969.
5. Великанов, М.А. Движение наносов / М.А. Великанов. – М. : Изд-во Министерства речного флота СССР, 1948. – 210 с.
6. Ревяшко, С.К. Исследование размываемости грунтов./ С.К. Ревяшко // Труды института БелНИИМиВХ. – Минск, 1958. – Т. VIII. – С.102-125.
7. Мирцхулава, Ц.Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости./ Ц.Е. Мирцхулава. – М. : Колос, 1987. – 178 с.
8. Михальцевич, А.И. Заиление гончарных дрен при шлюзовании./ А.И. Михальцевич, К.С. Пантейлей // Мелиорация и водное хозяйство. – Москва, 1972. – №8. – С. 16-18.
9. Мурашко, А.И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А.И.Мурашко. – М. : Колос, 1982. – 270 с.
10. Жагарис, П.В. Исследование гидравлических сопротивлений и движения наносов в частично заиленных дренах. Автореферат Дисс. канд. техн. наук / П.В. Жагарис. – Минск, 1973. – 26 с.

Поступила 30.08.2017