

# • МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 6626.86 : 5325

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКА ВОДЫ В ДРЕНАЖНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ОЧИСТКИ

**А. С. Анженков**, кандидат технических наук

**В. А. Болбышко**, кандидат технических наук

**Н. Н. Погодин**, кандидат технических наук

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Выполнен расчет гидравлических параметров потока воды в дренажном трубопроводе при гидродинамическом способе очистки в зависимости от расхода воды насадки промывочной, скорости ее движения, диаметра и уклона дренажного трубопровода. Определены расходные и скоростные показатели потока на различных этапах очистки при прямом и обратном ходе насадки промывочной.

**Ключевые слова:** насадка промывочная, расход, скорость потока воды, гидравлические параметры, дренажный трубопровод.

### Abstract

**A. S. Anzhenkov, V. A. Bolbyshko, N. N. Pogodin**

### HYDRAULIC PARAMETERS OF WATER FLOW IN DRAIN PIPES AT HYDRODYNAMIC CLEANING METHOD

The calculation of the hydraulic parameters of the water flow in the drainage pipeline with the hydrodynamic method of cleaning, depending on the water flow rate of the flushing nozzle, the speed of its movement, the diameter and slope of the drainage pipeline, has been carried out. The flow rates and speeds have been determined at various stages of cleaning during the forward and reverse movement of the flushing nozzle.

**Keywords:** flushing nozzle, flow rate, water flow rate, hydraulic parameters, drainage pipeline.

### Введение

Наибольшее применение при очистке дренажных трубопроводов от заилиения получил механизированный гидродинамический способ. Данный способ основан на разрушении отложений в трубопроводе путем воздействия на них высокоскоростных струй воды. Рабочим органом устройств, действующих по этому способу, является гидродинамическая насадка промывочная, вода к которой подается от насоса установки по гибкому напорному рукаву. Передвижение насадки в дренажном трубопроводе

осуществляется посредством специального механического устройства или вручную.

Очистку дренажных трубопроводов гидродинамическим способом можно разделить на два этапа. Первый этап заключается в размыве отложений струями воды, исходящих из фронтальных и тыльных сопел насадки промывочной при продвижении ее прямым ходом по трубопроводу. На этом этапе размытые отложения (пульпа) удаляются из трубопровода гравитационным потоком воды. На втором этапе, который можно назвать

очистительным, насадка промывочная движется при работающем водяном насосе по трубопроводу в обратном направлении с помощью водоподводящего рукава, наматываемого на вращающийся барабан дренажно-промывочной установки. При продвижении насадки промывочной водяные струи, исходящие из тыльных сопел, создают высокоскоростной поток воды в виде высокотурбулентного шлейфа, движущегося от насадки в сторону устья. В результате воздействия этого бурного водоструйного шлейфа происходит дополнительный размыв отложений, взвешивание их в потоке воды и транспортирование по трубопроводу.

Процесс очистки в большой степени определяется гидравлическими параметрами потока пульпы в дренажном

трубопроводе. К таким параметрам, в первую очередь, следует отнести расход и скорость потока, которые зависят от расхода воды, скорости передвижения насадки промывочной, диаметра и уклона дренажного трубопровода, а также от наличия в его полости напорного промывочного рукава. Необходимо отметить, что гидравлические параметры потока в значительной степени изменяются во время движения насадки промывочной при очистке. Однако исследований, позволяющих установить их значения в каждый момент времени и их влияние на процесс очистки, не проводилось.

Цель статьи – определение гидравлических параметров потока воды в дренажных трубопроводах при гидродинамическом способе очистки.

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим гидравлические параметры потока воды (скорость, расход), которые образуются при продвижении насадки промывочной прямым проходом (от устья) по очищаемым дренажным трубопроводам с наиболее распространенным уклоном 0,003. Средняя скорость промывочного рукава с насадкой при ручной его подаче составляет около 0,1 м/с. На дренажных трубопроводах при отсутствии неисправностей и при степени заиливания до 30–40 % скорость подачи промывочного рукава достигает 0,5 м/с.

Для определения скоростных и расходных показателей гравитационного потока воды, образующегося при очистке дренажных трубопроводов, примем скорость подачи насадки промывочной 0,1; 0,2; 0,3 и 0,5 м/с, а расход подаваемой воды – 0,5; 0,76; 1,0 и 1,5 л/с. Согласно расчетам, для установки промывки дренажа УПД-120 при использовании промывочного рукава с внутренним диаметром 15 мм расход насадки промывочной составит 0,76 л/с, а при использовании промывочного рукава с внутренним диаметром 20 мм 1,5 л/с [1].

Рассмотрим движение насадки промывочной в коллекторе при скорости подачи ( $V_n$ , м/с) и длине участка промывки ( $L$ , м).

Время подачи насадки в коллектор составит:

$$t = L / V_n. \quad (1)$$

Объем воды, подаваемой в коллектор, определяется по формуле:

$$U = qt, \quad (2)$$

где  $q$  – расход воды, исходящий из насадки, л/с.

Из поданного объема воды ( $U$ ) определенная часть его объема ( $U_1$ ) заполнит коллектор на высоту ( $h$ ), а другая часть ( $U_2$ ) вытечет из него.

Таким образом, должно выполняться равенство:

$$U = U_1 + U_2, \quad (3)$$

$$\text{где } U_1 = S_n \cdot L, \quad (4)$$

соответственно  $S_n$  – площадь поперечного сечения потока, м<sup>2</sup>;

$$U_2 = S_n \cdot v_p t, \quad (5)$$

$v_p$  – скорость потока, м/с.

Равенство (3) будет выполняться только при определенной высоте воды  $h$  в трубопроводе, которому будет соответствовать площадь поперечного сечения потока  $S_n$ , объем воды в трубопроводе  $U_1$  и величина стока  $U_2$ . При определенных скорости подачи, расходе насадки и диаметре коллектора высота воды в нем и, соответственно, расход вытекающей воды будут постоянными. Расчет характеристик потока, истекающего из дренажного трубопровода, при гидродинамическом способе очистки известен [2]. В соответствии с ним были рассчитаны параметры потока при движении промывочной насадки вперед при заданных величинах диаметра коллектора  $D$ , его уклона  $i$ , расхода  $q$ , скорости движения промывочной насадки  $V_n$ , наружного диаметра промывочного рукава  $d$ .

Результаты расчета представлены в табл. 1 и на рис. 1–3.

Таблица 1. Высота, скорость и расход потока в коллекторе в зависимости от расхода и скорости подачи насадки промывочной

Показатели	Расход насадки, $q$ , л/с			
	0,5	0,76	1,0	1,5
Скорость подачи насадки, $V_n$ , м/с	0,1			
Высота потока, $h$ , мм	37,3	45,1	51,7	64,7
Скорость потока, $V_{пв}$ , м/с	0,14	0,17	0,19	0,22
Расход потока, $q$ , л/с	0,29	0,48	0,65	1,03
Скорость подачи насадки, $V_n$ , м/с	0,2			
Высота потока, $h$ , мм	32,0	38,6	44,2	54,9
Скорость потока, $V_{пв}$ , м/с	0,12	0,15	0,17	0,20
Расход потока, $q$ , л/с	0,19	0,32	0,45	0,74
Скорость подачи насадки, $V_n$ , м/с	0,3			
Высота потока, $h$ , мм	28,5	34,3	39,1	48,3
Скорость потока, $V_{пв}$ , м/с	0,11	0,13	0,15	0,18
Расход потока, $q$ , л/с	0,13	0,23	0,33	0,56
Скорость подачи насадки, $V_n$ , м/с	0,5			
Высота потока, $h$ , мм	24,2	28,7	32,6	39,8
Скорость потока, $V_{пв}$ , м/с	0,09	0,11	0,13	0,15
Расход потока, $q$ , л/с	0,07	0,14	0,20	0,35

Примечание.  $D = 100$  мм,  $i = 0,003$ ,  $d = 28$  мм.

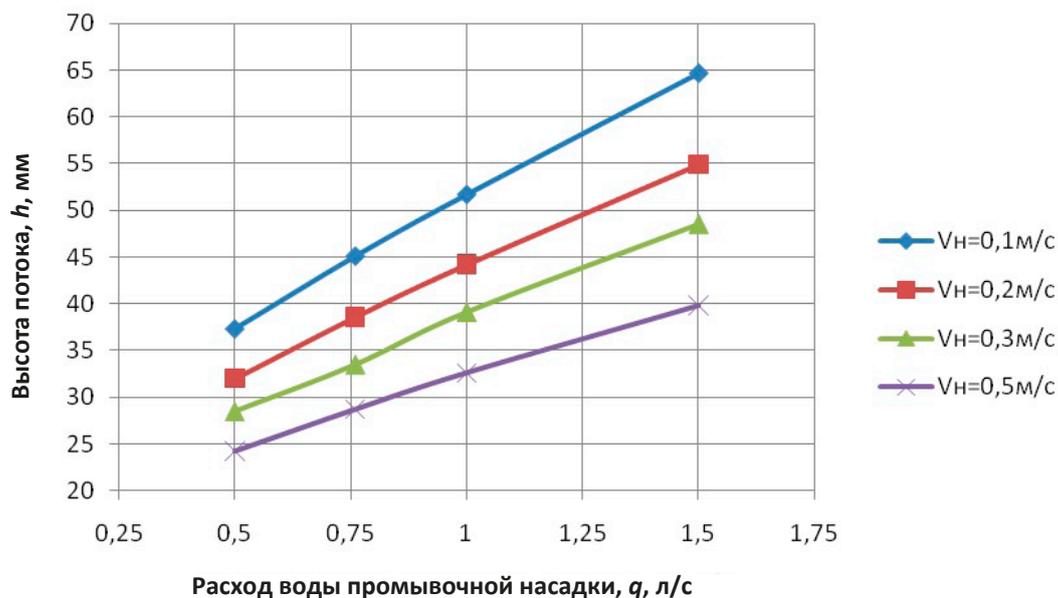


Рис. 1. Высота потока воды в коллекторе в зависимости от скорости подачи и расхода насадки

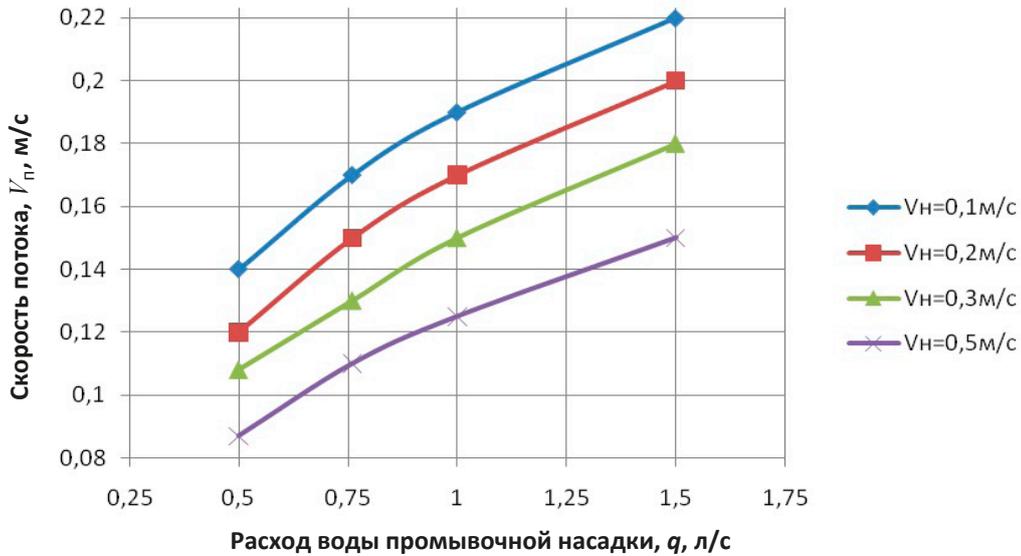


Рис. 2. Скорость потока воды в коллекторе в зависимости от скорости подачи и расхода насадки

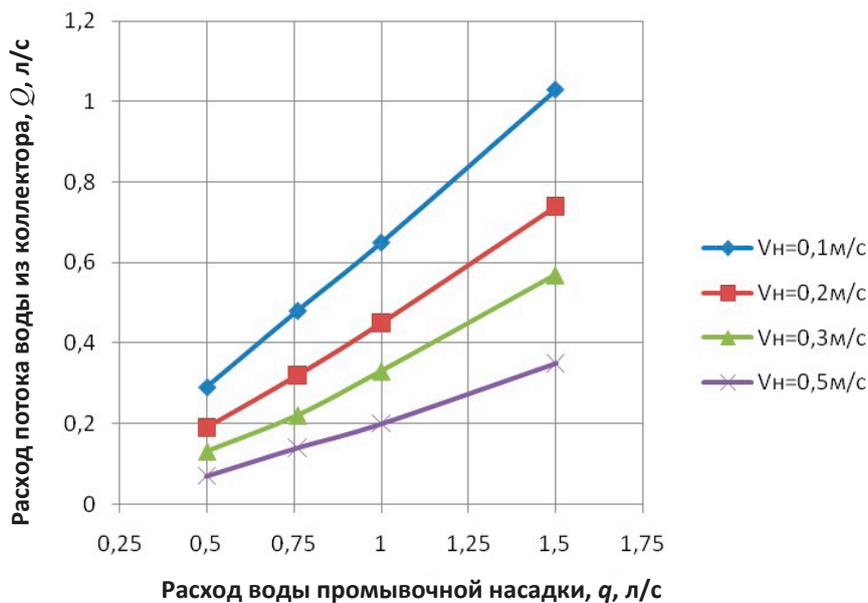


Рис. 3. Расход потока воды из коллектора в зависимости от скорости подачи и расхода насадки

Согласно расчетам, для коллекторов диаметром 75 и 125 мм значения скорости и расхода потока воды при прочих равных условиях изменяются незначительно по сравнению с коллектором, где диаметр 100 мм. Разница составляет не более 5–10 % ввиду того, что площадь поперечного сечения потока в этих случаях также изменяется незначительно.

На основании имеющихся данных произведем расчет объемов воды,

подаваемой в коллектор и вытекающей из него, за время подачи насадки на длину  $L = 100$  м в зависимости от скорости и расхода насадки. Такой расчет необходим для оценки возможного объема выноса отложений.

Результаты расчета для коллектора диаметром 100 мм при длине 100 м и уклоне 0,003 за время прямого хода насадки промывочной в зависимости от скорости и расхода насадки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Баланс воды в коллекторе (подача воды в коллектор, л / сток из коллектора, л) за время прямого хода насадки промывочной

Скорость подачи насадки, м/с	Время подачи насадки, с	Расход насадки, $q$ , л/с			
		0,5	0,76	1,0	1,5
0,1	1000	500/290	760/480	1000/650	1500/1030
0,2	500	290/95	380/160	500/225	750/370
0,3	333	167/43	253/77	333/110	500/190
0,5	200	100/14	152/28	200/40	300/70

Примечание.  $D = 100$  мм,  $L = 100$  м,  $i = 0,003$ .

Из данных таблицы следует, что при увеличении скорости подачи насадки сток из коллектора снижается в связи с тем, что при более высокой скорости уменьшаются время подачи и, соответственно, объем подаваемой в коллектор воды.

Объемы подачи воды и ее стока в дренажном трубопроводе с диаметром 100 мм при уклоне 0,003, расходе насадки промывочной 0,76 и 1,5 л/с и скоростях подачи воды в интервалах 0,1–0,5 м/с приведены на рис. 4 и 5.

Разница в объемах поданной воды ( $U$ ) и стока ( $U_2$ ), то есть оставшийся объем воды в дренажном трубопроводе ( $U_1$ ), должна учитываться при обратном проходе насадки промывочной.

По расчетам, для коллекторов с диаметрами 75 и 125 мм значения объема стока воды

при прочих равных условиях изменяются незначительно по сравнению с коллектором диаметром 100 мм. Разница составляет менее 5 % вследствие того, что площадь поперечного сечения потока и его скорость в этих случаях также изменяются несущественно.

На основании анализа полученных данных можно считать наиболее целесообразным продвижение промывочной насадки при подаче в дренажный трубопровод с максимально возможной скоростью, обеспечивающей при этом размыв отложений. Данное предложение относится в основном к случаям подвозки воды к дренажно-промывочной установке дополнительным трактором, что позволит снизить затраты на доставку воды и повысит производительность очистки.

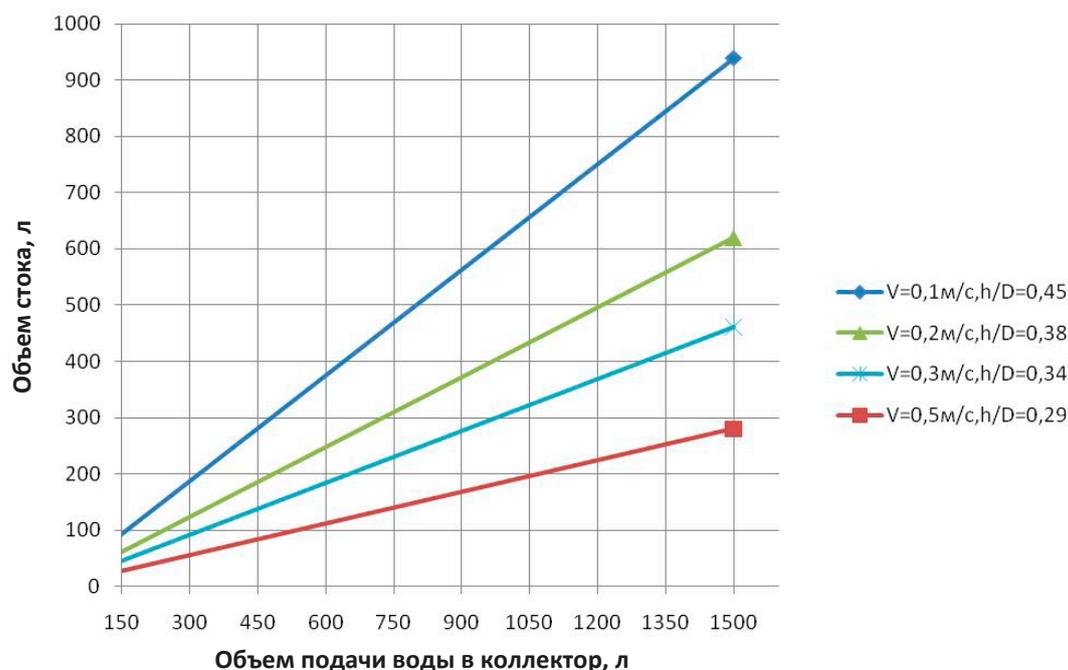


Рис. 4. Объем подачи и объем стока воды в дренажном трубопроводе в зависимости от скорости подачи насадки промывочной ( $D = 100$  мм,  $L = 100$  м,  $i = 0,003$ ,  $q = 0,76$  л/с)

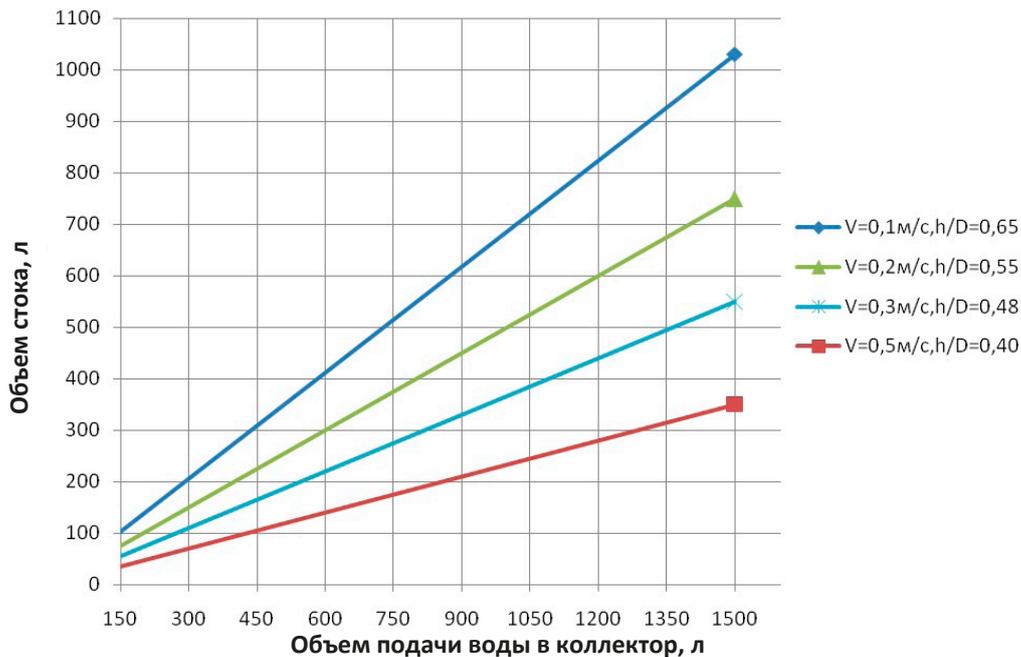


Рис. 5. Объем подачи и объем стока воды в дренажном трубопроводе в зависимости от скорости подачи насадки промывочной ( $D = 100$  мм,  $L = 100$  м,  $i = 0,003$ ,  $q = 1,5$  л/с)

При движении насадки промывочной назад во время ее извлечения из дренажного трубопровода поток воды, истекающий из коллектора, возрастает. Это происходит за счет суммирования объемов воды, уже находящихся в трубопроводе и подаваемых насадкой.

Рассмотрим второй этап очистки дренажных трубопроводов при обратном продвижении насадки промывочной – к устью. В этот момент трубопровод будет частично заполнен водой, вытекающей из насадки при ее прямом прохождении.

При перемещении насадки назад на некоторое расстояние  $\ell$  со скоростью  $V_n$  в трубопровод из нее поступит некоторый объем воды ( $U_n$ ). В то же время из трубопровода вытечет часть воды объемом  $U_c$ , а уровень воды в трубопроводе повысится. При этом должен соблюдаться баланс объемов воды, участвующих в этом процессе, то есть должно выполняться равенство:

$$U_{\text{TK}} = U_{\text{TH}} + U_n - U_c, \quad (6)$$

где  $U_{\text{TK}}$  – конечный объем воды в трубопроводе,  $\text{м}^3$ ;

$U_{\text{TH}}$  – начальный объем воды в трубопроводе,  $\text{м}^3$ ;

$U_n$  – объем воды, поступивший из насадки,  $\text{м}^3$ ;

$U_c$  – объем стока,  $\text{м}^3$ .

Начальный объем воды в трубопроводе и расход воды из него зависят от параметров режима подачи насадки в трубопровод и могут быть определены на основании расчетов, приведенных выше, а объем воды, поступивший из насадки, – по формуле (2). Расход воды из трубопровода во время движения насадки меняется, вместе с этим меняется и высота потока. Конечный объем воды в трубопроводе можно определить по следующей зависимости:

$$U_{\text{TK}} = S_k(L - \ell), \quad (7)$$

где  $S_k$  – площадь потока конечная,  $\text{м}^2$ ;

$L$  – длина трубопровода, м;

$\ell$  – длина участка перемещения насадки, м.

Объем стока из трубопровода за относительно небольшой промежуток времени с некоторым допущением можно рассчитать по формуле:

$$U_c = \frac{(Q_n + Q_k)t}{2}, \quad (8)$$

где  $Q_n$  – расход воды из трубопровода в начале участка перемещения,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_k$  – расход воды из трубопровода в конце участка перемещения,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$t$  – время движения насадки, которое можно представить как  $t = \ell / V_n$ , с.

На основании приведенных зависимостей и расчета характеристик потока, истекающего из дренажного трубопровода при гидродинамическом способе очистки [2], можно определить начальные и конечные параметры потока воды в дренажном трубопроводе при перемещении насадки на некоторое расстояние  $\ell$  и время перемещения  $t$ . Подставив в формулу (6) выражения (2), (7), (8), получим:

$$S_K(L - V_H \cdot t) = U_{TH} + q \cdot t - \frac{(Q_H + Q_K)t}{2} \quad (9)$$

Следовательно, можно определить время и расстояние перемещения насадки промывочной:

$$t = \frac{U_H - S_K L}{\frac{Q_H + Q_K}{2} - S_K V_H - q}, \quad (10)$$

$$\ell = V_H \cdot t. \quad (11)$$

Таким образом, можно рассчитать все гидравлические параметры потока в конце участка перемещения  $\ell$ .

В качестве примера рассмотрим расчет параметров потока для коллектора с  $D = 100$  мм,  $L = 100$  м,  $i = 0,003$ . Из него со скоростью  $V_H = 0,3$  м/с извлекается насадка промывочная с расходом  $q = 1,5$  л/с. Наружный диаметр промывочного рукава равен  $d = 28$  мм. Предположим, что высота воды в трубопроводе в начальный момент составляет  $h = 48,3$  мм, что соответствует вышеприведенным данным расчета для прямого хода насадки со скоростью 0,3 м/с. При этом начальный объем воды в трубопроводе составит  $U_H = S_{пн} \times L = 31,4/10^4 \times 100 = 0,314$  м<sup>3</sup>, где  $S_{пн}$  – площадь поперечного сечения потока начальная, расход  $Q_H = 0,56$  л/с, скорость потока  $V_H = 0,18$  м/с.

Рассчитаем параметры потока при достижении высоты воды в трубопроводе  $h = 55$  мм. Используя методику расчета характеристик потока, истекающего из дренажного трубо-

провода при гидродинамическом способе очистки [2], определим площадь поперечного сечения потока, его расход и скорость:  $S_{пк} = 3,84 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>,  $Q_K = 0,74$  л/с,  $V_H = 0,20$  м/с. Время перемещения насадки при этом устанавливается согласно (10):  $t = 33,7$  с, расстояние перемещения – по (11):  $\ell = 10,1$  м.

Таким образом, можно определить параметры потока воды в дренажном трубопроводе при извлечении насадки в любой момент времени.

Рассмотрим, как меняется расход воды, истекающей из дренажного трубопровода с уклоном 0,003 при извлечении из него насадки с расходом воды из нее 1,5 л/с при наружном диаметре промывочного рукава 28 мм, диаметрах дренажного трубопровода 75, 100, 125 мм, длине дренажного трубопровода 100 и 200 м, скорости движения насадки 0,3; 0,5; 0,7 м/с.

Результаты расчета представлены на рис. 6–8, где графики характеризуют изменение расхода из дренажного трубопровода до момента его полного заполнения. Скорость потока воды при этом изменяется незначительно и составляет для трубопровода  $D = 75$  мм – 0,17–0,18 м/с;  $D = 100$  мм – 0,18–0,24 м/с;  $D = 125$  мм – 0,2–0,29 м/с.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что нарастание расхода воды из дренажного трубопровода в зависимости от расстояния перемещения и при различных скоростях извлечения насадки происходит практически одинаково. Некоторое снижение расхода воды перед полным заполнением сечения коллектора объясняется высоким ростом в этот момент длины смоченного периметра потока и, соответственно, сопротивления его движению.

При достижении полного заполнения трубопровода водой скорость потока возрастет до скорости движения насадки. Значения расхода потока воды из дренажного трубопровода в данном случае приведены в табл. 3.

Таблица 3. Расход потока воды из дренажного трубопровода при извлечении насадки после его полного заполнения, л/с

Скорость насадки, м/с	Диаметр дренажного трубопровода, мм		
	75	100	125
0,3	1,2	2,4	3,6
0,5	2,0	4,0	6,0
0,7	2,8	5,6	8,4

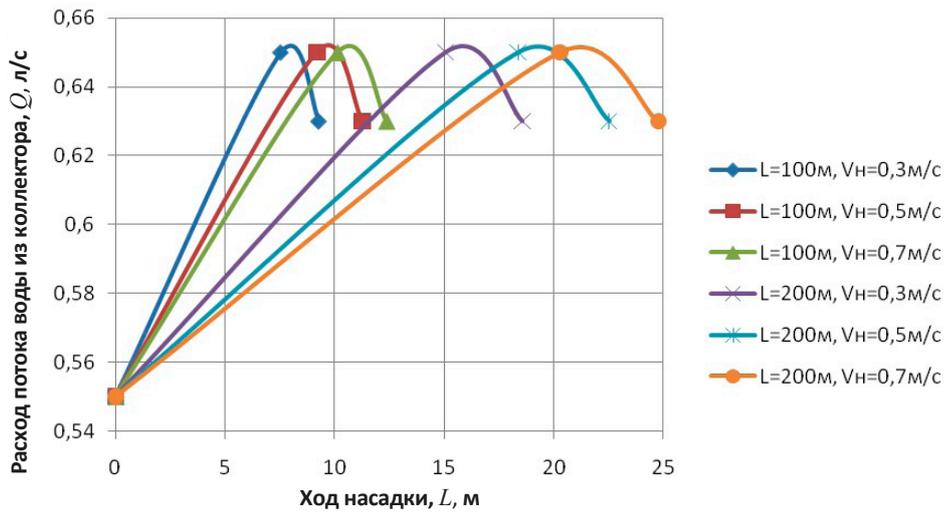


Рис. 6. Расход воды из коллектора  $D = 75$  мм при извлечении насадки и начальном расходе 0,55 л/с

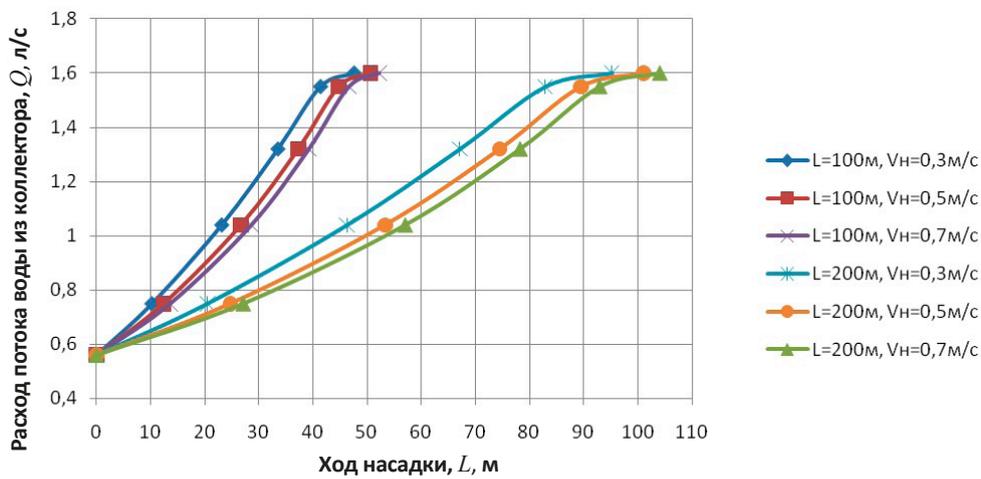


Рис. 7. Расход воды из коллектора  $D = 100$  мм при извлечении насадки и начальном расходе 0,55 л/с

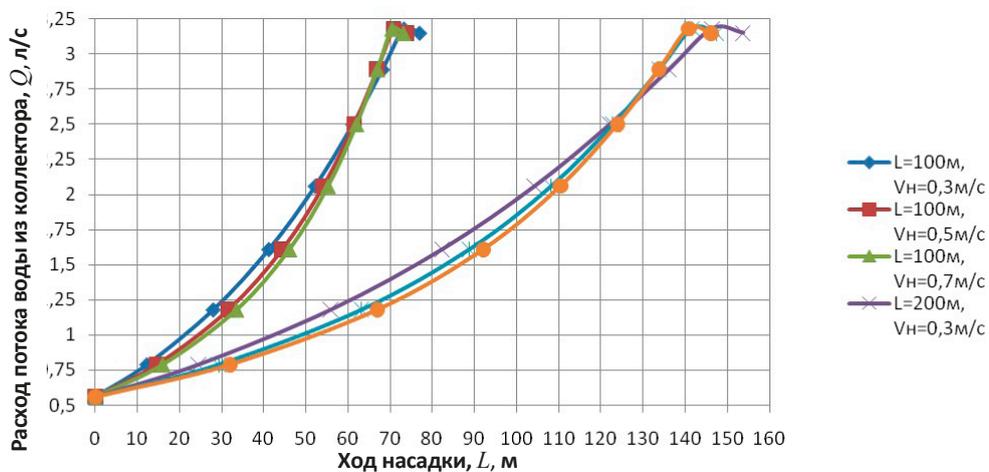


Рис. 8. Расход воды из коллектора  $D = 125$  мм при извлечении насадки и начальном расходе 0,55 л/с

Результаты исследования показывают, что при движении насадки вперед расход воды из дренажного трубопровода намного меньше расхода воды из насадки. Скорость потока при этом относительно низкая, поэтому на данном этапе эффективность очистки невысока. При извлечении насадки из дренажного трубопровода расход и скорость потока значительно

возрастают и достигают наибольших значений при полном заполнении сечения дренажного трубопровода. В этот момент происходит наиболее интенсивный вынос отложений.

Использование предложенной методики расчета позволяет определить оптимальные параметры процесса очистки при различных исходных условиях

### Выводы

1. Определены гидравлические параметры потока воды в дренажном трубопроводе при гидродинамическом способе очистки при прямом и обратном ходе насадки промывочной в зависимости от расхода воды из насадки промывочной, скорости ее движения, диаметра и уклона дренажного трубопровода.

2. При гидродинамическом способе очистки дренажных трубопроводов основной объем стока и, соответственно, объем выноса размытых отложений образуются при обратном ходе насадки промывочной.

3. При промывке дренажных трубопроводов целесообразно устанавливать максимально возможную скорость насадки промывочной при ее прямом прохождении, когда обеспечивается размыв отложений.

4. Приведенные зависимости объемов подачи воды в дренажный трубопровод и ее стока при прямом продвижении насадки промывочной позволяют определить объем оставшейся воды в дренажном трубопроводе, который необходимо учитывать во время ее обратного прохождения при определении объема извлечения размытых отложений.

### Библиографический список

1. Погодин, Н. Н. Расчет параметров технологического оборудования, используемого при гидродинамическом способе очистки дренажа / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко // Мелиорация. – 2020. – № 2 (92). – С. 5–11.

2. Погодин, Н. Н. Теоретическое исследование водопропускной способности дренажных трубопроводов при гидродинамическом способе очистки / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко // Мелиорация. – 2019. – № 3 (98). – С. 11–19.

Поступила 24 ноября 2021 г.