

• МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 631.3:626:862.91

НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ НАСАДОК ПРОМЫВОЧНЫХ

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 насадки промывочной в зависимости от напора и расхода в ней воды: скорости и силы струи воды, истекающей из насадки; количества и размера сопел насадки. Представлены новые конструктивные решения насадок промывочных, обеспечивающих повышение эффективности очистки дренажных трубопроводов. Приведены сравнительные характеристики параметров применяемой насадки промывочной и новых конструктивных решений.

Ключевые слова: насадки промывочные, устройство промывки дренажа, расход, скорость, сила удара струи воды.

Abstract

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

NEW DESIGN SOLUTIONS FOR FLUSHING NOZZLES

The hydraulic parameters of the flushing nozzle are determined depending on the pressure and flow rate of water: the speed and force of the stream of water flowing out of the nozzle; the number and size of the nozzle nozzles. New design solutions for flushing nozzles are presented, which increase the efficiency of cleaning drainage pipelines. Comparative characteristics of the parameters of the applied and new design solutions of flushing nozzles are given.

Keywords: flushing nozzles, drainage flushing device, flow rate, speed, water jet impact force.

Введение

В Республике Беларусь проектный водный режим почв на площади 2,2 млн га, что составляет более 70 % мелиорированных земель, обеспечивает закрытая дренажная сеть, которая включает 780 тыс. км регулирующей дренажной сети и 177 тыс. км проводящей коллекторной.

В процессе продолжительной эксплуатации наблюдается заиливание и заохривание внутренней полости дренажных труб, что приводит к снижению водоприемной и водопропускной способности дрен и, как следствие, переувлажнению мелиорированных земель. Для восстановления нормального функционирования дренажной сети осуществляется очистка внутренней полости дренажных труб

посредством различного оборудования, способов и технологий.

Наибольшее применение при очистке дренажных трубопроводов от заиливания и окристых соединений железа получил механизированный гидродинамический способ с использованием дренопромывочных установок. Сущность способа заключается в размыве отложений и их транспортировке из трубопровода посредством воздействия высокоскоростных струй воды, исходящих из промывочной насадки. В Республике Беларусь данный способ реализован при очистке дренажа установкой УПД-120, которая серийно выпускается с 2005 г. на Пинском заводе средств малой механизации. Однако следует отметить относитель-

но низкую производительность очистки, которая обуславливает значительную стоимость работ, составляющую порядка 2,4 тыс. руб. при очистке 1,0 км дренажного трубопровода.

Результаты исследований и их обсуждение

Определяющим фактором, характеризующим работу дренажно-промывочной установки, являются параметры насадки промывочной: скорость струи, ее расход, сила удара, количество и направление струй. Очевидно, что чем выше сила удара струи, тем больше эффективность размыва отложений в коллекторе. Известно, что для размыва грунта струей воды необходимо, чтобы скорость струи составляла не менее 10–12 м/с для песчаных грунтов, 20–25 м/с для супесей и суглинков и 30–35 м/с для средних и тяжелых глин [1]. В отложениях дренажных трубопроводов в основном находятся частицы грунта с крупностью 0,005–0,25 мм, что соответствует пылеватым илистым грунтам, а также тонким и мелким песком. Для размыва таких отложений необходима скорость струи 20–35 м/с и создание определенного давления в насадке промывочной. Скорость струи в зависимости от давления определяется по следующей формуле [2]:

$$V = \varphi \sqrt{2gH}, \tag{1}$$

где V – скорость струи, м/с,
 φ – коэффициент скорости;
 H – напор, м вод. ст.
 g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент скорости φ зависит от коэффициента сопротивления и равен:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_c}}, \tag{2}$$

К основным направлениям, позволяющим повысить эффективность очистных работ, следует отнести совершенствование конструкции и параметров насадок промывочных.

где ξ_c – коэффициент сопротивления сужению потока.

Коэффициент сопротивления сужению потока, в свою очередь, определяется по следующей формуле [3]:

$$\xi_c = 0,51 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right), \tag{3}$$

где $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ – соотношение площадей потока после сужения и до него.

Площадь поперечного сечения потока после сужения ω_2 следует принимать как сумму площадей всех выходящих отверстий насадки промывочной.

Сила струи F определяется по формуле [4]:

$$F = \rho q V, \tag{4}$$

где F – сила струи, Н;
 ρ – плотность жидкости, кг/м³;
 q – расход из одного отверстия, м³/с;
 V – скорость струй, м/с.

В свою очередь, расход из одного отверстия определяется согласно следующей зависимости:

$$q = \frac{Q}{n}, \tag{5}$$

где Q – общий расход, л/с;
 n – число отверстий насадки.

В табл. 1 приведена скорость струи и сила струи в зависимости от напора воды в насадке промывочной при расходах 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 л/с и числе отверстий насадки $n = 7$.

Таблица 1. Скорость и сила струи воды при выходе из насадки промывочной в зависимости от напора и расхода воды

Показатели	Напор, м вод. ст.					
	20	40	60	80	100	120
Скорость струи, м/с	16,5	23,2	28,4	32,6	36,5	39,7
Сила струи (Н) при Q = 0,5 л/с	1,2	1,6	2,0	2,3	2,6	2,8
Q = 1,0 л/с	2,3	3,3	4,0	4,6	5,2	5,7
Q = 1,5 л/с	3,5	4,9	6,0	7,0	7,8	8,5
Q = 2,0 л/с	4,7	6,6	8,1	9,3	10,4	11,4

Зависимости скорости и силы струи от напора и расхода приведены на рис. 1 и 2.

Зная расход и скорость струи насадки и принимая количество отверстий равном n , можно определить диаметр d отверстий насадки по следующей зависимости:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi nV}}, \quad (6)$$

где Q – общий расход, м³/с,
 n – число отверстий насадки,
 V – скорость струи, м/с.

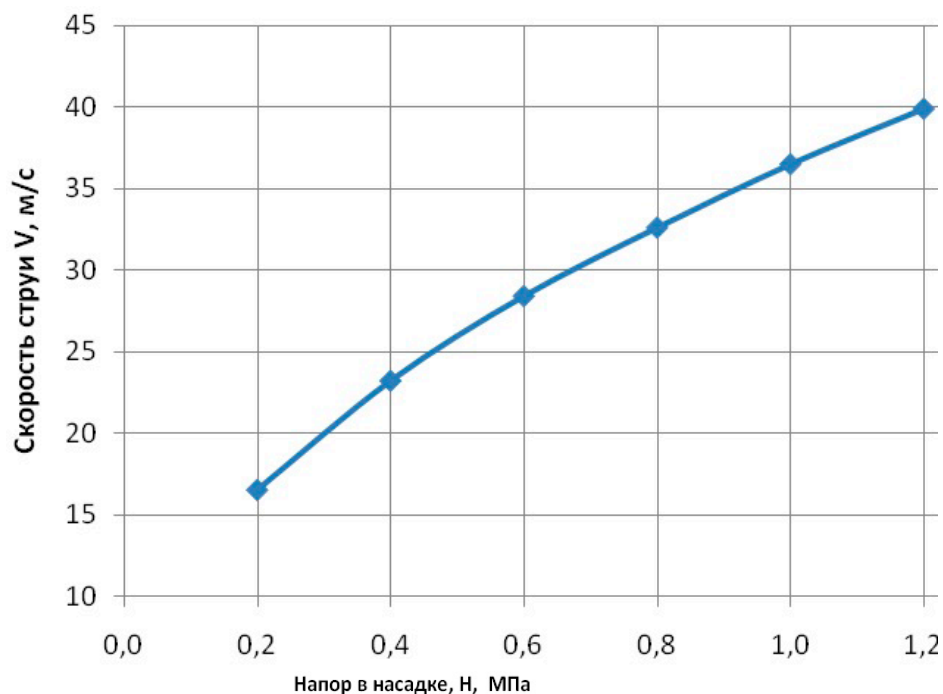


Рис. 1. Скорость струй воды в насадке в зависимости от напора

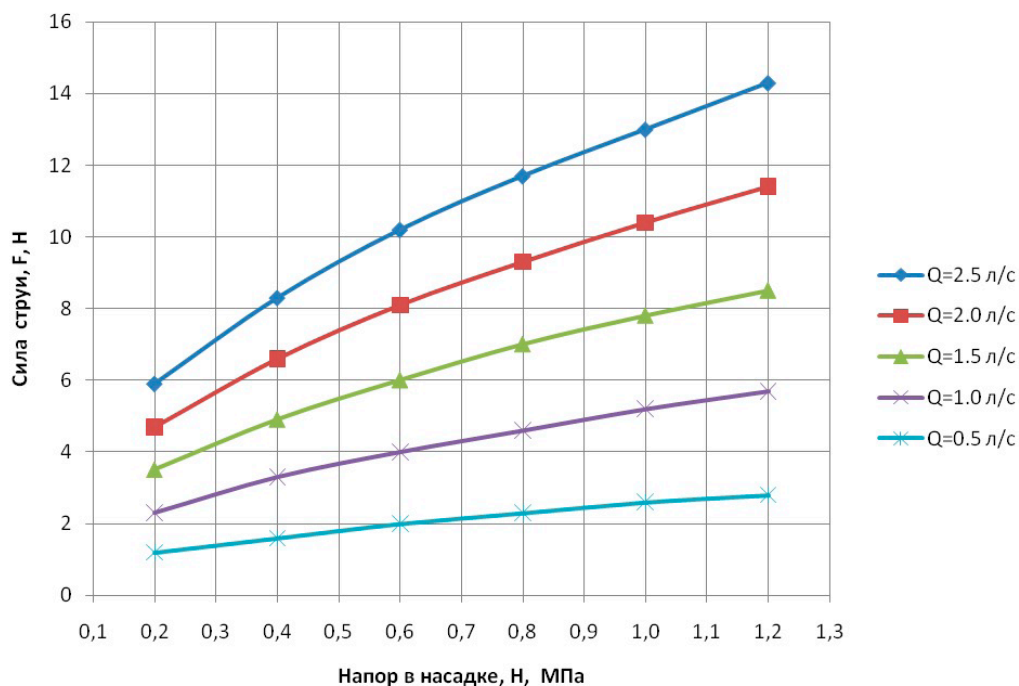


Рис. 2. Сила струи в насадке промывочной в зависимости от напора и расхода воды

На установке промывки дренажа УПД-120 установлен мембранный насос с давлением 5,0 МПа, который обеспечивает расход воды до 120 л/мин. Установка комплектуется промывочным рукавом диаметром 15 мм и длиной 300 м, а также насадкой промывочной, параметры которой приведены на рис. 3.

При гидродинамическом способе очистки основной объем размытых отложений выносятся из коллектора при извлечении промывочного рукава с насадкой. Однако часть наилка остается в коллекторе после прохода промывочной насадки. Это снижает эффективность очистки и требует большого количества проходов. Поэтому весьма актуален вопрос повышения воздействия на поток пульпы с целью более полного ее выноса из полости коллектора.

В связи с этим были проанализированы возможности повышения эффективности транспортировки размытых отложений и разработана новая конструкция насадки промывочной мягкой (НПМ) [5]. Основной особенностью данной насадки является возможность дополнительного механического воздействия на поток пульпы. Разработаны два типоразмера насадки промывочной НПМ-60 и НПМ-80 диаметром соответственно 60 и 80 мм. Отличие данных насадок – в размере резиновых манжет. Насадка НПМ-60 предназначена для очистки дренажных трубопроводов диаметром до 100 мм, а НПМ-80 – диаметром 100 мм и более. Конструкция и общий вид насадки приведены на рис. 4 и 5.

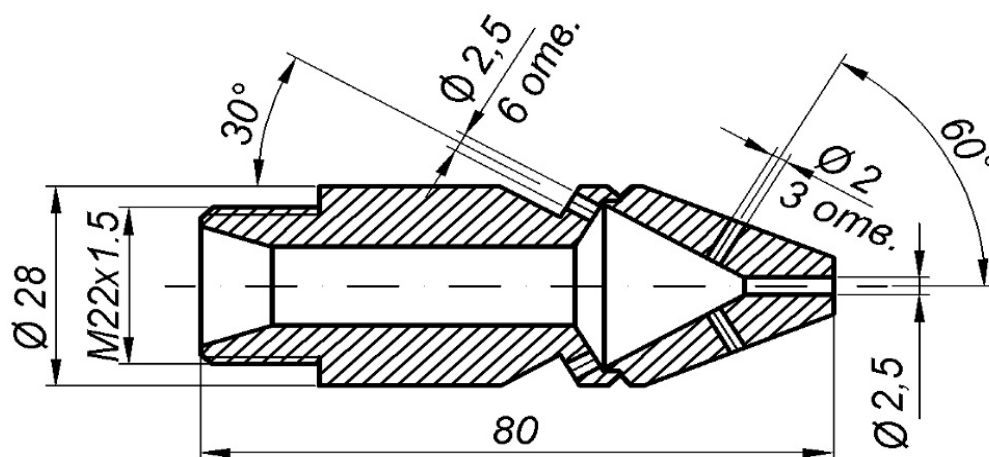


Рис. 3. Конструкция насадки промывочной, применяемой в устройстве промывки дренажа УПД-120

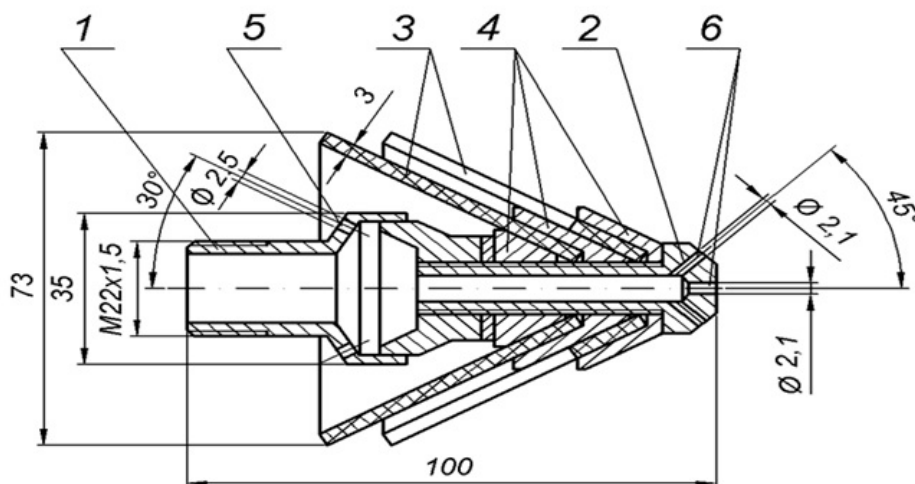


Рис. 4. Конструкция насадки промывочной мягкой (НПМ) (патент ВУ11880)

Данная насадка состоит из корпуса 1, стяжки 2, конусообразных разрезных резиновых манжет 3, прижимных шайб 4. На корпусе 1 и стяжке 2 выполнены задние и передние сопла 5 и 6.



Рис. 5. Общий вид насадки промывочной мягкой НПМ-80

В процессе размыва отложений струями воды, исходящих из фронтальных сопел при движении насадки вперед, манжеты изгибаются и не препятствуют ее продвижению по дренажному трубопроводу (рис. 6). Во время извлечения насадки исходящие из тыльных сопел струи воды дополнительно воздействуют на отложения, а отогнутые резиновые ман-

жеты, работая как скребок, транспортируют поток пульпы из дренажного трубопровода (рис. 7). Комплексное воздействие тыльных струй воды и отогнутых манжет на размываемые отложения при их извлечении из дренажного трубопровода существенно повышают объемную концентрацию пульпы и, соответственно, эффективность очистки.

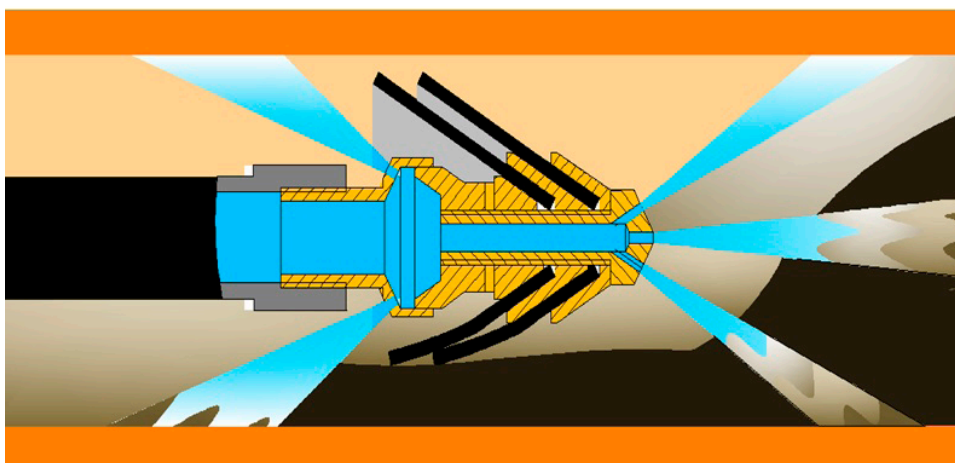


Рис. 6. Продвижение насадки промывочной по дренажному трубопроводу

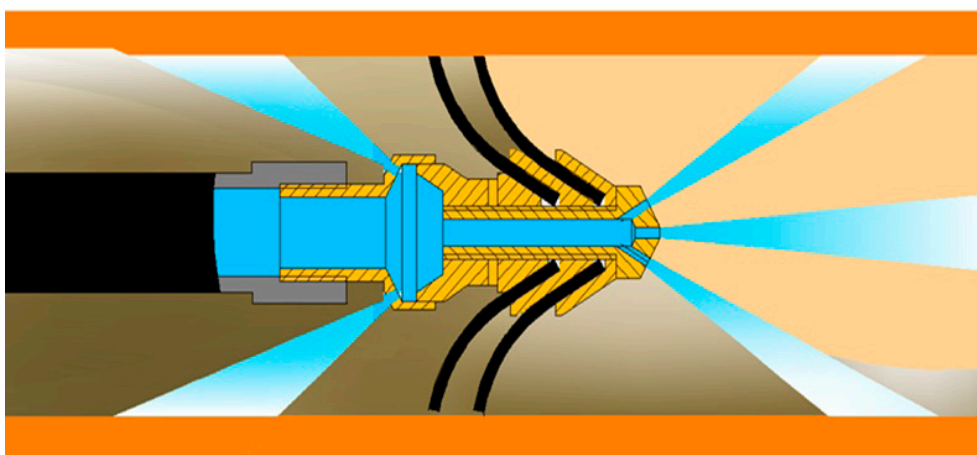


Рис. 7. Извлечение насадки промывочной из дренажного трубопровода

Основную работу по выносу отложений в процессе извлечения насадки выполняют тыльные струи, а направленные вперед работают при этом вхолостую, не оказывая существенного влияния на эффективность очистки. В целях направления всех струй назад при извлечении насадки и повышения очищающей способности была разработана новая конструкция реверсивной насадки промывочной мягкой (рис. 8 и 9) [6].

Реверсивная насадка промывочная мягкая состоит из корпуса 1, на котором с возможностью перемещения установлена втулка 2. На втулке 2 с помощью прижимных шайб 3 закреплены манжеты 4. Насадка содержит тыльные сопла 5, 6 и передние сопла 7, 8. Во втулке 2

выполнены отверстия для подвода воды 9 и 10.

При движении вперед, как показано на рис. 6 и 8, манжеты 4 взаимодействуют со стенками коллектора и находящимися в нем отложениями и перемещают втулку 2 назад. При этом открываются отверстия 9 в корпусе 1 и вода поступает к передним соплам 7 и 8. В это время отверстие 10 закрыто и вода к задним соплам 6 не поступает. Когда насадка извлекается из коллектора, как показано на рис. 7 и 9, манжеты 4 перемещают втулку 2 в переднее положение. При этом отверстие 9 перекрывается и прекращается доступ воды к передним соплам 7, 8, а отверстие 10 открывается, и вода поступает к задним соплам 6.

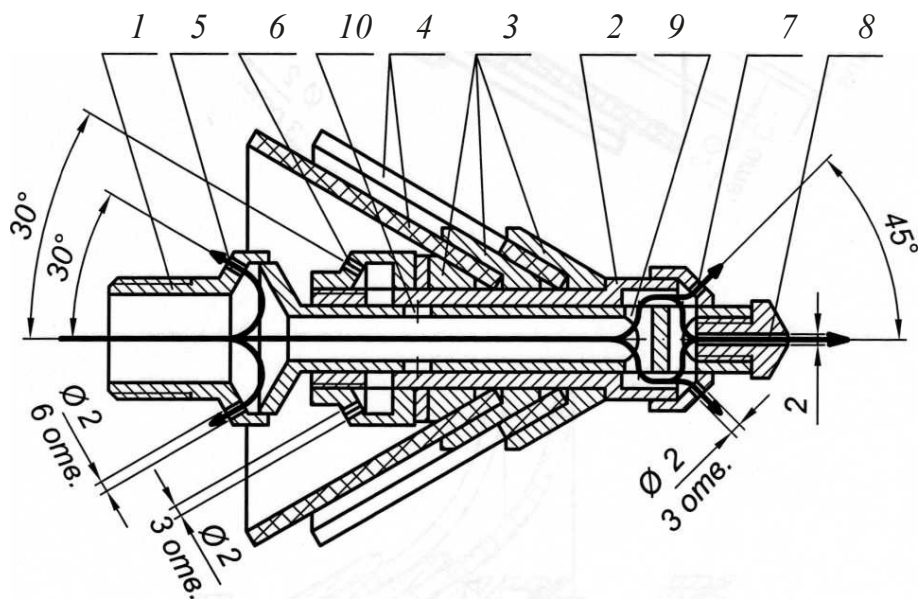


Рис. 8. Конструкция реверсивной насадки промывочной мягкой (РНПМ) при ее перемещении вперед по дренажному трубопроводу (патент ВУ 12455)

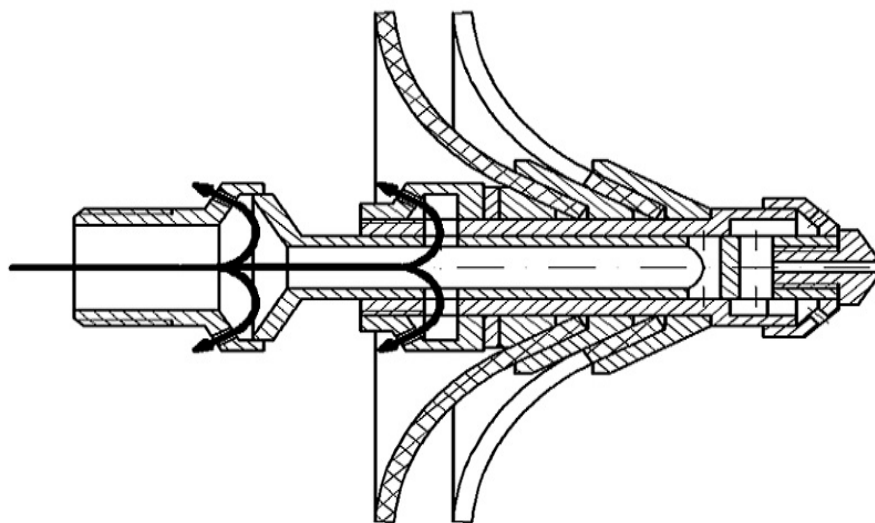


Рис. 9. Конструкция реверсивной насадки промывочной мягкой (РНПМ) при ее извлечении из дренажного трубопровода

При извлечении насадки весь расход воды истекает через тыльные сопла и совместно с манжетами обеспечивает вынос отложений из дренажного трубопровода. Применение такой насадки позволяет повысить эффективность очистки.

Разработано два типоразмера реверсивной насадки промывочной мягкой РНПМ-60 для очистки дренажных трубопроводов диаметром 75 мм и РНПМ-80 для трубопроводов диаметром 100 мм и выше.

С учетом проведенных исследований произведен расчет параметров установки промывки дренажа. При этом определено, что установку целесообразно комплектовать промывочным рукавом с внутренним диаметром 20 мм [7].

Сравнительные характеристики параметров установки промывки дренажа при использовании типовой и предложенных конструкций насадки промывочной приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительные характеристики параметров насадок промывочных

№ п/п	Показатели	Типовая конструкция насадки промывочной	Новые конструктивные решения насадок промывочных				
			Насадка промывочная мягкая (НПМ)		Реверсивная насадка промывочная мягкая (РНПМ)		
		Расположение сопел насадки					
		4 – передних 6 – тыльных	4 – передних 6 – тыльных	1 – передних 6 – тыльных	движение вперед	движение назад	
1	Давление насоса МПа, max	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
2	Расход насоса, л/с, max	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
3	Длина промывочного рукава, м	300	300	300	300	300	
4	Внутренний диаметр промывочного рукава, мм	15	20	20	20	20	
5	Тыльные сопла насадки: – количество, шт. – диаметр, мм	6 2,5	6 2,5	6 2,8	6 2,0	6+6 2,0 и 3,0	
6	Передние сопла насадки: – количество, шт. – диаметр, мм	1+3 2,5 и 2,0	4 2,0	1 3,5	4 2,0	– –	
7	Потери давления в водопроводящих элементах промывочного устройства, МПа	4,75	4,03	4,12	3,52	4,48	
8	Давление в насадке, МПа	0,25	0,97	0,82	1,48	0,51	
9	Расход струй насадки, л/с, в том числе: передних сопел тыльных сопел	0,76 0,25 0,50	1,5 0,45 1,05	1,54 0,32 1,22	1,39 0,55 0,83	1,6 – 1,6	
10	Скорость струй насадки, м/с	18,1	35,8	33,0	44,1	26,1	
11	Сила передних струй, <i>H</i>	1,0	4,0	10,5	6,1	–	
12	Сила тыльных струй, <i>H</i>	1,6	6,3	6,7	6,1	2,1/4,8	

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что из-за больших потерь напора в промывочном рукаве диаметром 15 мм давление в промывочной насадке составляет всего 0,25 МПа, что приводит к относительно низкой скорости и силы струй, которые являются определяющими факторами, характеризующими работу насадки и устройства в целом.

Сравнивая характеристики новых конструктивных решений насадок и насадки, применяемой на установке промывки дренажа УПД-120, можно сделать вывод, что вариант с насадкой НПМ с 4 передними и 6 тыльными соплами и диаметром промывочного рукава 20 мм обеспечивает увеличение расхода и скорости струи почти в 2 раза, а силы струи – в 4 раза.

Заключение

1. Выполнен расчет гидравлических параметров насадки промывочной в зависимости от напора и расхода в ней воды: скорости и силы струи воды, исходящей из насадки; количества и размера сопел насадки. Это позволяет объективно принимать решения при ее конструировании.

2. Разработаны конструкции насадок промывочных (насадка промывочная мягкая НПМ и реверсивная насадка промывочная мягкая

Предварительные испытания насадки мягкой НПМ-80 в лабораторных и полевых условиях, а реверсивной насадки промывочной мягкой РНПМ-80 в лабораторных условиях показали повышение эффективности их применения по сравнению с типовой насадкой промывочной. При обратном проходе типовой насадки промывочной объемная концентрация извлекаемых размываемых песчаных отложений из дренажного трубопровода диаметром 100 мм и степенью его заиливания 30 % составляла 0,039–0,048, а при проходе насадок промывочных мягких 0,06–0,08, то есть объемная концентрация пульпы повысилась в 1,5–1,7 раза.

РНПМ), новизна которых подтверждена патентами.

3 Применение нового конструктивного решения насадок промывочных по сравнению с типовой насадкой, используемой на установке промывки дренажа УПД-120, позволяет повысить объемную концентрацию размываемых отложений (пульпы) при извлечении насадки в 1,5–1,7 раза.

Библиографический список

1. Строительные машины для механизации гидромелиоративных работ / В. В. Суриков [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1985. – 215 с.
2. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1961. – 349 с.
3. Павловский, Н. Н. Краткий гидравлический справочник / Н. Н. Павловский. – Л.–М. : Госиздат, 1940. – 309 с.
4. Примеры расчетов по гидравлике / А. Д. Альтшуль [и др.]. – М. : Стройиздат, 1977. – 255 с.
5. Промывочная головка : пат. ВУ 11880 / В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин. – Оpubл. 28.02.2019.
6. Промывочная насадка : пат. ВУ 12455 / А. С. Анженков, В. А. Болбышко, Н. Н. Погодин. – Оpubл. 30.12.2020.
7. 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.

Поступила 27 августа 2021 г.