

# • МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 626.86

## РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАСАДКИ УСТРОЙСТВА ПРОМЫВКИ ДРЕНАЖА

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

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

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Выполнен расчет гидравлических параметров насадки устройства промывки дренажа. Определены расход, скорость и сила струй насадки в зависимости от диаметра и количества ее отверстий при заданных характеристиках устройства. Выявлены гидравлические параметры струй по силе их воздействия на заиливание в дренаже.

**Ключевые слова:** устройства промывки дренажа, насадка, гидравлические параметры, расход, сила струи.

### Abstract

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

### CALCULATION OF THE HYDRAULIC PARAMETERS OF THE NOZZLE OF THE DRAINAGE FLUSHING DEVICE

The calculation of the hydraulic parameters of the nozzle of the drainage flushing device was carried out. The flow rate, speed and strength of nozzle jets are determined depending on the diameter and number of its holes for given characteristics of the device. Optimal hydraulic parameters of the jets were determined according to the force of impact on silting in the drainage.

**Keywords:** drainage flushing devices, nozzle, hydraulic parameters, flow rate, jet force.

### Введение

При очистке дренажных трубопроводов от заиливания наибольшее применение получил механизированный гидродинамический способ, который заключается в размыве отложений и их транспортировке из трубопровода посредством воздействия высокоскоростных струй воды, исходящих из промывочной насадки [1].

Насадка должна обеспечивать очистку внутренней поверхности дренажного трубопровода, а также транспортирование и удаление пульпы, образовавшейся в дренажном трубопроводе. В исследованиях, ранее проводившихся в РУП «Институт мелиорации», были проанализированы конструктивные

схемы насадок, применяющихся в мелиорации и коммунальном хозяйстве [2].

На процесс размыва отложений и их транспортировку влияет ряд факторов: физико-механические свойства отложений (состав, плотность, влажность), толщина слоя отложений, конструктивные параметры промывочной насадки, скорость размывающих струй воды и перемещения насадки. Выбор рациональной конструкции промывочной насадки и режим ее движения имеют определяющее значение для обеспечения снижения времени промывки и объема промывочной воды, что, соответственно, уменьшит себестоимость работ по очистке дренажных трубопроводов от заиливания.

### Результаты исследований и их обсуждение

В настоящее время для очистки коллекторной дренажной сети используется устройство промывки дренажа УПД-120, которое снабжено мембранным насосом М 135 S с макси-

мальным давлением 5,0 МПа и подачей воды 120 л/мин. В устройстве применяется промывочная насадка, чертеж и параметры которой приведены на рис. 1.

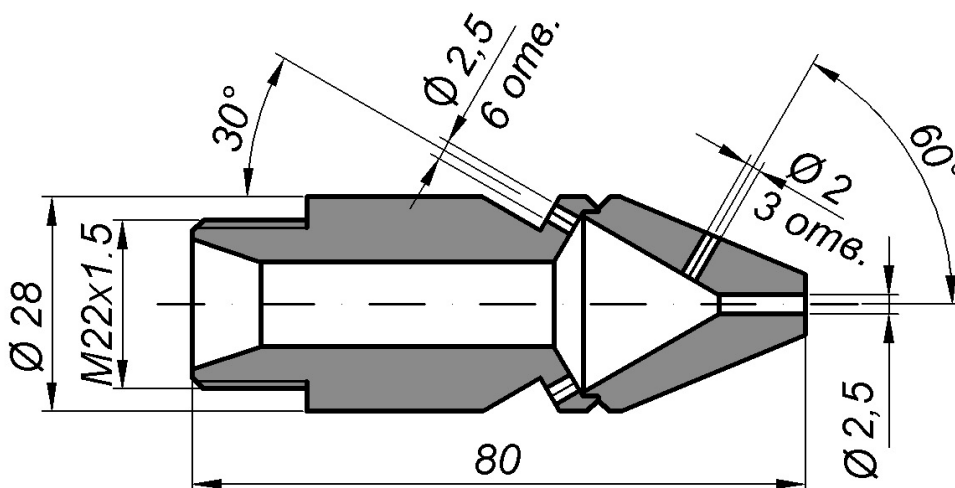


Рис. 1. Конструкция промывочной насадки, применяемой в устройстве промывки дренажа УПД-120

При гидродинамическом способе очистки основной объем размытых отложений выносятся из коллектора при извлечении промывочного рукава с насадкой. Однако часть отложений остается в коллекторе после прохода промывочной насадки. Это снижает эффективность очистки и требует большого количества проходов. В связи с этим весьма актуален вопрос о повышении воздействия на поток пульпы с целью ее более полного выноса из полости коллектора. В предыдущих исследованиях предложена методика расчета параметров устройства промывки дренажа гидродинамическим способом [3].

В общем виде схема водопроводящей системы устройства промывки дренажа приведена на рис. 2.

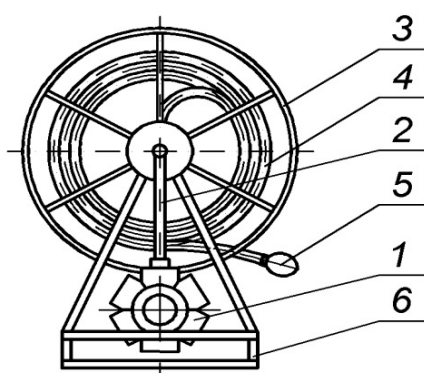


Рис. 2. Схема устройства промывки дренажа: 1 – насос; 2 – трубопровод; 3 – барабан; 4 – промывочный рукав; 5 – промывочная насадка; 6 – рама

Водопроводящая система включает в себя: насос 1, трубопровод 2, подводящий воду от на-

соса к барабану 3 с промывочным рукавом 4, на котором закреплена промывочная насадка 5.

Потери напора в водопроводящих элементах будут складываться из следующих потерь:

- на поворот потока  $\Delta P_n$  на пути от насоса до барабана с промывочным рукавом;
- плавный поворот потока в свернутом на барабане промывочном рукаве  $\Delta P_{np}$ ;
- по длине промывочного рукава  $\Delta P_{пр}$ .

Кроме того, потери напора будут возникать в промывочной насадке, и они будут складываться из потерь на расширение потока в самой насадке  $\Delta P_p$ , поворота потока под острым углом  $\Delta P_b$ . При этом суммарные потери в водопроводящих элементах устройства промывки дренажа и скоростной напор струй, истекающих из насадки, должны быть равны напору, создаваемому насосом.

Таким образом, должно соблюдаться равенство:

$$P_n = \Delta P_n + \Delta P_{np} + \Delta P_{пр} + \Delta P_p + \Delta P_b + \Delta P_c, \quad (1)$$

где  $P_n$  – напор, создаваемый насосом;

$\Delta P_c$  – скоростной напор струй насадки.

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 можно определить по общепринятым в гидравлике формулам [4]:

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

где  $V$  – скорость потока воды, м/с;

$\zeta_n$  – коэффициент сопротивления для поворота трубы на  $90^\circ$ ,

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

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, м<sup>3</sup>/с;

$S_T$  – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>.

Потери на плавный поворот на  $180^\circ$  в промывочном рукаве, свернутом на барабане, составляют:

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

где  $\zeta_{\text{пп}}$  – коэффициент сопротивления для плавного поворота трубопровода определяется по формуле [5]:

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

где  $\alpha$  – параметр, зависящий от угла поворота, при угле поворота  $180^\circ$ ,

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;

$d$  – диаметр промывочного рукава, мм;

$R$  – радиус изгиба промывочного рукава, свернутого на барабане, мм.

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  зависит от числа Рейнольдса и в зависимости от его значения рассчитывается по разным формулам. Число Рейнольдса для круглых трубопроводов определяют по формуле:

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

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

$d$  – диаметр трубопровода, мм;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с.

При расходах  $1,5 \div 2,5$  л/с и диаметре трубопровода  $15\text{--}25$  мм число Рейнольдса будет изменяться в пределах  $40\ 000 \div 210\ 100$ . Для таких чисел Рейнольдса коэффициент гидравлического трения рассчитывается по формуле [4]:

$$\lambda = \frac{1}{(1,82 \lg Re_d - 1,64)^2}. \quad (7)$$

Максимальные потери напора будут возникать на начальном этапе промывки, когда промывочный рукав практически полностью свернут на барабане. Для расчета примем этот наиболее неблагоприятный вариант.

Количество витков на барабане можно определить 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:

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

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

$$\Delta P_{\text{пр}} = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (10)$$

Потери на расширение потока в самой насадке составят:

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

где  $\zeta_p$  – коэффициент сопротивления расширению, вычисляющийся по формуле:

$$\zeta_p = K_p \left( \frac{w_2}{w_1} - 1 \right)^2, \quad (12)$$

где  $K_p$  – коэффициент смягчения при постепенном расширении;

$w_1$  и  $w_2$  – площади сечений потока до и после расширения.

Потери на поворот потока внутри промывочной насадки ориентировочно можно рассчитать по формуле:

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

где  $\zeta_n$  – коэффициент сопротивления на поворот.

Скоростной напор струй насадки определяется как

$$\Delta P_c = \eta \frac{V_c^2}{2g}, \quad (14)$$

где  $\eta$  – коэффициент неравномерности;

$V_c$  – скорость струй насадки, м/с.

Скорость струй насадки рассчитывается по формуле:

$$V_c = \frac{4Q}{\pi d_n^2 n}, \quad (15)$$

где  $d_n$  – диаметр отверстий насадки, м;

$n$  – количество отверстий насадки.

Анализ приведенных зависимостей позволяет сделать вывод, что при определенных

параметрах устройства промывки дренажа (таких, как расход и давление насоса, длина и диаметр промывочного рукава) существенное влияние на характеристики струй, истекающих из промывочной насадки, оказывают диаметр и количество отверстий насадки.

На основании данной методики произведен расчет параметров струй в зависимости от диаметра отверстий насадки для установки промывки дренажа УПД-120. Длина промывочного рукава этой установки составляет 300 м, ее внутренний диаметр 16 мм. Однако в процессе эксплуатации рукав часто повреждается, и в процессе ремонта его длина сокращается, поэтому для расчетов принята длина промывочного рукава 200 и 300 метров. Внутренний диаметр промывочного рукава по предварительной оценке недостаточен для эффективной работы устройства из-за больших потерь давления по длине, поэтому расчеты выполнялись для внутренних диаметров рукава 16 и 20 мм. Количество отверстий насадки принято равным 7, то есть одно переднее и шесть тыльных. Определялись расход воды, истекающий из насадки, а также ско-

рость и сила струи. Результаты расчетов представлены в таблице и на рис. 3–5.

Анализируя полученные данные, можно видеть, что расход струй насадки быстро возрастает при увеличении диаметра отверстий до 3–4 мм; при дальнейшем увеличении диаметра отверстий до 7 мм расход практически не увеличивается. Сила струи растет при увеличении диаметра отверстий до 1,5–2,2 мм, затем происходит ее значительное снижение. Скорость струи уменьшается при увеличении диаметра отверстий, при этом ее более интенсивное снижение происходит при увеличении диаметра отверстий до 3–4 мм.

Из полученных данных можно сделать вывод, что оптимальным значением диаметра отверстий насадки для данных условий будет диаметр  $d = 2–3$  мм. При меньшем диаметре существенно снизятся расход и сила струи. При большем диаметре расход заметно не вырастет, а сила и скорость струи значительно сократятся. Использование промывочного рукава с внутренним диаметром  $d = 16$  мм существенно уменьшает расход и силу струи. Это обусловлено большими потерями давления по длине.

Таблица. Расход, скорость и сила струи насадки в зависимости от диаметра ее отверстий

Рукав	Показатели	Диаметр отверстий насадки $d_n$ , мм								
		1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7
Длина $L = 300$ м; диаметр $d = 20$ мм	расход $Q$ , л/с	0,42	0,83	1,20	1,43	1,55	1,65	1,68	1,70	1,70
	скорость $V$ , м/с	75,7	67,2	54,3	41,5	31,3	18,8	12,3	8,6	6,3
	сила $F$ , Н	4,5	8,0	9,3	8,5	6,9	4,4	3,0	2,1	1,5
Длина $L = 200$ м; диаметр $d = 20$ мм	расход $Q$ , л/с	0,43	0,88	1,33	1,67	1,87	2,05	2,11	2,13	2,14
	скорость $V$ , м/с	77	71,1	60,6	48,6	37,8	23,3	15,4	10,8	7,9
	сила $F$ , Н	4,7	8,9	11,5	11,6	10,1	6,8	4,6	3,3	2,4
Длина $L = 300$ м; диаметр $d = 16$ мм	расход $Q$ , л/с	0,38	0,66	0,81	0,88	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93
	скорость $V$ , м/с	69,7	53,4	36,8	25,6	18,3	10,5	6,8	4,7	3,5
	сила $F$ , Н	3,8	5	4,3	3,2	2,4	1,4	0,9	0,6	0,5
Длина $L = 200$ м; диаметр $d = 16$ мм	расход $Q$ , л/с	0,4	0,74	0,97	1,08	1,13	1,17	1,18	1,19	1,19
	скорость $V$ , м/с	73	59,8	44,1	31,4	22,8	13,3	8,6	6	4,4
	сила $F$ , Н	4,2	6,3	6,1	4,9	3,7	2,2	1,5	1	0,7

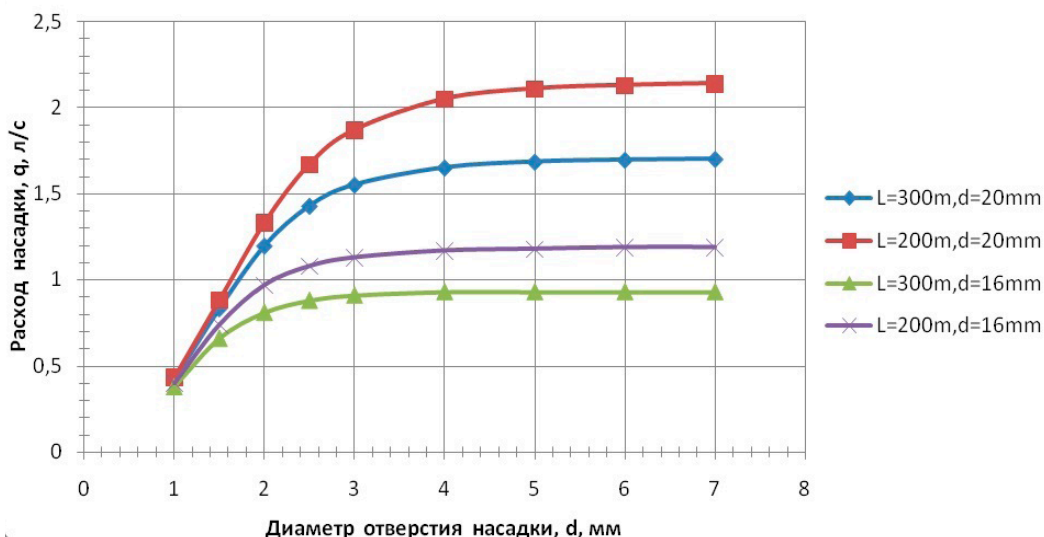


Рис. 3. Расход струй насадки в зависимости от диаметра ее отверстий

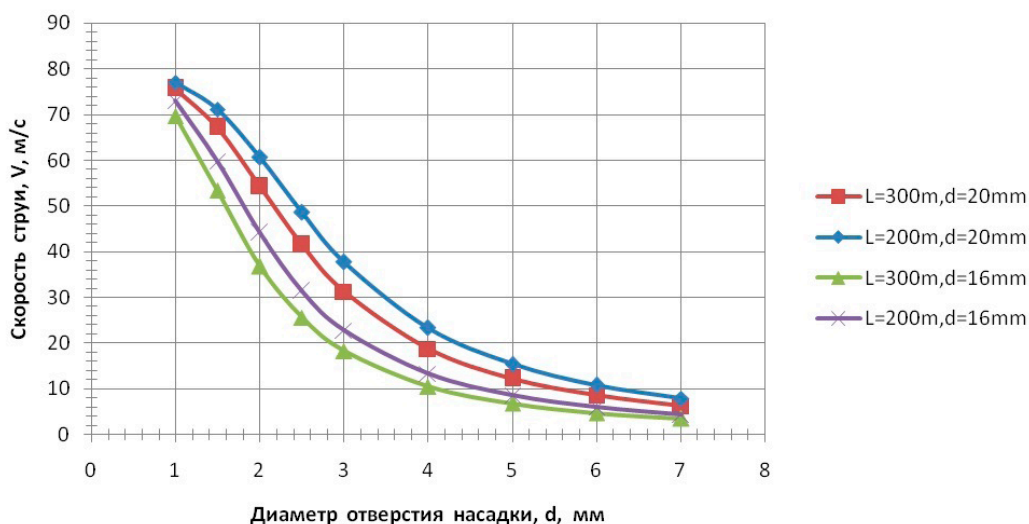


Рис. 4. Скорость струи насадки в зависимости от диаметра ее отверстий

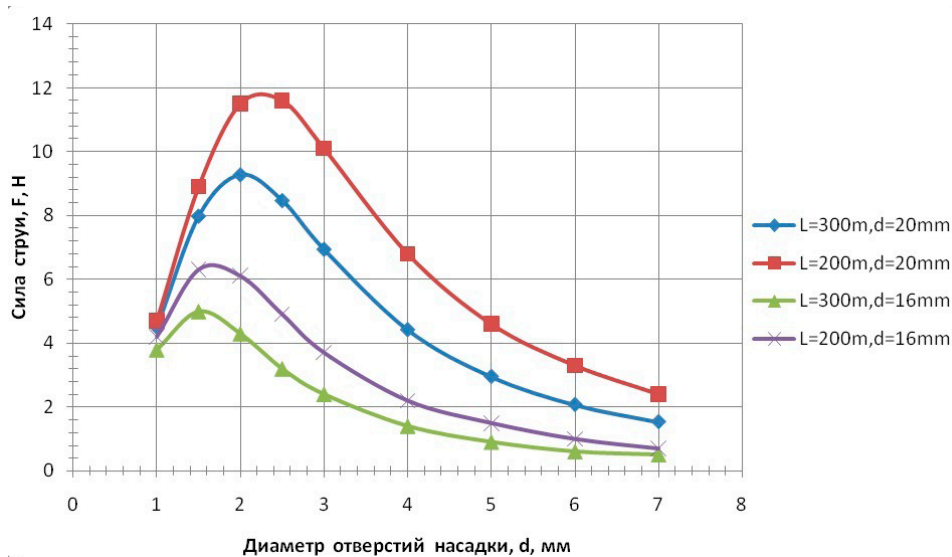


Рис. 5. Сила струи насадки в зависимости от диаметра ее отверстий



**Выводы**

1. В зависимости от диаметра и количества отверстий в промывной насадке и применительно к параметрам серийного устройства промывки дренажа УПД-120 расход имеет тенденцию затухающего роста, а скорость струи – затухающего снижения.

2. Сила струи насадки зависит от диаметра ее отверстий и имеет график с выраженным максимальным экстремумом.

3. Оптимальным значением диаметра отверстий насадки для исследованных условий является диаметр  $d = 2-3$  мм при 7 отверстиях. Диаметр промывочного рукава при этом должен быть не меньше 20 мм.

**Библиографический список**

1. Техническая эксплуатация закрытой мелиоративной сети / Н. Н. Погодин [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 154 с.

2. Погодин, Н. Н. Анализ способов и средств механизации очистки закрытой дренажной сети от заиления / Н. Н. Погодин, А. С. Анженков, В. А. Болбышко // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88). – С. 5–11.

3. 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.

4. Чугаев, Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости) : учеб. для вузов / Р. Р. Чугаев. – 2-е изд., доп. и испр. – Л. : Энергия, 1971. – 551 с.

5. Примеры расчетов по гидравлике : учеб. пособие для вузов / А. Д. Альтшуль [и др.] ; под ред. А. Д. Альтшуля. – Москва : Стройиздат, 1977. – 255 с.

Поступила 27 октября 2022 г.