

# • МЕЛИОРАЦИЯ •

УДК 631.3:626:86

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖА

*Н. Н. Погодин*, кандидат технических наук, доцент  
*А. С. Анженков*, кандидат технических наук, доцент  
*В. А. Болбышко*, кандидат технических наук

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

### Аннотация

Представлены расчеты по определению потерь напора в водопроводящих элементах установки промывки дренажа с учетом используемого для промывки расхода воды, внутреннего диаметра промывочного рукава и его длины. На основании выполненных расчетов рекомендовано установку промывки дренажа УПД-120 комплектовать промывочным рукавом с внутренним диаметром 20 мм и длиной 300 м.

**Ключевые слова:** промывка дренажа, промывочный рукав, потери напора, расход, скорость, диаметр, давление.

### Abstract

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

### CALCULATION OF PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT USED IN THE HYDRODYNAMIC METHOD OF CLEANING THE DRAINAGE

Calculations are presented to determine the pressure loss in the water supply elements of the installation for washing the drainage, taking into account the used water flow rate, the inner diameter of the washing pipe and its length. Based on the calculations, it is recommended that the installation for washing the drainage UPD-120 be completed with a flushing pipe with an inner diameter of 20 mm and a length of 300 m.

**Keywords:** drainage flushing, flushing pipe, pressure loss, flow rate, speed, diameter, pressure.

### Введение

Наибольшее распространение при очистке закрытых дренажных систем от заилиения получил механизированный гидродинамический способ с применением дренопромывочных машин и вспомогательных механизмов.

Гидродинамический способ основан на использовании энергии воды. На конце напорного рукава, вводимого в коллектор, монтируется промывочная насадка, оснащенная одним или несколькими передними и наклонными тыльными соплами. При помощи подающего устройства или вручную напорный рукав про-

двигается по трубопроводу, при этом исходящие из передних и тыльных сопел насадки водяные струи размывают отложения. Основной вынос наносов происходит под действием тыльных струй воды при наматывании промывочного рукава на барабан установки при работающем водяном насосе.

К числу основных характеристик устройства промывки дренажа можно отнести скорость и расход струй, исходящих из промывочной насадки. Эти характеристики определяются расходом и давлением воды, соз-

даваемыми насосом установки и потерями давления воды на пути от насоса к насадке. Для оценки потерь напора в устройстве промывки дренажа необходимо определить основные исходные параметры. Такими параметрами являются:

**Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ параметров устройств промывки дренажа, разработанных различными фирмами и организациями, показывает, что расход промывочной воды в основном находится в пределах 0,5–2,7 л/с, внутренний диаметр промывочного рукава составляет 1/2", 3/4", 1", что соответствует 13–25 мм. Длина промывочного рукава находится в пределах 100–300 м. Для оценки эксплуатационных характеристик устройства промывки дренажа, с опорой на приведенные данные, были приняты следующие исходные параметры:

расход  $Q$  – 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 л/с; внутренний диаметр рукава  $d$  – 15, 20 и 25 мм; длина рукава  $L$  – 200 и 300 м.

В общем виде схема водопроводящей системы устройства промывки дренажа приведена на рис. 1.

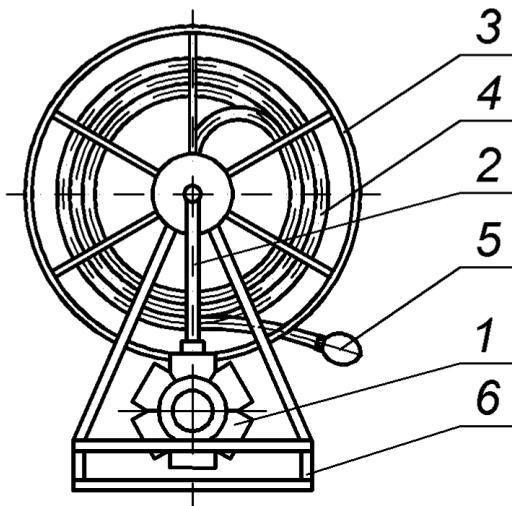


Рис. 1. Схема устройства промывки дренажа

1 – насос; 2 – трубопровод; 3 – барабан; 4 – промывочный рукав; 5 – промывочная насадка; 6 – рама

Потери напора в водопроводящих элементах будут складываться из потерь на поворот потока  $\Delta P_n$  на пути от насоса до барабана с промывочным рукавом; потерь на плавный поворот потока в промывочном рукаве  $\Delta P_{пн}$ , свернутом на барабане; потерь по длине промывочного рукава  $\Delta P_{пр}$ . Кроме того, потери напора будут происходить в

трами являются: расход промывочной воды, внутренний диаметр и длина промывочного рукава, параметры промывочной насадки (давление, диаметры и количество отверстий для формирования струй).

промывочной насадке. Схема промывочной насадки представлена на рис. 2.

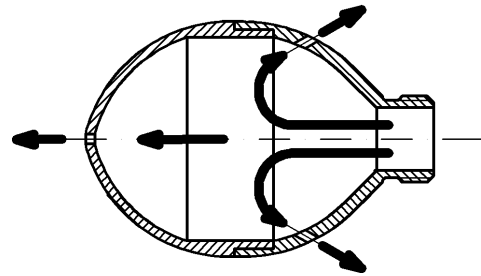


Рис. 2. Схема промывочной насадки

Потери напора в промывочной насадке будут складываться из потерь на расширение потока в самой насадке  $\Delta P_p$ , поворота потока под острым углом  $\Delta P_n$ .

Суммарные потери можно представить в следующем виде:

$$\Delta P = \Delta P_n + \Delta P_{пн} + \Delta P_{пр} + \Delta P_p + \Delta P_n \cdot (1)$$

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 [1]:

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

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

$\zeta_n$  – коэффициент сопротивления для поворота трубы на 90°, составляет 1,1 [1, табл. 4–3] ;  $g$  – ускорение свободного падения, м/сек<sup>2</sup>.

Скорость потока воды определяется по известному расходу и площади поперечного сечения трубопровода:

$$V = \frac{Q}{S_T}, \quad (3)$$

где  $Q$  – расход, м<sup>3</sup>/с;

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

В свою очередь, площадь поперечного сечения составляет:

$$S_T = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр трубопровода, м.

Потери напора на поворот потока в зависимости от диаметра трубопровода и расхода приведены в табл. 1.

Диаметр трубопровода, соединяющего насос с барабаном, обычно принимается равным диаметру выходного патрубка насоса, и составляет 15...25 мм.

Таблица 1. Потери напора на поворот потока

Диаметр трубопровода, мм	Расход, л/с				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Потери напора, м				
15	0,5	1,8	4,0	7,2	11,2
20	0,1	0,6	1,3	2,3	3,6
25	0,1	0,2	0,5	0,9	1,5

Потери на плавный поворот на  $180^\circ$  в свернутом на барабане промывочном рукаве  $\Delta P_{\text{пн}}$  ( $180^\circ$ ) определяются также по формуле [1], где:  $\zeta_{\text{пн}}$  – коэффициент сопротивления для плавного поворота трубопровода определяется по формуле [2]:

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

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

$\alpha = 1,33$  [2, прил. 27];

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;

$d$  – внутренний диаметр промывочного рукава, мм;

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

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

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

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

$d$  – диаметр трубопровода, м;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Величина кинематического коэффициента вязкости воды зависит от температуры и для температуры  $0\text{--}20^\circ\text{C}$  лежит в пределах  $1,79 \cdot 10^{-6} \text{--} 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  [2, табл. 6].

При расходах  $0,5\text{--}2,5$  л/с и диаметре трубопровода  $15\text{--}25$  мм число Рейнольдса будет изменяться в пределах  $40000\text{--}210100$ .

Для таких чисел Рейнольдса коэффициент гидравлического трения определяется по формуле [1]:

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

Радиус ( $R$ ) плавного поворота промывочного рукава принимаем таким же, как и в установке промывки дренажа УПД-120, который составляет  $0,6\text{--}0,75$  м.

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 следующей 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:

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

Потери напора на плавный поворот промывочного рукава длиной  $200$  м и  $300$  м в зависимости от его диаметра и расхода воды приведены в табл. 2.

Таблица 2. Потери напора на плавный поворот промывочного рукава

Диаметр промывочного рукава, мм	Длина промывочного рукава, м									
	200					300				
	Расход, л/с									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Потери напора, м									
15	27,2	38,0	55,9	80,0	110,4	40,8	57,0	83,8	120,0	165,6
20	17,0	20,5	27,2	36,3	47,7	25,4	30,6	40,8	54,4	71,5
25	12,1	13,3	16,4	20,6	26,0	18,2	20,0	24,6	30,9	38,9

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

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

Потери напора по длине в зависимости от расхода и диаметра трубопровода приведены в табл. 3.

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 определяется по формуле [2]:

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

где  $K_p$  – коэффициент смягчения при постепенном расширении,  $K_p = 1,07$  [2, табл. 4.3];  $w_1$  и  $w_2$  – площади сечений потока до и после расширения.

Таблица 3. Потери напора по длине промывочного рукава

Диаметр промывочного рукава, мм	Длина промывочного рукава, м									
	200					300				
	Расход, л/с									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Потери напора, м									
15	136	462	948	1583	2360	204	692	1421	2375	3540
20	35	117	240	400	595	52	176	360	600	893
25	12	41	83	138	205	18	61	124	207	307

Потери напора на расширение потока в насадке приведены в табл. 4.

Таблица 4. Потери напора на расширение потока в насадке

Диаметр промывочного рукава, мм	Расход, л/с				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Потери напора, м				
15	0,3	1,1	2,6	4,2	7,1
20	0,1	0,3	0,6	1,1	1,7
25	0	0,1	0,2	0,3	0,5

Потери на поворот потока внутри промывочной насадки  $\Delta P_{\text{н}}$  определяются по формуле (2) при  $\zeta_{\text{н}}$ , равном 3,0 [3].

Потери на поворот потока внутри промывочной насадки приведены в табл. 5.

Таблица 5. Потери на поворот потока внутри промывочной насадки

Расход, л/с				
0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Потери напора, м				
0,1	0,4	0,9	1,6	2,4

Суммарные потери напора в водопроводящих элементах дренапромывочного устройства приведены в табл. 6.

Таблица 6. Суммарные потери напора в водопроводящих элементах дренапромывочного устройства, м

Диаметр промывочного рукава, мм	Длина промывочного рукава, м									
	200					300				
	Расход, л/с									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Потери напора, м										
15	164	502	1013	1681	2498	246	752	1515	2512	3733
20	52	179	270	441	651	78	207	403	659	972
25	24	54	100	160	234	36	81	150	239	349

Установка промывки дренажа УПД-120, применяемая в Республике Беларусь для очистки закрытых дренажных систем от заиливания, оборудована мембранным насосом М135S, характеристики которого приведены на рис. 3.

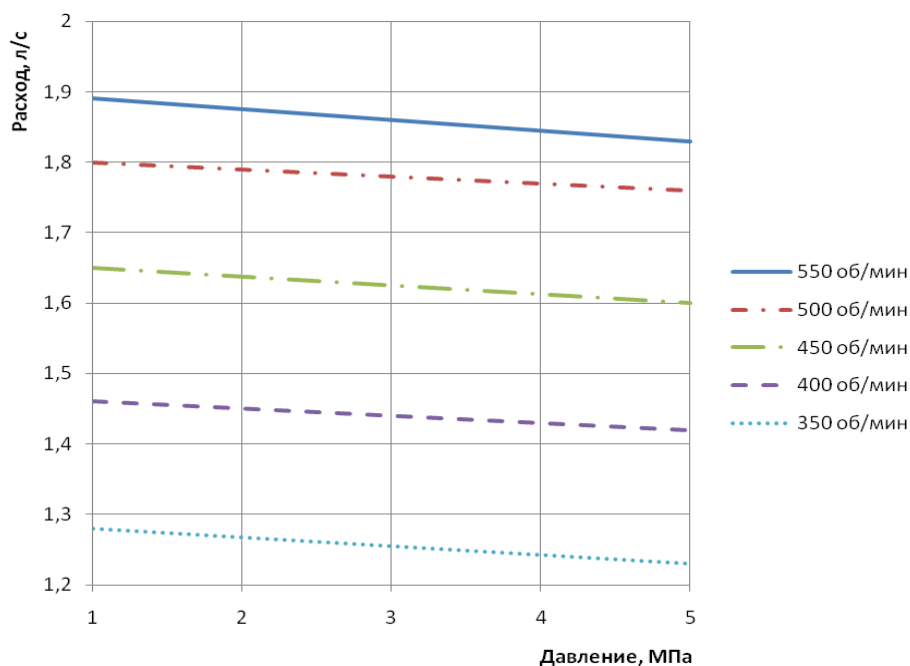


Рис. 3. Характеристики насоса М135S

Рационально промывку дренажных трубопроводов следует выполнять при давлении насоса 5,0 МПа. С учетом потерь напора в водоподводящих элементах дренажно-промывоч-

ного устройства остаточное давление воды в промывочной насадке при давлении насоса 5,0 МПа приведен в табл. 7.

Таблица 7. Напор воды в промывочной насадке при заданных параметрах длины, внутреннего диаметра промывочного рукава и расхода воды при давлении насоса 5,0 МПа

Диаметр промывочного рукава, мм	Длина промывочного рукава, м									
	200					300				
	Расход, л/с									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
15	3,36	–	–	–	–	2,54	–	–	–	–
20	4,48	3,61	2,30	0,59	–	4,22	2,93	0,96	–	–
25	4,76	4,46	4,00	3,40	2,66	4,64	4,0	3,50	2,61	1,51

Суммарные потери напора в устройстве промывки дренажа с использованием промывочных рукавов с внутренним диаметром

15...25 мм и их длине 300 м – в зависимости от расхода воды – представлены на рис. 4.

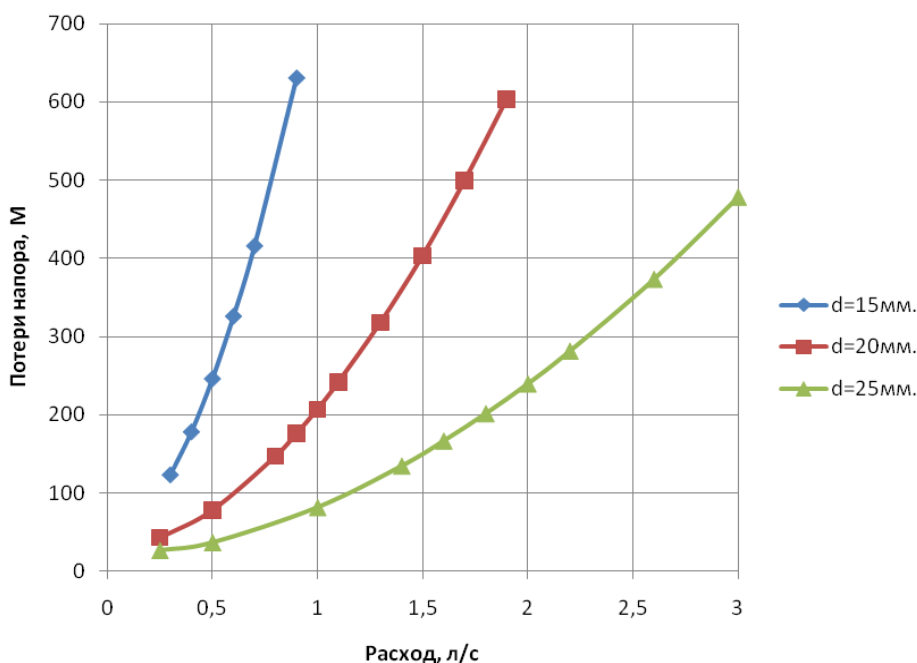


Рис. 4. Суммарные потери напора в устройстве промывки дренажа в зависимости от внутреннего диаметра промывочного рукава длиной 300 м и расхода воды

На рис. 5 приведен напор воды в промывочной насадке с учетом потерь напора в устройстве промывки дренажа, а также в зависимости от внутреннего диаметра промывочного рукава и рабочего давления водяного насоса 5,0 МПа.

Европейская комиссия по дренажу рекомендует рабочее давление в промывочной

насадке 0,9...1,1, но не более 1,3 МПа. Исходя из данного положения при давлении 0,9...1,1 МПа, расход при комплектовании устройства промывки дренажа промывочным рукавом с внутренним диаметром 15 мм составит всего 0,6... 0,7 л/с, что не в полной мере обеспечит необходимый объем воды для транспортировки размытых отложений.

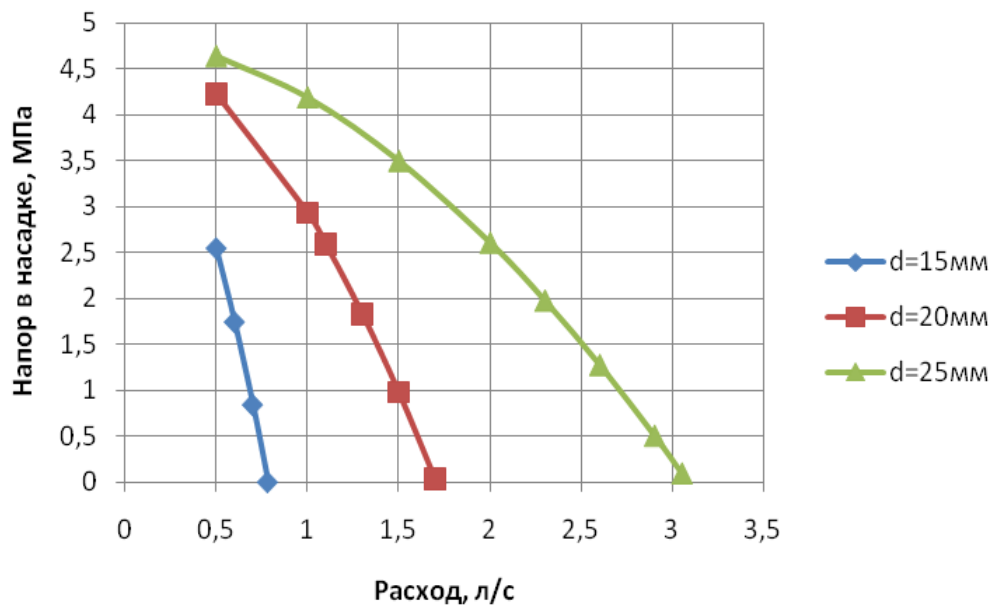


Рис. 5. Напор воды в промывочной насадке устройства промывки дренажа в зависимости от внутреннего диаметра промывочного рукава при давлении водяного насоса 5,0 МПа

Промывочный рукав диаметром 25 мм также нерационален по причине высокого остаточного давления в промывочной насадке, которое составляет от 1,5 до 4,2 МПа. В данном случае при диаметре рукава 25 мм целесообразно использовать водяной насос с более низким давлением. Однако увеличение диаметра промывочного рукава приведет к повышению его массы, стоимости и необходимых усилий по его продвижению по дренажному трубопроводу.

Исходя из вышеизложенного, предпочтительно оборудовать установку промывки дрена-

жа УПД-120 промывочным рукавом с внутренним диаметром 20 мм при длине 300 м. Длина промывочного рукава 300 м предпочтительна с той точки зрения, что в большинстве случаев длина промываемых коллекторов на объектах реконструкции составляет более 200 м, в связи с чем установка УПД-120 при очистке дренажного трубопровода может постоянно располагаться у его устья, без дополнительного перемещения по трассе, что существенно сократит время промывки и снизит себестоимость работ.

### Выводы

1. Выполнены расчеты по определению потерь напора в водопроводящих элементах установки промывки дренажа с учетом используемого для промывки расхода воды, внутреннего диаметра промывочного рукава и его длины.

2. С учетом выполненных расчетов установку промывки дренажа УПД-120 целесообразно комплектовать промывочными рукавами с внутренним диаметром 20 мм и длиной 300 м.

### Библиографический список

1. Чугаев, Р. Р. Гидравлика / Р. Р. Чугаев. – Л. : Энергия, 1971. – 552 с.
2. Примеры расчета по гидравлике / А. Д. Альтшуль [и др.]. – М. : Стройиздат, 1977. – 255 с.
3. Павловский Н. Н. Краткий гидравлический справочник / Н. Н. Павловский ; под ред. Р. Р. Чугаева. – Л. – М. : Госиздат , 1940. – 314 с.

Поступила 26.05.2020 г.