

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДРЕНОПРОМЫВОЧНОЙ ГОЛОВКИ

© 2016 г. Н. П. Долматов, А. В. Михеев

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт  
имени А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «ДГАУ»*

*Целью данной статьи является исследование влияния геометрических параметров дренапромывочной головки на ее технико-экономические показатели. Установлено, что применяемые схемы рабочих органов дренапромывочных машин не всегда и не везде эффективно размывают илистые отложения. Доказано, что илистые отложения в дренажных трубах, зоны осушения и зоны орошения имеют разный физико-механический и химический состав. Произведенный анализ показывает, что при изменении угла наклона струеформирующего насадка изменяются качество размыва наилка и транспортирующая способность образовавшейся пульпы, а увеличение диаметра насадков влияет на расход воды. Выводы статьи опираются на результаты экспериментальных исследований промывки дренажных труб, проведенных в лабораториях.*

*Ключевые слова: наилок; струеформирующий насадок; технико-экономические показатели; рабочая камера; углы наклона; дренапромывочная головка; геометрические параметры; испытания.*

*The purpose of this article is to study the influence of geometric parameters of the head for flushing of drainage on its technical and economic indicators. It is established that the schemes of working bodies machines for flushing of drainage are not always effectively eroded silts. It is proved that muddy sediments in drainage pipes, areas of drainage and irrigation areas have different physical, mechanical and chemical composition. The analysis shows that when the angle of inclination streamforming nozzle changes the quality of erosion and the growth and transport capacity of the formed pulp, and the increase in the diameter of the nozzles affects the flow of water. The conclusions of this article are based on the results of experimental studies of flushing of the drain pipes is carried out in the laboratories.*

*Key words: siltation; stream forming nozzle; technical and economic indicators; the working chamber; the angles; head for flushing of drainage; geometrical parameters; test.*

Достижения в сельском хозяйстве, в первую очередь, во многом зависят от состояния почв земельных угодий. В свою очередь, состояние мелиорируемых земель зависит от содержания и состояния коллекторно-дренажной сети.

Основным средством предупреждения и ликвидации отрицательных последствий орошения, а также освоения засоленных и склонных к засолению земель является искусственный (инженерный) дренаж, который

включает систему агротехнических мероприятий, промывку земель и промывной режим орошения на фоне дренажа. Инженерный дренаж подразделяется на горизонтальный, вертикальный и комбинированный. При необходимости эти типы дренажа сочетают. Горизонтальный и вертикальный дренажи, как правило, дополняются биологическим.

Достаточно полно отвечает современным техническим требованиям горизонтальный

дренаж. Он автоматический, главным образом, самотечный, не требует затрат электроэнергии, долговечный, простой в эксплуатации, в закрытом (подземном) варианте не препятствует перемещению по полям сельскохозяйственных машин.

В процессе работы дренажа через перфорацию в полость дренажной трубы попадают различные минеральные частицы. Со временем объем этих частиц увеличивается, тем самым ухудшая пропускную способность трубы.

Особенно интенсивное заиливание происходит в первые три года эксплуатации дренажа. Для удаления частиц образовавшегося наилка в полости трубы разработаны несколько видов дренажесмывочных устройств, которые являются рабочими органами дренажесмывочных машин. Одно из таких устройств разработано и исследовано в НИМИ ДГАУ группой сотрудников. Лабораторные исследования экспериментальной модели рабочего органа дренажесмывочного устройства проводились в специализированных лабораториях института.

Программа экспериментальных исследований включала в себя два основных направления:

1. Изучение размывающих свойств устройства для условий несвязных частиц наилка при различных фиксированных значениях угла ориентации струеформирующих насадков;

2. Изучение качественных, характерных особенностей взаимодействия системы веерных струй, сформированных гидравлическими насадками рабочего органа дренажесмывочного устройства, с частицами наилка (для наихудших условий связного наилка).

Согласно материалам исследований различных авторов наиболее интенсивное отложение наносов в дренажных трубах закрытого горизонтального дренажа происходит в первые годы его эксплуатации [14]. Нарушение технологии укладки дренажных труб, в частности, несоблюдение требований, предъявляемых к защитным фильтрующим материалам, несоблюдение уклона, сложность прогнозирования водного баланса мелиорируемых земель и ряд других причин приводит к осаждению мелкодисперсных частиц грунта в дренах.

Ряд исследований [4, 5] свидетельствует о том, что частицы наилка, осевшего в дренажных трубах, в условиях водного режима дрены в течение первых лет эксплуатации остаются несвязными. Поэтому экспериментальные исследования проводились с использованием в качестве наилка несвязных частиц наносных отложений. Для приближения условий в лабораторном эксперименте к натурным в качестве моделируемых наносных отложений использовался наилок (предварительно наилок изучался по физико-механическому составу [6, 7, 2, 13]), извлеченный из дренажных трубопроводов на экспериментальном участке Азовской оросительной системы в совхозе «Красный Сад» Ростовской области.

Диаметр частиц наилка  $d_n$  определялся по осредненной гидравлической крупности этого наилка  $w_0$ . В свою очередь, осредненная гидравлическая крупность определялась по формуле А. Г. Хачатряна [8]:

$$w_0 = \frac{0.5 \cdot (w_{n+1} + 2w_1)}{\ln \frac{w_{n+1}}{w_1} - 1},$$

где  $w_{n+1}$ ,  $w_1$  — гидравлическая крупность, соответственно предельная и минимальная.

Гидравлическая крупность определялась по общепринятой методике пипеточным способом. Согласно рекомендациям в работе [8] минимальный диаметр частиц был принят равным диаметру коллоидальных частиц крупностью 0,0001 мм. Предельное значение гидравлической крупности для исследуемого образца наилка составляет  $w_{n+1} \approx 0,05 \dots 0,15$  см/с при температуре воды 10..15°. Средневзвешенный диаметр частиц наилка определялся по табличным данным Архангельского Е. В. [8] и составляет  $d_n \approx 0,0033 \dots 0,01$  мм, что согласуется с материалами полевых исследований в работе [4, 10].

Наши исследования проводились по общепринятой методике проведения лабораторных исследований [9, 11, 1], а также визуального наблюдения взаимодействия струи с преградой [3, 15, 12] на специальной стационарной экспериментальной установке. Схема установки представлена на рисунке 1. В качестве имитатора гладкостенного (асбестоцементной) дренажного трубопровода и в целом основы для проведения серий экспериментов ис-

пользовалась толстостенная стеклянная труба 1 с внутренним диаметром 150 мм и общей длиной двух смежных секций 10 м.

Помимо стеклянной трубы и экспериментального образца рабочего органа 2 дренажно-промывочного устройства (ДПУ) в состав лабораторной установки входят две опоры 3 для исследуемой трубы, резервуар для воды 4, насосный агрегат 5, водоводы 6, регулирующие подачу воды задвижки 7 и манометр 8 для фиксации давления в ДПУ.

Предварительно перед проведением каждой серии эксперимента каждая из семи исследуемых головок (с определенным углом наклона  $\beta = 70^\circ, 60^\circ, 50^\circ, 40^\circ, 30^\circ, 20^\circ, 12^\circ$  струеформирующих насадок (СФН) относительно центральной оси головки) ДПУ тарировалась.

Целью тарировки являлось нахождение связи расхода ДПУ с давлением в его напорном шланге 9. При фиксированном значении давления в ДПУ ( $Z_{\text{дпу}}$ ) находился расход, проходящий через исследуемую дренажно-промывочную головку. Определение расхода ДПУ осуществлялось широко распространенным в гидромеханике объемным способом с трехкратным повторением каждого замера. По результатам ряда осредненных замеров строилась кривая связи:

$$Q_{\text{дпу}} = f(Z_{\text{дпу}}).$$

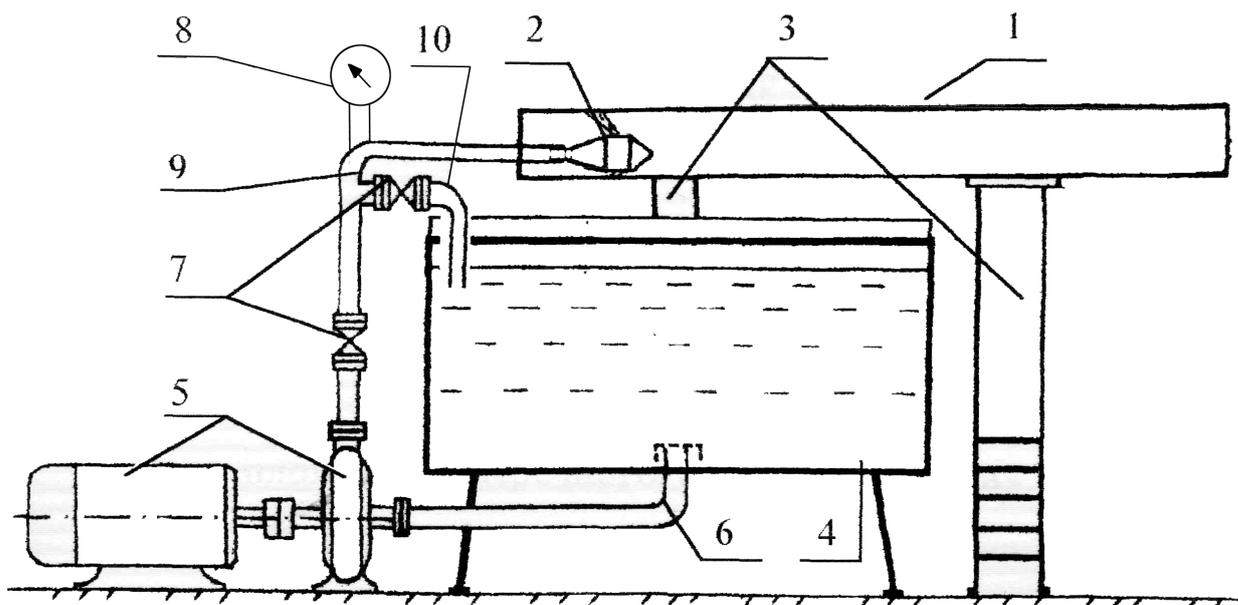


Рис. 1. Лабораторная установка

Помимо этого, соответствующие кривые строились для скорости истечения из струеформирующих насадок и затраченного объема воды. Значение скорости определялось из условия неразрывности по формуле:

$$U_0 = \frac{Q_{\text{дпу}}}{n_{\text{сфн}} \cdot w_0},$$

где  $Q_{\text{дпу}}$  — расход ДПУ;  $n_{\text{сфн}}$  — количество струеформирующих насадок;  $w_0$  — площадь поперечного сечения отверстия струеформирующего насадка, а объем воды в расчете на 1 м промываемой трубы — по формуле:

$$W_{\text{лнм}} = \frac{Q_{\text{дпу}} \cdot t_{\text{п}}}{L_{\text{п}}},$$

где  $t_{\text{п}}$  — продолжительность промывки всего участка трубопровода;  $L_{\text{п}}$  — длина промываемого участка.

Давление и расход дренажно-промывочного устройства в процессе проведения эксперимента регулировались с помощью двух задвижек на экспериментальной установке (см. рис. 1). Избыток воды сбрасывался в резервуар по отводящему патрубку 10.

Помимо исследований в стеклянной гладкостенной трубе проводились исследования и с полиэтиленовыми гофрированными дренажными трубами диаметром 110 мм.

Выравнивание высоты слоя наилка в дренажной трубе осуществлялось по широко распространенной методике плавным подтоплением. После осаждения частиц наилка осветленный верхний слой воды удалялся плавным снижением уровня воды.

Скорость подачи ДПУ по дренажной трубе во всех экспериментах была постоянной и соответствовала принятому в расчете значению для натуральных условий, т.е. 0,1 м/с. Равномерность подачи ДПУ обеспечивалась с помощью специального шлангоподающего устройства.

Экспериментальная дренажная труба разбивалась на несколько участков. После тарировки экспериментальной модели ДПУ и подготовки слоя наилка в трубе заданной высоты включался насосный агрегат, и устанавливался необходимый расход путем маневрирования задвижками. Для каждой серии эксперимента применительно к первому участку трубы в качестве опорного принимался расход ДПУ (а следовательно, и скорость истечения из струеформирующих насадок), определенный по расчету. Время прохождения устройства по каждому из участков фиксировалось секундомером. После прохождения первого участка насосный агрегат выключался, и визуально оценивалась степень

очистки трубы. Если этот участок промывался полностью, то применительно к следующему участку расход ДПУ уменьшался либо увеличивался и т.д. Таким образом, итерационно определялся расход ДПУ (объем воды), необходимый для размыва фиксированного слоя наносных отложений.

В результате проведенных исследований было установлено, что угол наклона струеформирующего насадка  $\beta$  существенно влияет на гидравлические характеристики дренопромывочного устройства, а также на эффективность очистки дренажной трубы от наносных отложений.

Основной целью экспериментальных исследований являлось достижение эффективной очистки дренажной трубы от наносных отложений путем оптимизации основных параметров дренопромывочного устройства, в частности, угла наклона струеформирующих насадков относительно центральной оси дренопромывочной головки. Уменьшение угла  $\beta_{\min}$  приводит (рис. 2) к улучшению критерия  $\eta_n$  по проталкиванию пульпы и в то же время «налипанию» струи к водонапорному шлангу. Увеличение  $\beta_{\max}$  приводит к улучшению критерия  $\eta_p$  на размыв наносных отложений и ухудшению параметра проталкивания. Из графика по оптимизации угла наклона  $\beta$

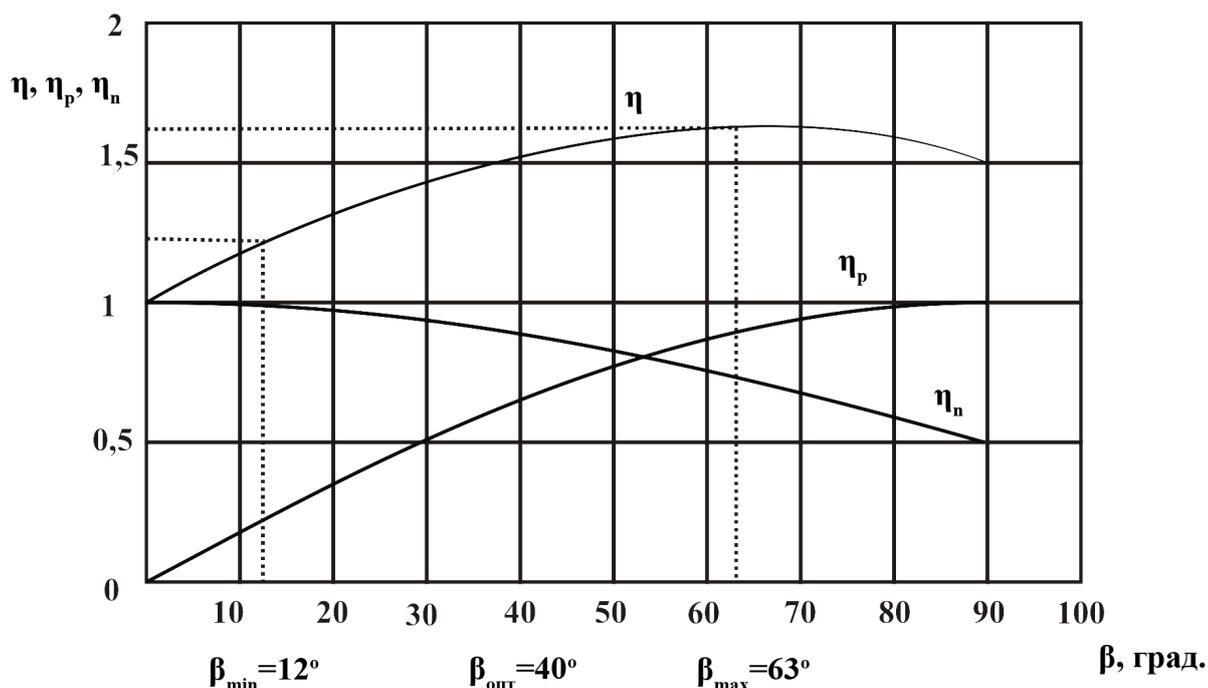


Рис. 2. График к обоснованию рационального угла наклона струеформирующего насадка

СФН (рис. 2), полученного аналитическим путем, отчетливо выделяется угол, равный  $40^\circ$ . Величина данного угла наклона СФН удовлетворяет требованиям критериев  $\eta_p$  на размыв наилка. А т.к. в данном случае (первые годы эксплуатации дренажа) одним из важнейших факторов по очистке дрены является вынос пульпы из полости трубопровода, то необходимо увеличить характеристики критерия  $\eta_n$  на проталкивание. В процессе проведения лабораторных исследований угол наклона  $\beta$  будет изменяться и обосновываться в зависимости от степени очистки дрены. Анализ динамики развития осесимметричной струи, формирующейся вблизи стенки дренажной трубы, свидетельствует о наличии в пространстве между струей и стенкой сложных по структуре и динамике вторичных течений.

В процессе проведения эксперимента визуально наблюдался размыв по внутреннему периметру трубы наносных отложений осесимметричными турбулентными струями усовершенствованной дренажпромывочной головки (рис. 3). Хотя минимальное и максимальное значения были определены в теоретическом расчете, тем не менее, максимальный угол  $\beta_{\max}$  в ходе эксперимента для уточнения гидравлических характеристик был увеличен до  $\beta_{\max} = 70^\circ$ .

Изменяя угол наклона струеформирующих насадков  $\beta = 70^\circ \dots 12^\circ$ , в то время как кинематические характеристики дренажпромывочного устройства ( $U_n$ ) оставались постоянными, изучался остаток наилка (степень очистки) после промывки трубы усовершенствованной дренажпромывочной головкой. В каждом опыте при проведении эксперимента толщина слоя наилка была также неизменной  $\delta_n = 10$  мм (рис. 3).

По прохождении рабочим ходом экспериментальной дренажпромывочной головкой заданной длины (10 м) дренажного трубопровода (при заданных гидравлических параметрах дренажпромывочного устройства по отношению к физико-механическому составу наилка и величины его слоя) в полости гладкостенной трубы наилка не оказывалось, что подтверждает точность расчета гидравлических параметров дренажпромывочного устройства.

Вымываемый в процессе эксперимента наилкок собирался в специально подготовленный резервуар.

В тех случаях, когда после промывки трубы при заданных гидравлических и кинематических параметрах в очередном эксперименте оставалась часть наилка, эксперимент проводился заново при тех же условиях, но давление в рабочей камере дренажпромы-

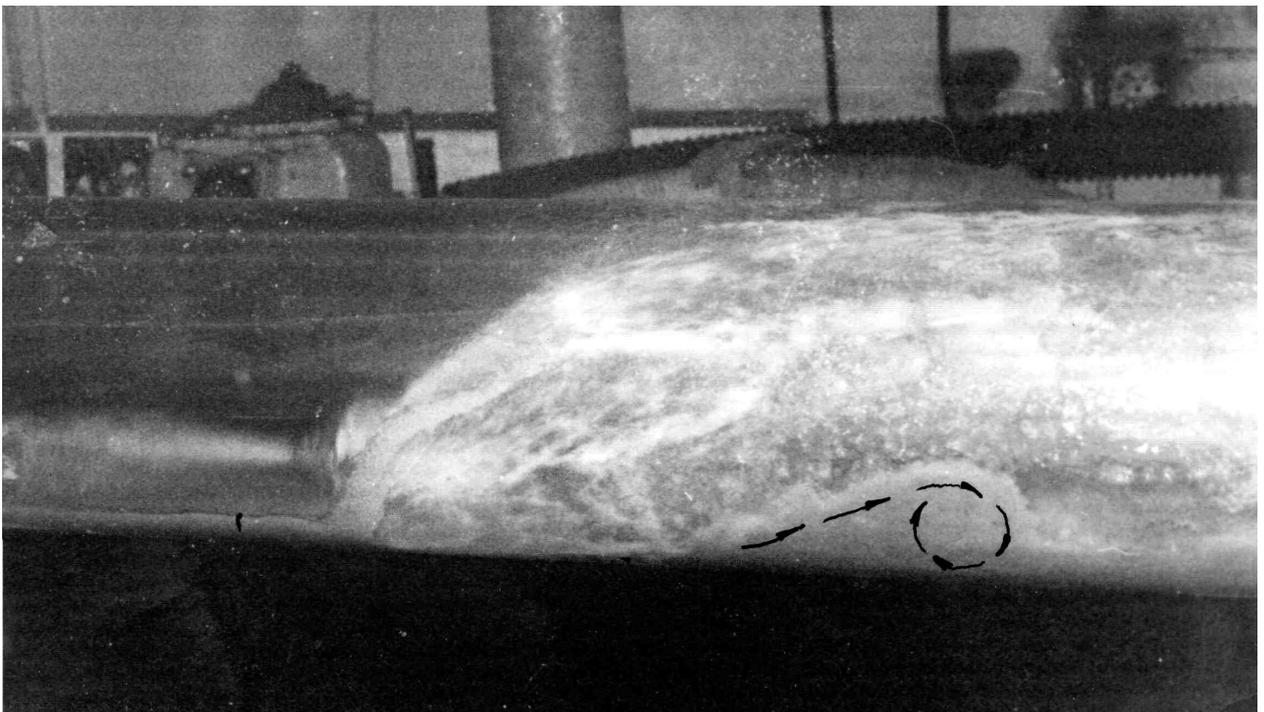


Рис. 3. Промывка трубы усовершенствованной дренажпромывочной головкой

вочной головки повышалось до значения, при котором после промывки наилка в трубе не оставалось.

Определенный таким образом расход устанавливался и при проведении экспериментов с гофрированной полиэтиленовой дренажной трубой. По прохождении всего трубопровода степень очистки оценивалась путем просмотра его через продольный разрез.

Подобные серии лабораторных экспериментов проводились для каждого экспериментального образца дренажпромывочной головки, для различных углов ориентации струеформирующих насадок.

Результаты экспериментальных данных к обоснованию оптимальных гидравлических характеристик ДПУ от изменения угла  $\beta$  струеформирующих насадков в сравнении с расчетными представлены в таблицах 1, 2. В графическом виде сопоставление расчета с данными, полученными в результате эксперимента по оптимизации расхода ДПУ

$Q_{\text{дпу}}$  и необходимого объема  $W_{\text{1пм}}$  на размыв и вынос наилка из дренажного трубопровода, представлено на рисунке 4 в виде графиков и экспериментальных точек.

Изучив аналитические графики и точки, полученные в результате эксперимента, наблюдаем резкое возрастание показателей расхода ДПУ  $Q_{\text{дпу}}$  и объема  $W_{\text{1пм}}$ . Возрастание данных величин происходит с уменьшением угла  $\beta$  от  $40^\circ$ . Изучив и сопоставив графики к обоснованию рационального угла наклона  $\beta$  СФН (рис. 2) и связи расхода ДПУ  $Q_{\text{дпу}}$  и объема  $W_{\text{1пм}}$ , а также экспериментальные данные, приходим к выводу, что наиболее рациональный угол наклона СФН  $\beta = 40^\circ$ . В результате проведения лабораторных исследований по промывке дренажных труб произведена оптимизация величине угла  $\beta$  СФН. Оптимальный угол наклона СФН, удовлетворяющий по степени очистки от наносов при заданных гидравлических характеристиках, равен  $\beta = 40^\circ$ .

Таблица 1

**Влияние величины угла наклона  $\beta$  струеформирующих насадков на  $W_{\text{1м}}$  ( $10^{-3}\text{м}^3$ )**

№ опыта	Серия	Величина угла $\beta$ (град.)						
		12	20	30	40	50	60	70
1	I	26	16	10,3	7,1	6,5	6,3	6,1
	II	25,8	15,5	10,1	7	6	6,2	6
	III	25,6	15	10	6,8	5,8	6,1	5,8
2	I	25,4	14,5	9,9	6,6	5,6	6	5,4
	II	25,2	14	9,7	6,4	5,2	5,8	5,2
	III	25	13,5	9,5	6,2	5	5,6	5
3	I	24,8	13	9,2	6	4,8	5,45	5,1
	II	24,4	13,1	9	5,8	4,2	5,2	5,11
	III	24	13,2	8,5	5,7	4	4,9	5,12
4	I	23,8	13,4	8,3	5,65	3,8	5	5,12
	II	23,4	13,5	8,4	5,6	3,6	5,1	5,12
	III	23,1	13,6	8,4	5,5	3,7	5,1	5,12
5	I	23,2	13,6	8,4	5,6	3,8	5,1	5,12
	II	23,2	13,6	8,4	5,6	3,8	5,1	5,12
	III	23,2	13,6	8,4	5,6	3,8	5,1	5,12
Оптимальный объем $W_{\text{1м}}$ для угла $\beta$		23,2	13,6	8,4	5,6	3,8	5,1	5,12

Таблица 2

Влияние величины угла  $\beta$  струеформирующих насадков на  $Q_{\text{дпу}}$  ( $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ )

№ опыта	Серия	Величина угла $\rho$ (град.)						
		12	20	30	40	50	60	70
1	I	1,833	1,12	0,726	0,504	0,45	0,435	0,42
	II	1,8	1,1	0,724	0,5	0,445	0,43	0,41
	III	1,78	1,08	0,72	0,49	0,44	0,425	0,4
2	I	1,76	1,06	0,7	0,48	0,435	0,42	0,395
	II							
	III	1,74	1,04	0,68	0,48	0,425	0,415	0,39
		1,72	1,02	0,66	0,47	0,42	0,41	0,385
3	I	1,7	1	0,64	0,46	0,410	0,405	0,38
	II	1,68	1,02	0,645	0,45	0,4	0,406	0,382
	III	1,67	1,04	0,645	0,45	0,38	0,408	0,384
4	I	1,68	1,04	0,648	0,44	0,375	0,409	0,385
	II							
	III	1,68	1,04	0,65	0,43	0,377	0,409	0,386
		1,68	1,04	0,65	0,435	0,378	0,409	0,387
5	I	1,68	1,04	0,65	0,44	0,378	0,409	0,387
	II	1,68	1,04	0,65	0,44	0,378	0,409	0,387
	III	1,68	1,04	0,65	0,44	0,378	0,409	0,387
Оптимальный расход $Q$ для угла $\beta$		1,68	1,04	0,65	0,44	0,378	0,409	0,387

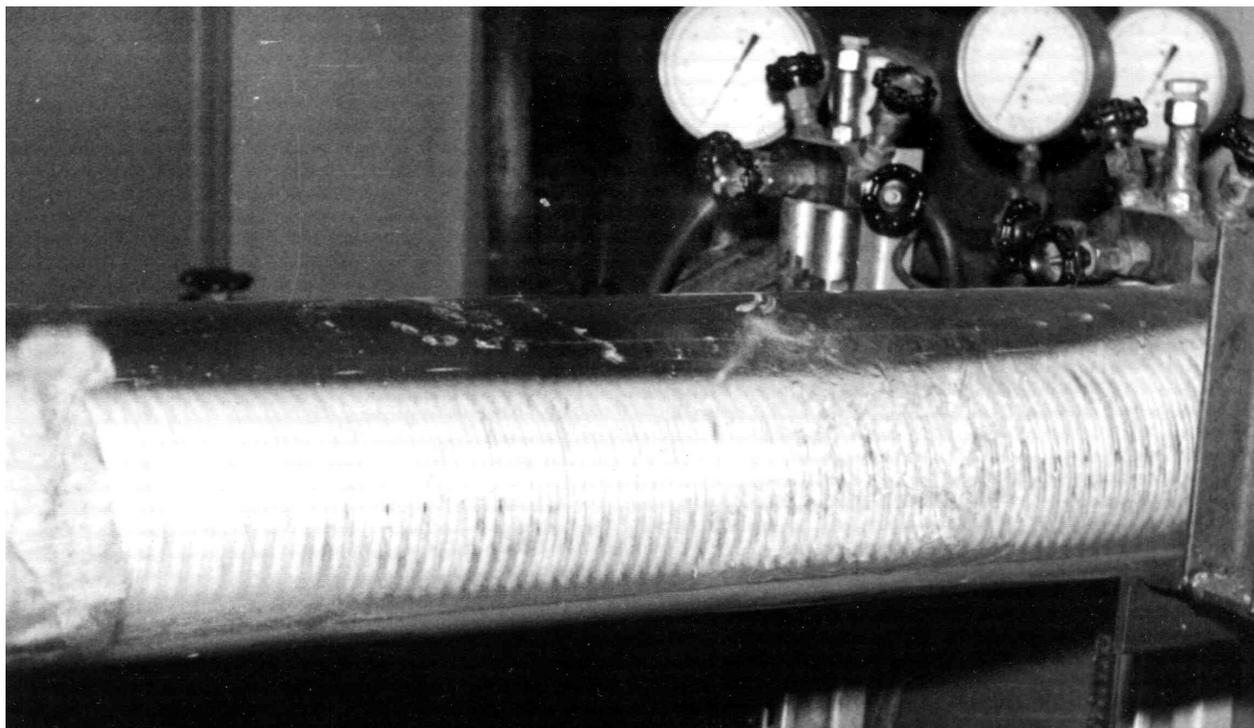
Следует отметить, что принятие ряда допущений в расчете преследовало целью повысить надежность промывки дрен и определялось, исходя из наихудших условий.

В результате проведенных исследований было установлено, что угол ориентации струеформирующего насадка существенно влияет на гидравлические характеристики дренажно-промывочного устройства, а также на эффективность очистки дренажной трубы от наносных отложений. В качестве положительного факта следует отметить, что эффективность промывки гофрированной полиэтиленовой дренажной трубы и, в частности, ее перфорационных отверстий (рис. 4) становится выше при углах ориентации струеформирующих насадков  $\beta_{\text{сфн}} \geq 40 \dots 45$ . Это в определенной

степени подтверждает правильность теоретического обоснования оптимального угла ориентации СФН. Однако, с уменьшением угла  $\beta_{\text{сфн}} \leq 40 \dots 45$  расход, а следовательно, и напор в ДПУ увеличиваются быстрее.

В результате статистической обработки полученные уравнения связи второго порядка с достоверностью: для расхода  $Q_{\text{дпу}} — 0,9376$ ; для объема воды  $W_{\text{нм}} — 0,9435$ .

Учитывая неравномерность толщины слоя наносных отложений в естественных полевых условиях, для более высокой степени очистки дренажной трубы необходимо делать обратный ход дренажно-промывочной головки рабочим. При этом скорость продвижения обратным ходом остается равной скорости подачи  $U_{\text{н}}$ .



**Рис. 4.** Проникновение струи в перфорационное отверстие

Таким образом, в результате проведенных исследований по технико-экономической оптимизации рабочего органа дренажно-промывочной машины существенно сокращается расход воды, уменьшаются общие затраты на промывку трубопровода.

### Литература

1. Альбом течений жидкости и газа: / Пер. с англ./ Сост. М. Ван-Дайк. — М.: Мир, 1986. — 184с.
2. Бабков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механика грунтов. — М.: Высшая школа, 1986. — 239 с.
3. Безрук В. М. Геология и грунтоведение. — М.: Недра, 1984. — 224 с.
4. Белый Л. Д. Инженерная геология. — М.: высшая школа, 1985. — 231 с.
5. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами. — М.: Машиностроение, 1971. — 358 с.
6. Духовный В. А., Бакеушин М. Д., Томин Е. Д., Серебренников Ф. В. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. — М.: Колос, 1979. — 255 с.
7. Клестов Ю. М. Распространение турбулентной струи, соударяющейся с плоской поверхностью во внешнем потоке. — Изв. АН СССР. МЖГ. — 1978. — №5.
8. Меламут Д. Л. Гидромеханизация в ирригационном и сельскохозяйственном строительстве: Учебное пособие для вузов. — М.: Стройиздат, 1967. — 396 с.
9. Методика лабораторных и натуральных исследований водоприемной способности дренажных конструкций. — М.: ВНИИГиМ, 1988. — 40 с.
10. Программа и методика предварительных испытаний опытного образца насадка фрезерного: НФП — 00.00.000 ПМ: Утв. 29.05.84. / Разраб. Сев. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации, Опытн.-констр. бюро. — Л.: СевНИИГиМ, 1984. — 14 л.
11. Струйные течения жидкостей и газов. — В кн.: Тезисы Всесоюзной научной конференции (2–5 июня 1982 г., Новополоцк), Ч. // Новополоцк, 1982.
12. Техническое задание на разработку насадка фрезерного НФП к дренажно-промывочной машине Д-910А: Утв. 20.12.1983. / Разраб. Сев. науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации, опытн.-констр. бюро. — Л.: СевНИИГиМ, 1984. — 29 с.
13. Указания по расчету заиливания водохранилищ при строительном проектирова-

нии. Под ред. Петуховой Г. А. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 55 с.

14. Чжен П. Управление отрывом потока / Пер. с англ. Бондарева Е. Н. — М.: Мир, 1979. — 552 с.

15. Шашунов И. С. Исследование некоторых вопросов аэродинамики взаимодействия настилающей веерной струи со сносящим ее встречным потоком. — Труды. Всесоюз. ин-та железнодорож. тр-ра. — 1968. — вып. 354.

Поступила в редакцию

3 ноября 2015 г.



**Долматов Николай Петрович** — кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины природообустройства» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «ДГАУ».

**Dolmatov Nikolay Petrovich** — candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department «Machine engineering» of Don State Agrarian University's Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering.

346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111  
111 Pushkinskaya st., 346428, Novocherkassk, Rostov reg., Russia  
Тел.: 8 (8635) 27-96-03, 8 (8635) 24-68-89, 8 (928) 602-27-00  
e-mail: dolmanik@yandex.ru



**Михеев Александр Васильевич** — кандидат технических наук, профессор кафедры «Машины природообустройства» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова ФГБОУ ВПО «ДГАУ».

**Mikheev Alexander Vasilievich** — candidate of technical Sciences, Professor of the Department «Machine engineering» of Don State Agrarian University's Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering.

346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111  
111 Pushkinskaya st., 346428, Novocherkassk, Rostov reg., Russia  
Тел.: 8 (8635) 27-96-03, 8 (918) 526-88-57