

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ

УДК 631.3-83

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ ПОЛИВОЧНОЙ ШТАНГОЙ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСАДКАМИ

В.Н. Кондратьев, доктор технических наук

В.Ф. Карловский, доктор технических наук
(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

Г.А. Самбурский, аспирант

(ВНИИГиМ, г. Москва)

Укрепление откосов мелких и коллекторных каналов целесообразно вести поливочными штангами. Особенно эффективно наносить водорастворимые эмульсии на засеянные поверхности после гидропосева смесью из воды, семян, минеральных удобрений. При этом можно исключить попадание эмульсий в воду.

Литературными источниками и нашими опытами подтверждается, что наиболее равномерно распределяются эмульсии штангами с центробежными насадками.

Поэтому дадим методику выбора центробежных насадок на примере распределения эмульсий при укреплении откосов каналов гидропосевом трав. Зная ширину засеваемой части откоса канала, определим длину засеваемого участка (м) одной заправкой цистерны гидросеялки по формуле

$$l_y = \frac{V_c \cdot y}{b \cdot H_{p.r}}, \quad (1)$$

V_c – емкость цистерны гидросеялки, л;

y – коэффициент полноты заправки и опорожнений цистерны, $y = 0,95$;

b – ширина полосы, образуемой факелом центробежной насадки. На практике берется равной ширине откоса (1,5-2 м) при креплении каналов глубиной до 1,5 м;

$N_{p.g.}$ – норма внесения ВРП эмульсии на 1 м^2 .

Следовательно, время (t), за которое проходит гидросеялка с постоянной скоростью V_m (м/с) длину участка (l_y) канала, определим из выражения

$$y \cdot v_c = V_m \cdot t \cdot b \cdot N_{p.g.}, \quad (2)$$

где t – время прохождения гидросеялкой участка l_y , с.

Откуда следует, что

$$t = \frac{y \cdot v_c}{V_m \cdot b \cdot N_{p.g.}}$$

За это время (t) из насадки штанги должно истекать $y \cdot v_c$ эмульсии (л), т.е.

$$y \cdot v_c = Q \cdot t, \quad (3)$$

где Q – расход насадки, л/с.

Из формулы (3) найдем расход Q (л/с), который должна обеспечивать центробежная насадка:

$$Q = \frac{y \cdot v_c}{t}. \quad (4)$$

В центробежной насадке эмульсия эксцентрично подводится в спиральный корпус. При этом возникает вихревое движение, способствующее повышению качества распределения эмульсии по поверхности откоса. Принимая во внимание эти условия, определим параметры центробежной насадки, необходимые для обеспечения требуемого расхода эмульсии Q . Известно, что расход через насадку по теории односторонней центробежной насадки для идеальной жидкости определяют по формуле [1]:

$$Q = 0,001 f_c \cdot \mu \cdot \sqrt{2qH}, \quad (5)$$

где f_c – площадь выходного отверстия (сопла), мм^2 ,

H – напор перед насадкой, м вод. ст.;

μ – коэффициент расхода насадки, определяемый по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\varphi^2} + \frac{A^2}{1 - \varphi}}} = \sqrt{\frac{\varphi^3}{2 - \varphi}}, \quad (6)$$

где φ – коэффициент заполнения сопла эмульсией, определяемый по формуле:

$$\varphi = r_m^2 / r_c^2. \quad (7)$$

Коэффициент получаем из условия, что эмульсия истекает через кольцевое сечение, внутренний радиус которого равен радиусу воздушного вихря r_m , а внешний – радиусу сопла r_c (рис. 1).

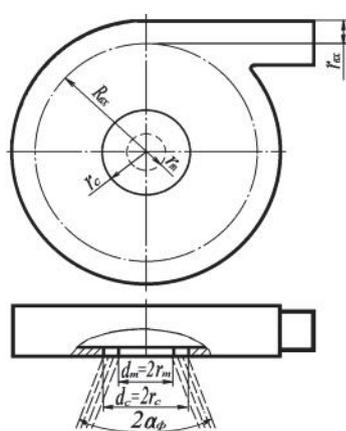


Рис. 1. Принципиальная конструктивная схема центробежной насадки.

Известно, что геометрическая характеристика насадки для распределения битумной эмульсии должна быть $A < 4$, которая определяется по формуле (8) [1].

$$A = 1 - \varphi / \sqrt{\frac{\varphi^3}{2}}. \quad (8)$$

По данным предварительных испытаний для нашего случая подходит насадка с размерами $R_{вх} = 70$; $r_c = 10$; $r_{вх} = 15$ мм (рис. 1). При этом геометрическая характеристика насадка будет равна 1,55. Из графика (рис. 2) следует, что коэффициент $\mu = 0,2$ при $A = 1,55$.

Зависимости (рис. 2 и 3) показывают, что центробежная насадка с приведенными выше геометрическими размерами имеет коэффициент заполнения сопла 0,8.

Из формул (6) и (8) видно, что расход эмульсии через насадку определяется геометрической характеристикой насадки и коэффициентом φ заполнения сопла

насадки эмульсией.

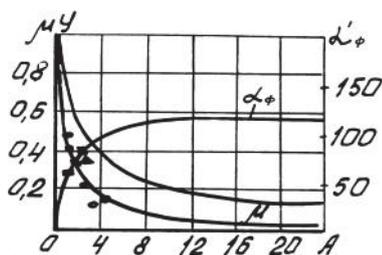


Рис. 2. Зависимость коэффициента расхода μ , коэффициента заполнения φ и угла факела распыла α_φ от A [1].

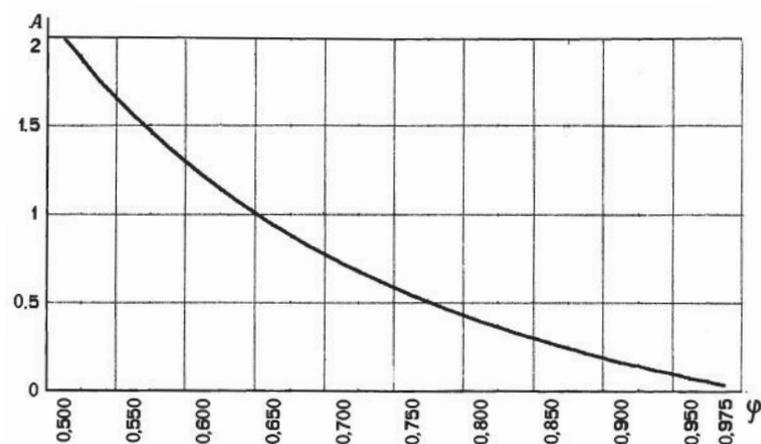


Рис. 3. Зависимость коэффициента заполнения сопла от геометрической характеристики насадки $A \leq 2$.

Далее из формулы (5) определим необходимую площадь выходного отверстия (сопла) f_c для рассматриваемой центробежной насадки при напоре давления $H=50$ м вод. ст.

Тогда

$$f_c = \frac{Q}{0,001 \cdot \mu \cdot \sqrt{2g \cdot H}} = \frac{1,95}{0,001 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 50}} \quad (9)$$

$$= \frac{1,95}{0,0002 \cdot 31,3} = \frac{1,95}{0,00626} = 313,5 \text{ мм}^2.$$

Зная f_c , определим диаметр сопла центробежной насадки:

$$f_c = \pi \cdot r_c^2. \quad (10)$$

Откуда

$$r_c = \sqrt{\frac{f_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{313,5}{3,14}} = \sqrt{99,8} \approx 10 \text{ мм}, \text{ т.е. } d_c = 20 \text{ мм}. \quad (11)$$

Известно, что геометрическую характеристику насадки можно определить также по формуле (12):

$$A = \frac{R_{\text{вх}}}{2} \cdot r_c, \quad (12)$$

где $R_{\text{вх}}$ – расстояние от оси отверстия сопла до оси насадки;
 $r_{\text{вх}}$ – радиус отверстия, через которое эмульсия поступает в насадку.

Таким образом, значение расхода Q через насадки и размеры поверхности, на которую выливается эмульсия, зависят от геометрической характеристики насадки.

Зависимости μ , φ , A , $\alpha_{\text{ф}}$ от r_c показаны в таблице.

При этом надо отметить, что геометрическая характеристика насадки (A) имеет основное влияние на угол факела распыла ($\alpha_{\text{ф}}$). Поэтому при разработке центробежных насадок рекомендуем использовать формулу (12) для расчета ее геометрической характеристики (A).

Определив величины A и φ , угол факела распыла эмульсии центробежной насадкой определим по формуле:

$$\text{tg } \alpha_{\text{ф}} = \frac{2A \cdot \varphi}{1 + \sqrt{1 + \varphi}} = \frac{2 \cdot 1,55 \cdot 0,8}{1 + \sqrt{1 + 0,8}} = \frac{2,48}{1 + \sqrt{1,8}} = \frac{2,48}{2,35} = 1,0553. \quad (13)$$

Тогда $\alpha_{\text{ф}} = \text{arctg } 1,0553 \approx 46^{\circ}$.

Угол факела распыла ($\alpha_{\text{ф}}$) в зависимости от высоты (h) расположения насадки над поверхностью откоса образует основание распыла диаметром (D), определяемым по формуле:

$$D = 2h \cdot \text{tg} \alpha_{\text{ф}}. \quad (14)$$

Перемещая основание факела вдоль канала, образуем на поверхности откоса полосу полива шириной (b), равной диаметру D .

Таким образом, можно сделать вывод, что расход Q насадки и размеры поверхности, на которую выливается эмульсия, зависят от геометрической характеристики насадки.

Для широкого диапазона регулировки расхода (Q) нами предложена новая универсальная конструкция насадки. Диаметры ее сопел будем изменять в следующих величинах: $d_c=20$; $d_c=15$; $d_c=10$; $d_c=5$ мм (патент РБ №3263). При этом, анализируя таблицу,

можно определить геометрические размеры насадки $R_{вх}$, $r_{вх}$ и r_c , которые должны быть соответственно 70; 12,5 и 10 мм.

Надо отметить, что расчет Q для других параметров центробежных насадок аналогичен приведенному выше.

Как отмечалось ранее, чтобы изменять расход Q и угол $\alpha_{ф}$ распыла эмульсии, нами разработана конструкция центробежной насадки с возможностью регулирования диаметра (d_c) сопла, т.е. отверстия выхода эмульсии из насадки (рис. 4). Регулируют Q и $\tan \alpha_{ф}$ с помощью вращающегося диска 9 (см. рис. 4), имеющего ряд отверстий, совмещающихся с центральным отверстием 7 в нижней крышке 5 центробежной насадки.

В таблице приведены технические возможности насадки. Кроме того, вращающийся диск 9 хорошо вдавливается в резиновую прокладку 6 при воздействии на него усилия, создаваемого давлением P (см. рис. 4). В этом случае устраняются потери и обеспечивается необходимая степень равномерности распределения эмульсии по откосам.

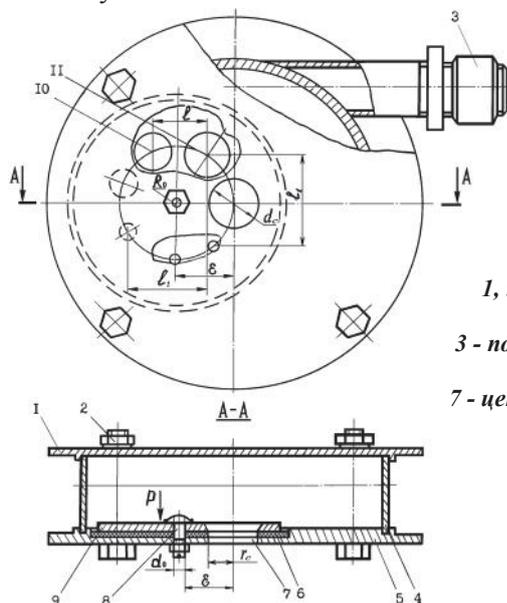


Рис. 4. Конструкция центробежной насадки.
 1, 5 - верхняя и нижняя крышки;
 2 - стяжной болт;
 3 - подводный штуцер; 4 - корпус;
 6 - резиновая прокладка;
 7 - центральное отверстие (сопло);
 8 - ось диска; 9 - диск;
 10, 11 - отверстия в диске

Изучая распределение эмульсии центробежными насадками, необходимо отметить, что равномерное распределение эмульсии по поверхности откосов является многофакторной проблемой, связанной не только с перемешиванием компонентов до получения однородной смеси, конструкцией насадки и приемами нанесения эмульсии на откосы. Равномерное распределение эмульсии в большой степени зависит и от коэффициента заложения откосов, плотности и шероховатости почвы на откосе. Указанные параметры находятся в строгой зависимости от интенсивности дождя суспензии, являющейся одним из основных показателей работы штанг с центробежными насадками.

В практических расчетах пользуются так называемой средней интенсивностью дождя эмульсии. Для определения средней интенсивности используем методику оценки интенсивности искусственного дождя, создаваемого дождевальными машинами.

В этом случае среднюю интенсивность дождя эмульсии (л/с/м²) для гидросеялок с поливочными штангами определим из выражения:

$$r_{cp} = \frac{Q \times i_1}{F_{ly}}, \quad (15)$$

где F_{ly} – площадь откосов участка канала длиной l_y ;

i_1 – количество насадок на штанге.

По имеющимся опытным данным, интенсивность дождя должна соответствовать водопроницаемости почвы, которая при дождевании равна 0,75-0,85 мм/мин для песчаных и супесчаных почв; суглинистых – 0,30-0,50; торфяных – 0,85-0,95 [4].

При этом норма полива воды (м³/га) определяется по формуле А.Н. Костякова [3]:

$$m = 100 \times g \times h (V_{max} - V_{min}) \quad (16)$$

где h – слой почвы, м;

γ – объемный вес слоя h , г/м³;

V_{max} – полевая влагоемкость, % к весу почвы;

V_{min} – предполевая влажность почвы, % к весу почвы.

Тогда норму полива эмульсии (м³/га) определим из выражения:

$$m_{rc} = 100 \times g \times h (B_{max} - B_{min}) \times \tau \quad (17)$$

где $\tau = \Gamma_{сл} / B_{л}$ – коэффициент, учитывающий наличие в эмульсии ВРП;

$\Gamma_{сл}$ – масса одного литра эмульсии, кг;

$B_{л}$ – масса воды в литре эмульсии, кг.

Опыты показывают, что превышение нормы полива эмульсией вызывает образование луж и стекание суспензии с откоса. Кроме того, при $H_{р.г.} > m_{г.с.} / 10^4$ будет происходить смыв почвы, т.е. искусственная эрозия почвы [5].

С увеличением коэффициента заложения откосов каналов действие водной эрозии значительно сильнее.

В связи с этим возникает задача уменьшения стока эмульсии при полной норме внесения ее на единицу укрепляемой площади откоса. Для этого предусмотрено рыхление совместно с террасированием откосов при подготовке их к укреплению методом гидропосева трав. Кроме того, многочисленные опыты показывают, что существует взаимосвязь между эрозийной силой, массой и скоростью капель дождя [2].

В связи с этим проведем анализ скорости движения эмульсии при выходе из сопла центробежной насадки (м/с). Для этого используем формулу [1]:

$$v_3 = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{\frac{1}{\varphi^2} + \frac{A^2}{1-\varphi}}} \quad (18)$$

Из формул следует, что для снижения скорости вылета капль эмульсии из насадка необходимо увеличить его геометрическую характеристику А (см. таблицу).

Теоретическая зависимость скорости V_3 от А показана на рис. 5.

Расчеты к выбору рациональных размеров центробежной насадки универсальной конструкции (H=50 м вод. ст.)

Номер насадки	R _{вх} , мм	σ _{вх} , мм	d _с , мм	A	φ	μ	α _φ = arctgα, град	Q, л/с	V _з , м/с
1	70	30	20	3,111	0,39	0,192	48° = arctg1,136	1,887	6,608
	70	30	15	2,333	0,48	0,269	46° = arctg 1,010	1,487	7,085
	70	30	10	1,555	0,55	0,339	37° = arctg0,762	0,833	9,281
	70	30	5	0,777	0,68	0,488	24° = arctg 0,4602	0,614	15,559
2	70	25	25	5,6	0,30	0,126	57° = arctg1,570	1,935	4,107
	70	25	120	4,48	0,34	0,154	55° = arctg 1,412	1,514	5,01
	70	25	15	3,36	0,40	0,20	51° = arctg1,231	1,106	6,253
	70	25	10	2,24	0,54	0,328	47° = arctg 1,079	0,806	8,268
3	70	20	25	8,75	0,22	0,077	61° = arctg1,829	1,182	2,872
	70	20	20	7,0	0,24	0,0386	58° = arctg1,590	1,030	3,461
	70	20	15	5,25	0,31	0,132	57° = arctg1,517	0,729	4,411
	70	20	10	3,5	0,44	0,222	43° = arctg0,940	0,548	5,20
4	70	20	5	1,75	0,65	0,451	36° = arctg0,716	0,275	9,389
	50	25	25	4	0,4	0,20	55° = arctg1,466	3,068	5,46
	50	25	20	3,2	0,44	0,233	52° = arctg1,280	2,290	6,465
	50	25	15	2,4	0,52	0,31	49° = arctg1,178	1,714	7,901
5	50	25	10	1,6	0,575	0,36	40° = arctg0,849	0,884	10,407
	50	20	25	6,25	0,29	0,12	59° = arctg 1,697	1,841	3,827
	50	20	20	5	0,33	0,146	56° = arctg1,533	1,435	4,591
	50	20	15	3,75	0,38	0,184	52° = arctg1,310	1,017	5,400
	50	20	10	2,5	0,45	0,242	31° = arctg0,510	0,594	7,753

$V_3, \text{ м/с}$

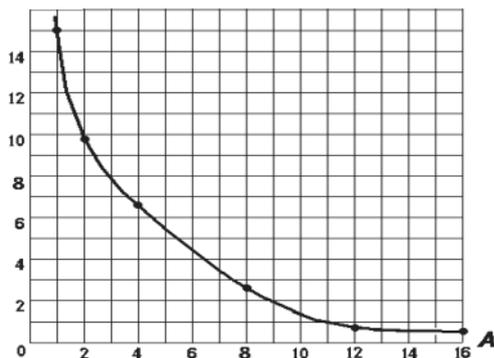


Рис. 5. Зависимость скорости движения эмульсии при выходе из центробежной насадки от ее геометрической характеристики (при $H=50$ м вод. ст.).

Для того, чтобы не происходило перемещение почвы на откосе при ударе капель эмульсии, будем производить выбор геометрической характеристики центробежной насадки, исходя из условия, что скорость V_3 не превышает конечной скорости капель естественного дождя, которая по опытным данным равна 7...8 м/с. Тогда из рис. 5 видно, что геометрическая характеристика центробежной насадки (A) для качественного распределения эмульсии должна быть больше 3.

В таблице приведены результаты теоретических расчетов характеристик для разных центробежных насадок от их конструктивных параметров $R_{вх}$, $r_{вх}$, r_c , которые можно использовать и для других целей. Например, анализируя результаты расчетов конструкций универсальных насадок, можно сделать выбор одной из них для распределения эмульсии на основе раундапа на кустарниковую растительность с целью ее уничтожения. В этом случае выбор насадки рекомендуется вести по наибольшей скорости выхода эмульсии из сопла, что обеспечит лучшее проникновение капель в листовую часть кустарника.

Таким образом, теоретический анализ работы универсальной центробежной насадки выявил зависимости ее гидравлических характеристик от геометрических параметров.

Литература

1. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А. и др. Распыливание жидкостей. – М.: Изд-во Машиностроение, 1977. – 208 с.
2. Шведис А.И. Закрепление почв на склонах. – Л.: Колас, 1974. – 181 с.
3. Костяков А.Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1960 – С.15-18.
4. Шнип С.А. Биологические способы крепления откосов каналов, плотин и дамб. – Мн.: Ураджай, 1980. – С.62-63.
5. Кондратьев В.Н. и др. Пособие по укреплению откосов каналов, дамб и плотин гидропосевом трав с применением водорастворимых синтетических полимеров. – Мн.: БелНИИМиЛ, 1997. – 75 с.

Резюме

На основании теоретических исследований распределения эмульсий поливочной штангой с центробежными насадками разработана методика расчета универсальной центробежной насадки, позволяющей изменять свою геометрическую характеристику в пределах от 2 до 4,5. Определены численные значения коэффициента расхода насадки, заполнения сопел, углы распыла, расходы и скорости движения эмульсии на выходе из сопел в зависимости от геометрических характеристик. Конструкция (патент РБ №3263) может быть использована для нанесения эмульсий на основе раундапа на кустарниковую растительность с целью ее уничтожения.

Ключевые слова: мелиорация, скорость движения эмульсии, гидропосев трав.

Summary

Kondratyev V., Karlovskiy V., Samburskiy G. Theoretical investigation of distribution of emulsion by watering boom having centrifugal nozzle.

On the basis of theoretical investigations of distribution of emulsions by watering boom having centrifugal nozzle, procedure for calculation of a universal centrifugal nozzle with variable the geometrical characteristic in limits from 2 to 4,5 was developed. The numerical values of coefficients: discharge of a nozzle, filling of orifices, angles spraying, emulsion flow rates and velocities at nozzle outlet in dependence on the geometrical characteristics are determined. The design (patent of the Republic of Belarus No.3263) can be utilized to apply emulsions on the basis of the "Roundup" shrub vegetation with the purpose to annihilate it.

Key words: land reclamation, emulsion flow rate, hydrosowing of grass.