

УДК 626.861.5: 624.1.37.2

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СЕМЯН ТРАВ И ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ИХ В ТРУБОПРОВОДАХ

**В.Н. Кондратьев**, доктор технических наук, профессор  
(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

Способность семян трав плавать в жидкости называется флотационностью. Наиболее важными параметрами, влияющими на флотационность, являются размеры, форма, плотность и специфика взаимодействия семян с жидкостью. Флотационные свойства разных видов смеси семян являются одним из показателей, оказывающих влияние на равномерное распределение бобовых и злаковых семян трав по всему объему цистерны и последующее порционное рассеивание по укрепляемому откосу.

Если жидкость с семенами трав не перемешивать, то семена травосмеси могут принимать в ней три состояния: 1 – семена тонут; 2 – плавают по поверхности жидкости ( $P_b > G_c$ ); 3 – плавают в погруженном состоянии ( $P_b = G_c$ ).  $P_b$  – взвешивающее давление;  $G_c$  – вес семян.

Из этого следует, что флотационные свойства семян являются характеристикой расслоения суспензии, которое отрицательно влияет на энергетические показатели гидросеялки. При этом скоростную характеристику расслоения смеси можно описать гидравлической крупностью семян, определяемой скоростью падения отдельных компонентов травосмеси в спокойной воде.

Гидравлическую крупность семян определяли по следующей методике.

Из каждого биологического вида трав брали навески по 100 штук семян и бросали отдельные семена поочередно в стеклянный сосуд диаметром 100 мм и высотой 2 м, наполненный водой при температуре 20°C. Секундомером измеряли время прохождения семечком расстояния, равного 1 м.

Результаты определения гидравлической крупности семян, полученные совместно с кандидатом технических наук Р. Роголя, приведены в таблице.

Как и следовало ожидать, в отличие от гидравлической крупности частиц других материалов (минеральных удобрений, торфокрошки, опилок и т.д.), гидравлическая крупность семян изменяется в широком пределе, равном 0,0313-0,1356 м/с. В связи с этим возникает необходимость разработки математической модели в виде полинома второго порядка, описывающей качественные показатели процесса перемешивания суспензии, обеспечивающего равномерное распределение семян по всему объему цистерны гидросеялки. На основании решения математической модели определены оптимальные параметры элементов перемешивающего устройства [1].

**Гидравлическая крупность семян культур**

Семена культур	Гидравлическая крупность, м/с	
	среднее значение	доверительный интервал
Люпин многолетний	0,0814	$1,3 \cdot 10^{-3}$
То же	0,1356	$2,1 \cdot 10^{-3}$
Тимофеевка	0,0313	$7,2 \cdot 10^{-3}$
Клевер луговой	0,0409	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Люцерна	0,0495	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Кострец безостый	0,0747	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Мятлик луговой	0,0448*	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Овсяница красная	0,0499*	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Райграс пастбищный	0,0479*	$1,9 \cdot 10^{-3}$

\* Гидравлическая крупность не тонущих семян, которую определяли замером времени прохождения расстояния, равного 1 м при всплывании их со дна стеклянного сосуда.

В результате реализации многофакторного эксперимента получено эмпирическое уравнение, описывающее равномерность перемешивания смеси трав в цистерне (в %) емкостью 4,5...5 м<sup>3</sup>, длиной 2...2,5 м, следующего вида:

$$Q = 0,003 \cdot \omega_m^2 + 110 \cdot d_m^2 + 0,776 \cdot \omega_m \cdot d_m - 0,212 \cdot \omega_m - 339,706 \cdot d_m - 0,8 \cdot n_l + 184,016, \quad (1)$$

где  $\omega_m$  – частота вращения мешалки, мин<sup>-1</sup>;

$n_l$  – число пар лопастей мешалки, шт;

$d_m$  – диаметр мешалки, м.

Уравнение (1) справедливо в следующем диапазоне изменения параметров:

$$80 \leq \omega_m \leq 140$$

$$4 \leq n_l \leq 8 \quad (2)$$

$$0,5 \leq d_m \leq 0,70.$$

Нами определено, что расслоение суспензии происходит в течение 5...8 с после остановки мешалки. Таким образом, установлена необходимость непрерывного перемешивания суспензии во время всего технологического процесса ее приготовления для распределения по откосам каналов и дорог.

Оптимальные размеры перемешивающего устройства и режима работы следующие:  $d_m = 0,55-0,56$  м;  $n_l = 6$ ; ширина лопасти на входе 120 мм, ширина лопасти на выходе 100 мм, частота вращения вала мешалки 100-115 мин<sup>-1</sup>.

Надо отметить, что гидравлическая крупность частиц отражает характер движения суспензии в трубопроводах коммуникаций гидросеялки. Для того чтобы суспензия подавалась стабильно к распределительным устройствам, необходимо обеспечить скорость транспортирования ее  $v_{рс}$  выше критической ( $v_{кр}$ ).

Следовательно, при  $v_{рс} < v_{кр}$  трубопроводы гидросеялки будут забиваться, нарушая непрерывность технологического процесса. Из литературных источников известен ряд формул, по которым определяют критическую скорость ( $v_{кр}$ ) движения частиц грунта по напорным пульповодам [2].

Наибольший интерес для предварительного определения критической скорости ( $v_{кр}$ ) передвижения семян в трубопроводе представляет формула Г.Н. Роера:

$$v_{кр} = 8,72 \cdot D^{0,473} \cdot \gamma_n - \gamma_0 \cdot W^{0,326} \cdot \frac{\gamma^{0,0814}}{\Delta^{0,17}}, \text{ м / с,} \quad (3)$$

где  $D$  — диаметр трубопровода, м;

$\gamma_n$  — плотность пульпы (суспензии), т/м<sup>3</sup>;

$\gamma_0$  — плотность воды;

$\gamma_t$  — плотность частиц (семян);

$\Delta$  — активная шероховатость у дна трубопровода, м;

$$\Delta = d_{95}^{0,6} + 0,5 \cdot \left( \frac{\gamma_n}{1,075} \right)^{5,88}, \quad (4)$$

$d_{95}$  — диаметр частиц, мм, меньше которых содержится по массе 95 %.

Из формулы (4) следует, что на критическую скорость транспортирования частиц большое влияние оказывают плотность суспензии, гидравлическая крупность компонентов и диаметр трубопроводов коммуникаций гидросеялки.

Плотность суспензии конкретной группы сложности определим по формуле:

$$\gamma_{p.c.} = \frac{100 + \Pi}{100 + \frac{\Pi}{\gamma_k}}, \text{ т / м}^3, \quad (5)$$

где  $\Pi$  — содержание компонентов в суспензии, вычисленное в % от массы воды;

$$\gamma_k = \frac{1}{m_2} \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_1} \gamma_{mi} + \sum_{i=1}^{n_2} \gamma_{yi} + \sum_{i=1}^{n_3} \gamma_{mi} + \sum_{i=1}^{n_4} \gamma_{п.м} \right), \quad (6)$$

здесь  $\gamma_k$  — плотность компонентов в плотной массе без пор, т/м<sup>3</sup>;

$m_2$  — количество компонентов, составляющих суспензию;

$\gamma_{mi}$ ,  $\gamma_{yi}$ ,  $\gamma_m$  и  $\gamma_{п.м}$  — плотность частиц семян, удобрений, мульчирующего и пленкообразующего материала.

Рассмотрим менее сложную суспензию, состоящую из воды, семян трав и минеральных удобрений.

Теоретические исследования показывают, что плотность суспензии зависит от степени насыщения ее частицами твердых компонентов, т.е. от массовой консистенции, определяемой по формуле:

$$M_s = \frac{\gamma_{p.c} - \gamma_0}{\gamma_k - \gamma_0} \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma_{p.c}}. \quad (7)$$

Для суспензии среднюю плотность компонентов в плотной массе без пор определим из выражения:

$$\gamma_k = \frac{1}{m_s} \cdot \left( \sum_{i=1}^{n_1} \gamma_{m_i} + \sum_{i=1}^{n_2} \gamma_{y_i} \right) \quad (8)$$

При этом изменение консистенции суспензии, составленной по рекомендуемым нормам внесения компонентов, активно влияет на изменение технико-экономических показателей технологического цикла укрепления земляных сооружений гидропосевом трав.

Следовательно, в производственных условиях необходимо стремиться к использованию суспензий с консистенцией, ограниченной технической возможностью гидросеялок.

Используя полученные формулы, критическую скорость транспортирования суспензии по трубопроводам к распределительным органам целесообразно определять с учетом наибольшей крупности частиц транспортируемых компонентов. Такими компонентами в суспензии являются семена многолетних трав, крупность которых превышает крупность частиц минеральных удобрений в 5...10 раз.

Благодаря экспериментальным и литературным данным о свойствах семян удалось получить приближенные формулы расчета критических скоростей транспортирования суспензии.

Исходя из изложенного, при использовании формулы (3) получены зависимости, описывающие критические скорости транспортирования семян трав соответственно для клевера красного  $v_{кр}^k$ , люцерны  $v_{кр}^л$ , тимopheевки  $v_{кр}^m$ , костреца беззостого  $v_{кр}^{кб}$ , мятлика лугового  $v_{кр}^м$ , овсяницы красной  $v_{кр}^o$ , райграса пастбищного  $v_{кр}^{рп}$  (плотность суспензии 1,1 т/м<sup>3</sup>)

$$v_{кр}^k = 2,074 \cdot D^{0,473} \quad (9)$$

$$v_{кр}^л = 2,025 \cdot D^{0,473} \quad (10)$$

$$v_{кр}^m = 2,266 \cdot D^{0,473} \quad (11)$$

$$v_{кр}^{кб} = 1,677 \cdot D^{0,473} \quad (12)$$

$$v_{кр}^м = 1,890 \cdot D^{0,473} \quad (13)$$

$$v_{кр}^o = 1,895 \cdot D^{0,473} \quad (14)$$

$$v_{кр}^{рп} = 1,911 \cdot D^{0,473} \quad (15)$$

В случае увеличения плотности суспензии до 1,25 формулы (9-15) примут вид:

$$v_{кр}^k = 2,540 \cdot D^{0,473} \quad (16)$$

$$v_{кр}^л = 2,646 \cdot D^{0,473} \quad (17)$$

$$V_{кр}^m = 2,476 \cdot D^{0,473} \quad (18)$$

$$V_{кр}^{кб} = 2,057 \cdot D^{0,473} \quad (19)$$

$$V_{кр}^{кб} = 2,414 \cdot D^{0,473} \quad (20)$$

$$V_{кр}^o = 2,380 \cdot D^{0,473} \quad (21)$$

$$V_{кр}^{рп} = 2,343 \cdot D^{0,473} \quad (22)$$

Из приведенных данных видно, что семена отдельных трав требуют разных критических скоростей транспортирования в трубопроводах.

Следовательно, критическую скорость транспортирования травосмеси следует выбирать по одному из видов семян, имеющих наибольшую критическую скорость при наибольшей плотности суспензии (рис. 1).

Тогда диаметр трубопроводов коммуникаций гидросеялок определим из выражения (23):

$$\frac{4Q}{\pi \cdot D^2} \geq v_{кр}, \text{ т.е. } \frac{4Q}{\pi \cdot D^2} \geq 2,476 \cdot D^{0,473}, \quad (23)$$

где  $Q$  – расход суспензии, пропускаемой по трубопроводам, м<sup>3</sup>/с.

После несложных преобразований имеем следующее неравенство, характеризующее зависимость диаметра трубопроводов от расхода суспензии (25):

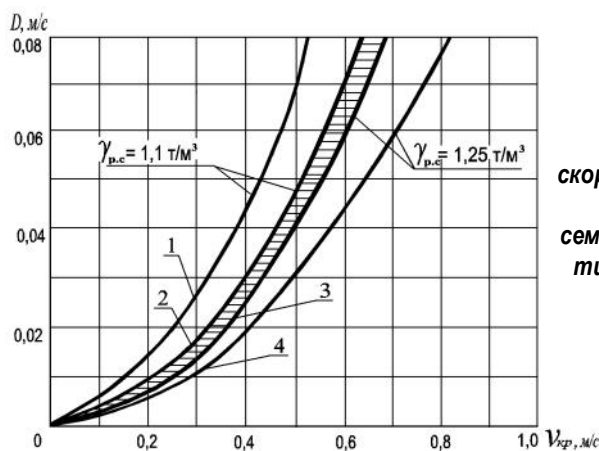
$$\frac{\ell_n Q - \ell_n^{2,179}}{2,473} \geq \ell_n D. \quad (24)$$

Откуда

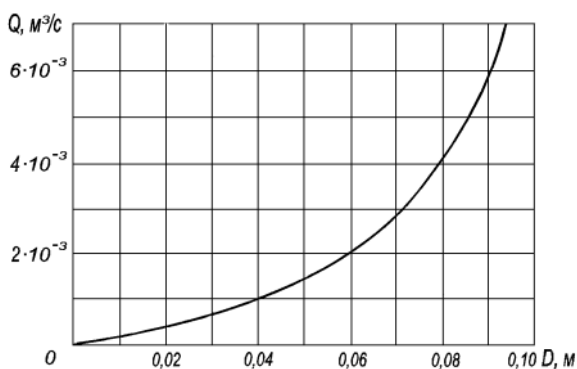
$$D \leq \left( \frac{Q}{2,179} \right)^{\frac{1}{2,473}}, \text{ м.} \quad (25)$$

На рис. 1 показаны кривые, характеризующие зависимости критических скоростей транспортирования расходов суспензии с плотностью 1,1 и 1,25 т/м<sup>3</sup> от диаметров трубопроводов коммуникаций гидросеялок. Кривые показывают, что для суспензий, насыщенных твердыми частицами разных размеров, например семенами трав, необходимо подбирать диаметр трубопроводов, обеспечивающий широкий диапазон заданных расходов ( $Q$ ) и критических скоростей ( $v_{кр}$ ), гарантирующих надежный непрерывный технологический процесс подачи смесей к рабочим органам гидросеялки, а на рис. 2 показана зависимость диаметра от расхода суспензии плотностью 1,25 т/м<sup>3</sup>.

Следовательно, формулу (25) необходимо уточнять при экспериментальных исследованиях посредством поправочных коэффициентов. Для этого надо изучить изменение потерь напора в трубопроводах коммуникаций гидросеялок в зависимости от конси-



**Рис. 1. Зависимость критической скорости транспортирования суспензии различной плотности, состоящей из семян костреца безостого (кривые 1,3) и тимофеевки (кривые 2, 4), минеральных удобрений и воды, от диаметра трубопроводов коммуникаций.**



**Рис. 2. Зависимость диаметра трубопроводов коммуникаций гидросеялки от расхода суспензии плотностью 1,25 т/м³.**

стенции и скорости транспортировки суспензий из выражения:

$$K_{p.c} = \frac{i_{p.c}}{i_b}, \quad (26)$$

где  $i_{p.c}$ ,  $i_b$  – соответственно потери напора при транспортировании суспензии и воды по коммуникациям гидросеялки, МПа.

Таким образом, исходя из анализа технологических процессов, нами рассмотрены простейшие составы суспензий, предлагаемые для использования в мелиоративном строительстве. Однако, известно, что значительное влияние на показатели технологического процесса и работоспособность гидросеялок оказывают суспензии, в состав которых входят мульчирующие и пленкообразующие материалы.

Поэтому рассмотрим варианты использования сложных для транспортирования в трубопроводах суспензий.

Сопоставление процессов транспортирования семян трав и опилок или частиц рубленой соломы длиной до 70 мм показывает, что процессы в целом аналогичны. Однако имеются и некоторые отличия. Норма внесения опилок или соломы на единицу укрепляемой площади зависит от толщины мульчирующего слоя и превышает норму

( $H_m$ ) высева семян в 20-40 раз. Доставка такого количества частиц мульчирующего материала на откосы каналов требует повышения расхода воды в 2,5-5 раз, что во столько же раз снижает производительность гидросеялки. При этом частицы опилок или рубленой соломы вместе с семенами трав образуют в воде несвязные смеси, процессы транспортирования которых в трубопроводах коммуникаций подчиняются рассмотренным закономерностям.

Следовательно, в этом случае при разработке коммуникаций гидросеялок будем пользоваться формулой (25). Кроме того, анализ массы и размеров частиц опилок и соломы показывает, что их физико-механические свойства являются идентичными свойствам средних и крупнозернистых семян трав, например, райграса, костреца безостого и т.п. Поэтому при рассмотрении задачи о равномерном распределении частиц соломы и опилок по наклонным плоскостям используем теоретические основы, характерные для распределения семян трав.

#### **Литература**

1. Кондратьев В.Н. Разработка технологий и средств механизации для биологических закрепленных откосов: Дис. докт. техн. наук. – Мн., 1995. – 200 с.
2. Царевский А.М. Гидромеханизация мелиоративных машин. – Л.: Машиностроение, 1963. – С. 103-118.

#### **Резюме**

Исследования флотационных свойств семян трав и их передвижения в закрытых трубопроводах гидросеялки показали, что скорость транспортирования суспензии целесообразно определить с учетом крупности семян многолетних трав, так как они крупнее частиц минеральных удобрений в 5-10 раз.

**Ключевые слова:** суспензия, семена трав, трубопровод, критическая скорость, гидравлическая крупность.

#### **Summary**

#### ***Kondratiyev V. Theoretical investigations of flotation properties of grass seeds and moving the seeds in pipelines***

Investigations of flotation properties of grass seeds and moving in the closed pipelines of a hydroseeder have shown the speed of transportation of a suspension is expedient to determine with due account of seed size, since they are larger than particles of mineral fertilizers by 5-10 of times.

**Keywords:** suspension, grass seeds, pipeline, limiting speed, fall velocity.