

**А.И. Петрашев<sup>1</sup>**, доктор технических наук, старший научный сотрудник

**А.М. Губашева<sup>2</sup>**, магистр

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов, РФ

<sup>2</sup>НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск

## ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МАГИСТРАЛИ ПОДАЧИ ЗАЩИТНОГО СОСТАВА НА РАСПЫЛЕНИЕ

### Аннотация

Для повышения производительности консервации сельскохозяйственной техники с использованием ингибированного мазутного состава, исследованы гидравлические сопротивления в путях их подачи через сопло пистолета-распылителя. Определена величина произведения коэффициента гидравлического сопротивления на число Рейнольдса, которая остается практически неизменной и равной:  $\square Re = 71,4$ . При этом 96,5 % затрат давления приходится на преодоление гидравлических сопротивлений в шланге со спиралью и в сопле пистолета-распылителя.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственная техника, защитный состав, напорный резервуар, пистолет-распылитель, гидравлическое сопротивление, расход состава.

Производительность консервации сельскохозяйственных машин зависит от технических возможностей применяемого оборудования [1] и реологических свойств защитного состава, влияющих на его расход.

Магистраль (рисунок 1) подачи состава из напорного резервуара 1 включает выпускной патрубок 2, кран 3, шланг 5 со спиралью, соединительные штуцера 4. В пистолете-распылителе имеется канал 6 для состава и сопло, перекрываемое иглой.

При гидравлическом расчёте магистрали подачи состава требуется учитывать не только падение давления по длине, но и в местах изменения сечения магистрали: в соединениях, патрубках, штуцерах. [2, 3].

Давление  $p_в$  сжатого воздуха в напорном резервуаре затрачивается на преодоление сопротивления движению состава по длине каналов патрубка, шланга, пистолета-распылителя, в штуцерах, а также на придание составу кинетической энергии при истечении из сопла пистолета-распылителя:

$$p_в = \Delta p_д + \Delta p_м + \Delta p_с - \Delta p_э, \quad (1)$$

где  $\square p_д$  – падение давления по длине каналов, Па;

$\square p_м$  – падение давления в местных сопротивлениях (при изгибах каналов в патрубке, шланге, изменении сечений в штуцерах и кране), Па;

$\square p_с$  – затраты давления при истечении состава из сопла, Па;

$\square p_э$  – давление разрежения перед соплом при распылении состава, Па.

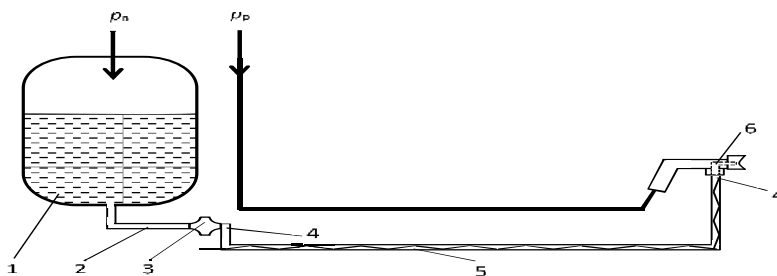


Рисунок 1. Схема подачи защитного состава на распыление

Падение давления по длине всех участков магистрали подачи определяют по формуле Дарси-Вейсбаха [4]:

$$\Delta p_{\partial} = \sum \lambda_i \frac{L_i \rho_k u_i^2}{2d_i}, \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  - коэффициент гидравлического трения в канале  $i$ -го участка;

$L_i$  - длина  $i$ -го участка, м;

$\rho_k$  - плотность состава, кг/м<sup>3</sup>;

$d_i$  - диаметр канала  $i$ -го участка, м;

$u_i$  - средняя скорость движения состава по каналу  $i$ -го участка, м/с.

Давление  $\square p_3$  разряжения перед соплом возникает за счет эжектирующего действия воздушной струи, распыливающей защитный состав при его истечении из сопла. Величина давления разряжения зависит от давления  $p_p$  распыления:

$$\Delta p_3 = f(p_p). \quad (3)$$

Проведение расчётов по данным формулам достаточно сложно, так как неизвестны коэффициенты гидравлического трения -  $\lambda_i$ , которые зависят от скорости  $u_i$  движения состава. Неизвестны значения эквивалентных длин в местных сопротивлениях. Поэтому имеется необходимость в обосновании подхода, упрощающегося расчёт потерь давления.

Суммарные потери давления по длине магистрали подачи и в местных сопротивлениях:

$$\Delta p_{\partial} + \Delta p_m = \frac{2q_k v_k}{\pi} \sum (\lambda_i Re_i) \cdot (1 + k_{экв}) \frac{L_i}{d_i^4}. \quad (4)$$

Таким образом, чтобы рассчитать суммарные потери давления по длине трубопроводов и в местных сопротивлениях, необходимо знать значения параметров  $\lambda_i$ ,  $Re_i$ ,  $k_{экв}$  в каждом сечении участка магистрали подачи. Опытным путём установить значения указанных параметров достаточно сложно.

Для упрощения расчётных формул допустим, что в области ламинарного течения при расходе состава до 10 г/с произведение указанных параметров постоянно на всех участках магистрали подачи. Выразив это произведение через приведенную величину, запишем:

$$(\lambda_i Re_i) \cdot (1 + k_{экв}) = (\lambda Re) = \text{const}, \quad (5)$$

где  $(\lambda Re)$  - приведенная величина произведения параметров сопротивления.

С учётом допущения, уточним формулу для определения суммарных потерь давления по длине каналов магистрали подачи, пистолета-распылителя и в местных сопротивлениях:

$$\Delta p_{\partial} + \Delta p_m = \frac{2q_k v_k}{\pi} (\lambda Re) \left[ \frac{L_n}{d_n^4} + \frac{L_{ш}}{d_{ш}^4} + \frac{L_m}{d_m^4} + \frac{L_p}{d_p^4} \right], \quad (6)$$

где  $L_n$ ,  $L_{ш}$ ,  $L_m$ ,  $L_p$  - длины каналов в трубке, шланге, штуцере, пистолете-распылителе и соответствующие им диаметры -  $d_n$ ,  $d_{ш}$ ,  $d_m$ ,  $d_p$ , м.

Подставляя выше приведенные формулы в уравнение (1), определим искомое давление  $p_в$  сжатого воздуха в напорном баке:

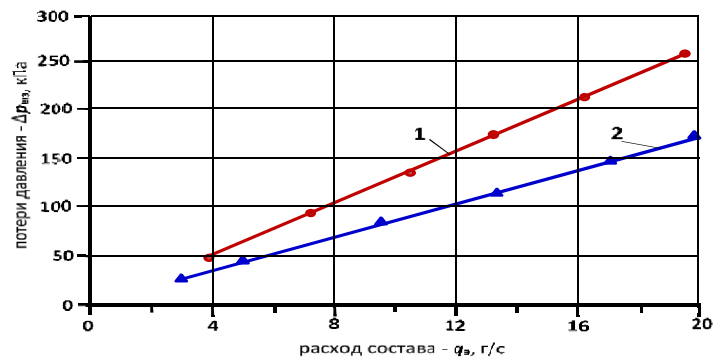
$$p_в = \frac{2q_k v_k}{\pi} (\lambda Re) \left[ \frac{L_n}{d_n^4} + \frac{L_{ш}}{d_{ш}^4} + \frac{L_m}{d_m^4} + \frac{L_p}{d_p^4} \right] + \frac{120q_k v_k}{\pi d_c^3} + \frac{13,6q_k^2}{\pi \rho_k d_c^4} + f(p_p). \quad (7)$$

При давлении  $p_в$ , рассчитанном по формуле (7), защитный состав вязкостью  $\nu_k$  может быть подан из напорного резервуара на распыление с расходом  $q_k$ . Для того, чтобы выполнять расчёты по формуле (7), необходимо экспериментально установить значения произведения  $(\lambda Re)$  и зависимости  $f(p_p)$ .

Так как выдачу защитного состава из резервуара осуществляют в нагретом до 40 °С состоянии, при котором его динамическая вязкость  $\eta = 0,18$  Па·с (кинематическая  $\nu_k$

= 193 мм<sup>2</sup>/с), то в качестве экспериментального состава использовали ингибированный мазутный состав, с плотностью 930 кг/м<sup>3</sup> имеет примерно такую же кинематическую вязкость –  $\nu_3 = 184 \text{ мм}^2/\text{с}$  ( $0,000184 \text{ м}^2/\text{с}$ ).

Потери давления на входе и выходе из шланга измеряли лабораторными манометрами с точностью до 0,5 кПа. Таким путем определяли гидравлическое сопротивление шланга ( $\square p_{ш}$ ) без спирали и гидравлическое сопротивление шланга ( $\square p_{шс}$ ), оснащенного спиралью, при течении состава вязкостью 184 мм<sup>2</sup>/с (рисунок 2).



Исполнение шланга: 1 – со спиралью; 2 – без спирали

Рисунок 2. Изменение потерь давления  $\square p_{ш}$  в шлангах в зависимости от расхода  $q_3$  защитного состава

Экспериментально установлено, что потери давления в шланге, оснащенный спиралью, были на 60 % выше, чем в шланге без спирали. По данным исследования коэффициент сопротивления спирали:  $k_s = 1,6$ .

Экспериментальные значения коэффициента  $\square_3$  трения и числа Рейнольдса  $Re_3$  для гладкого шланга (без спирали) вычисляли по формулам [6]:

$$\lambda_3 = \frac{\Delta p_{ш} \cdot \pi^2 d_{ш}^5 \rho}{8 L_{ш} q^2}, \quad Re_3 = \frac{4q}{\pi d_{ш} \nu_k}$$

Произведение этих величин зависит от отношения потерь давления к расходу:

$$(\lambda Re)_3 = \frac{\pi d_{ш}^4}{2 L_{ш} \nu_k} \cdot \frac{\Delta p_{ш}}{q}$$

Результаты обработки опытных данных сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты исследования гидравлического сопротивления магистрали подачи

Наименование показателей	Значения показателей				
	1	2	3	4	5
Расход состава, $q$ , кг/с	0,004	0,008	0,012	0,016	0,02
Число Рейнольдса, $Re$	2,9	5,9	8,8	11,7	14,6
Коэффициент гидравлического сопротивления, $\square$	24,9	12,1	8,1	6,1	4,9
Произведение $(\square Re)_3$	72,1	71,3	71,2	71,1	71,2

Увеличение расхода  $q$  в 5 раз фактически не повлияло на произведение  $(\square Re)_3$ , что указывает на отсутствие корреляционной связи между ним и расходом  $q$  в рамках данного исследования. По данным таблицы 1 среднее значение произведения  $(\square Re)_3 = 71,4$ . Полученная величина произведения  $(\square Re)_3$  коррелирует с данными, приведенными В.С. Гейером и соавторами в [7]. Они полагают, что эта величина зависит от формы поперечного сечения, состояния трубопровода, от вида, числа и расположения зон местных сопротивлений. Для маслопроводов они рекомендуют принимать  $(\square Re) = 75$ .

При пневматическом нанесении защитного состава из распылительной головки пистолета-распылителя выходит струя воздуха, которая создает разрежение перед соплом и способствует большей подаче защитного состава на распыление. Эжектирующее действие воздушной струи исследовали на пневматическом пистолете-распылителе СО-71 (рисунок 3).

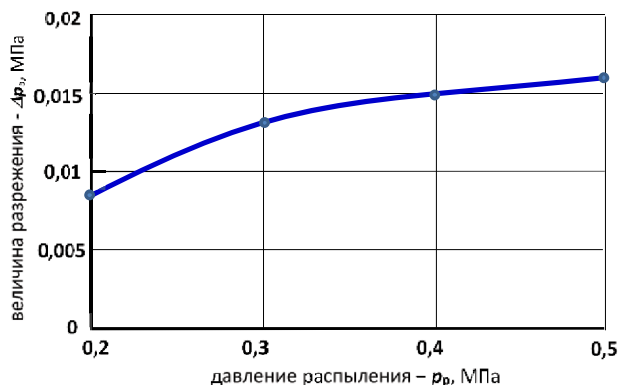


Рисунок 3. Влияние давления  $p_p$  распыляющего воздуха на величину разрежения  $\Delta p_э$  в сопле пистолета-распылителя

Давление воздуха на распыление состава пистолетом-распылителем СО-71 составляет 0,3-0,4 МПа [7].

При расчете гидравлических потерь, сопутствующих процессу нагнетания состава на распыление, учтены параметры магистрали подачи, включающей патрубков –  $L_{п} = 0,2$  м,  $d_{п} = 0,015$  м; два штуцера –  $L_{т} = 0,08$  м,  $d_{т} = 0,0075$  мм; шланг –  $L_{ш} = 10$  м,  $d_{ш} = 0,01$  м; а также параметры пистолета-распылителя СО-71: канал –  $L_p = 0,08$  м,  $d_k = 0,007$  м; сопло –  $d_c = 0,0018$  м. Расход состава –  $q_k = 0,006$  и  $0,0083$  кг/с; вязкость состава кинематическая –  $\nu_k = 0,000193$  м<sup>2</sup>/с соответствует температуре 40 °С, плотность –  $\rho_k = 930$  кг/м<sup>3</sup>.

Расчеты по формуле показали, что распределение гидравлических потерь давления при подаче состава из напорного резервуара на распыление, следующее: в шланге – 71,5 %, в сопле пистолета-распылителя – 25 %, в штуцерах – 2,3 %, каналах пистолета – 1 %, в патрубке – 0,2 %. Эти данные представлены на диаграмме (рисунок 4). Сравнительный анализ показывает, что 96,5 % потерь давления приходится на шланг со спиралью и сопло пистолета-распылителя.

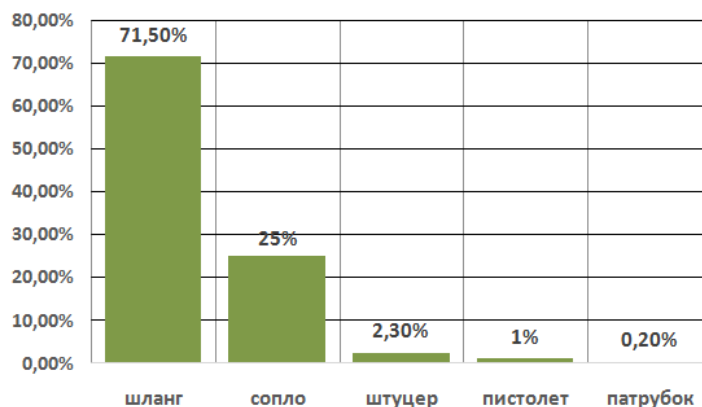


Рисунок 4 – Распределение гидравлических потерь в элементах магистрали подачи и пистолета-распылителя

В результате проведенных исследований упрощена зависимость для расчета величины давления воздуха в резервуаре, которое необходимо создать, чтобы расход состава при нанесении соответствовал техническим возможностям распылительного оборудования.

Установлено, что при ламинарном движении защитного состава по магистрали подачи, величина произведения коэффициента гидравлического сопротивления на число Рейнольдса остается практически неизменной и равной:  $\square Re = 71,4$ . При этом 96,5 % затрат давления приходится на преодоление гидравлических сопротивлений в шланге со спиралью и в сопле пистолета-распылителя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрашев, А.И. Научно-технические основы механизации процессов консервации аграрной техники / А.И. Петрашев, С.Н. Сазонов, В.В. Клепиков // Вестник МичГАУ. - 2014. - № 4. - С. 61-67.

2. Петрашев, А.И. Анализ гидравлического сопротивления магистрали подачи консервационной жидкости на распыление / А.И. Петрашев, В.В. Клепиков / Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: матер.международ. научно-практич. конференции, Минск, Белорусский ГАТУ. – Минск: изд-во БГАТУ, 2013. - С. 108-113.

3. Петрашев, А.И. Новый подход к расчету гидравлического сопротивления напорной магистрали / А.И. Петрашев, В.В. Клепиков // Наука в центральной России. - 2013. - № 5. - С.54-59.

4. Рабинович, Е.З. Гидравлика. Учебное пособие для вузов / Е.З. Рабинович. - М.: Недра, 1980. – 278 с.

5. Петрашев, А.И. Экспериментальные закономерности пневмораспыления консервационных материалов / А.И. Петрашев, В.Д. Прохоренков, В.В. Клепиков, Ф.Д. Таха // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 120. – С. 59-63.

6. Петрашев, А.И. Совершенствование технологических процессов и ресурсосберегающих средств консервации сельскохозяйственной техники при хранении: дис. ...д-ра техн. наук: 05.20.03. / Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова / Петрашев Александр Иванович. – Тамбов. – 2007. – 400 с.

7. Гейер, В.Г. Гидравлика и гидропривод. - 3-е изд. / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря. – М.: Недра, 1991. – 331 с.

#### ТҮЙІН

Ауылшаруашылық техникасын тат тежегішімен араластырыған мазут қоспасымен сақтауға қою өнімділігін арттыру мақсатында, сақтау құрамының пистолет-шашыратқыш шүмегі арқылы беріліс жолдарындағы гидравликалық кедергілері зерттелген. Гидравликалық кедергінің Рейнольдс санына қатысты туынды шамасы анықталған, ол еш өзгеріссіз және  $\square Re = 71,4$  тең. Сол туынды шамасында қысымның 96,5 % пайызы ораммен жабдықталған шлангада және пистолет-шашыратқыш шүмегінде жойылатыны анықталды.

#### RESUME

To increase the productivity of conservation of fuel oil, the hydraulic resistance in the way of their supply through the nozzle of the spray gun was investigated. The value of the product of the coefficient of hydraulic resistance by the Reynolds number is determined, which remains practically unchanged and equal. At the same time, 96.5% of the pressure expenditure is due to overcoming the hydraulic resistance in the hose with a spiral and in the nozzle of the spray gun.