

Как разместить форсунки RUSA в рабочей зоне виброгрохота

Целью данной статьи является определить зависимости, необходимые для вычисления количества форсунок одного типа, требуемого для орошения движущейся породы в рабочей зоне виброгрохота, в зависимости от:

- требуемого увлажнения,
- сечения форсунки,
- давления воды,
- высоты и угла установки форсунки над движущейся породой.

В статье подробно рассмотрим характеристики форсунки RUSA, а именно	
Описание конструкции форсунки и её факела распыления	2
Вывод формул расчёта увлажнения породы	3
• Какой объёмный расход воды через форсунку?	
• Какая длина отрезка, на которую форсунка распределяет воду?	
Алгоритмы подбора параметров системы орошения	5
• Сколько форсунок в ряду?	5
• Какая высота установки форсунок при заданном количестве?	6
• Какое необходимо рабочее давление?	6
Выводы	7
Дополнительные рекомендации по установке форсунок и конструкции грохота	7

Отметим, что в статье не рассматривается математическая модель работы форсунки и распределение воды в факеле форсунки, полученное экспериментально или теоретически – путём построения математической модели. Исходя из опыта применения форсунок RUSA, а также, основываясь на фото и видеоматериалах, в проведённых расчётах принято допущение, что форсунки распределяют воду равномерно по всей линии увлажнения.

Описание конструкции форсунки и её факела распыления

Форсунка распылительная предназначена для работы в составе виброгрохота для увлажнения породы. Форсунка устанавливается неподвижно, увлажняемая порода движется мимо форсунки. Для увлажнения полосы породы необходимой ширины устанавливают несколько форсунок в ряд, при необходимости для более сильного увлажнения устанавливают несколько рядов форсунок. Общий вид форсунки и установка увлажняющих форсунок в составе виброгрохота иллюстрируют следующие рисунки:

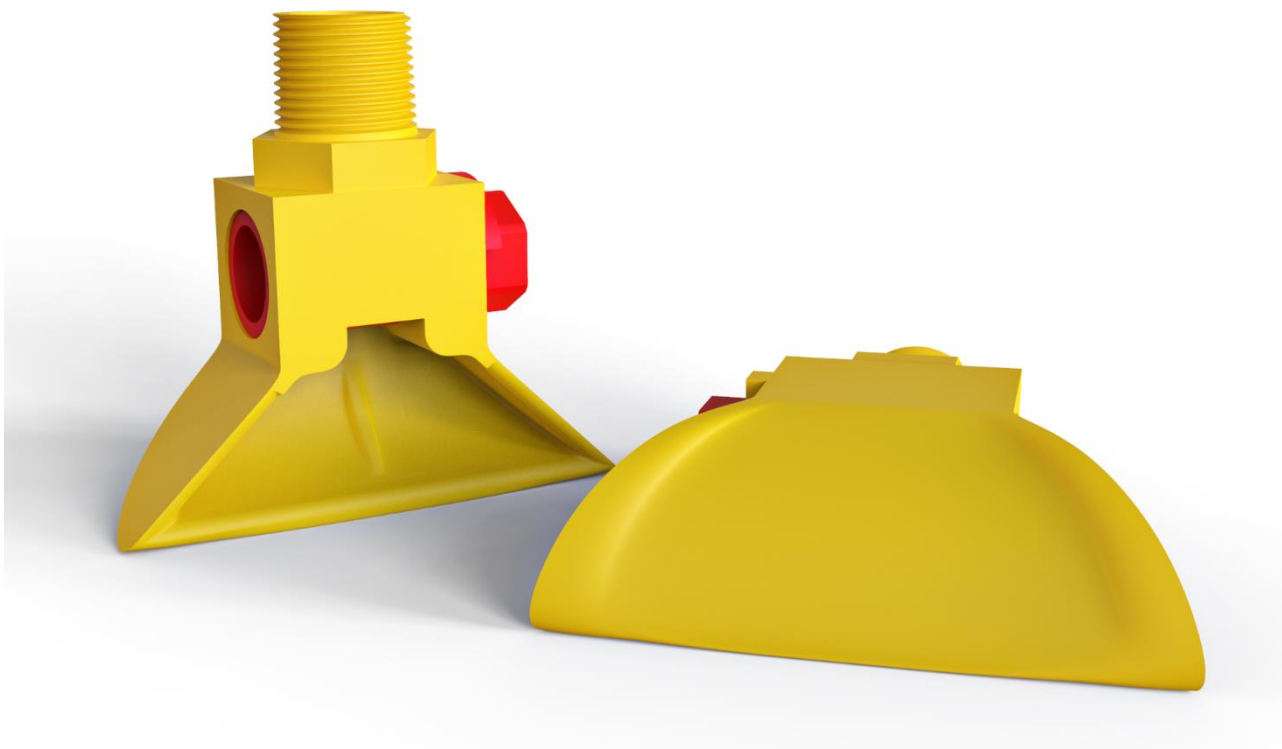


Рис.1 Форсунки RUSA



Рис.2 Работа форсунок в составе виброгрохота

Исходя из фотографий (Рис.2) работы форсунок, можно сделать следующее допущение о распределении воды по площади орошаемой породы:

- форсунка распределяет воду вдоль отрезка узкой линии
- форсунка распределяет воду равномерно

Обычно форсунку располагают так, чтобы линия орошения была перпендикулярна направлению движения породы.

Если расход воды через форсунку известен, то с использованием этого предположения расчёт увлажнения породы сводится к решению геометрической задачи.

Вывод формул расчёта увлажнения породы

Для расчёта увлажнения требуется найти ответ на вопросы:

- Какой объёмный расход воды через форсунку?
- Какая длина отрезка, на которую форсунка распределяет воду?

Какой объёмный расход воды через форсунку?

Объёмный расход воды можно найти, зная сечение форсунки $S_{\text{сопла}}$ и используя формулу Бернулли для нахождения скорости движения воды в выходном сечении форсунки:

$$p = \frac{\rho V^2}{2} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \text{ откуда}$$
$$Q = VS_{\text{сопла}} = S_{\text{сопла}} \sqrt{\frac{2p}{\rho}}. \quad (1)$$

Здесь:

p – избыточное давление в подающем трубопроводе, Па. Величину давления в атмосферах необходимо домножить на 101300 (Па/ати), в барах - на 100000 (Па/бар);

V – скорость движения воды, м/сек. В расчёте буква V будет также использоваться для обозначения скорости движения породы относительно сопла.

ρ – плотность воды, кг/м³. Допустимо при всех температурах принимать $\rho = 1000$ кг/м³.

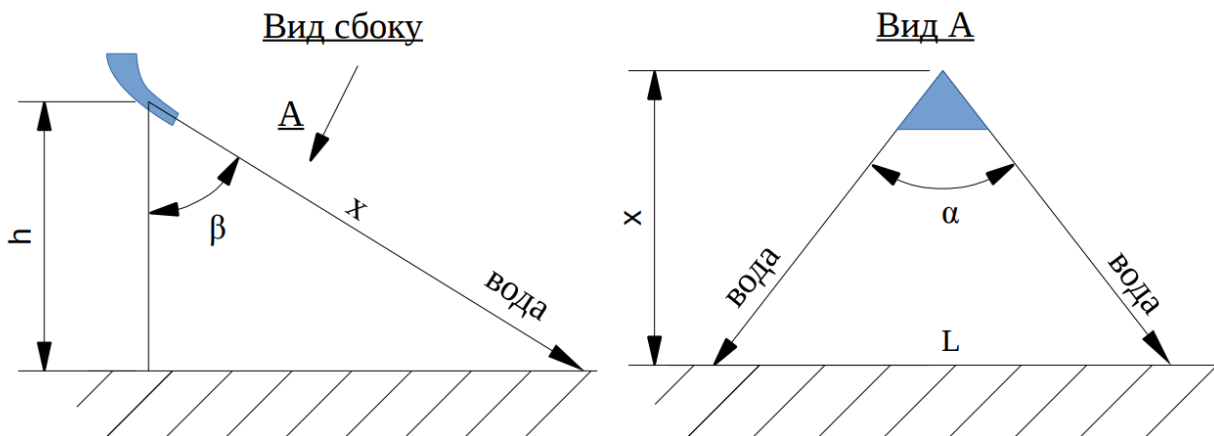
$S_{\text{сопла}}$ – сечение форсунки. Для использования в формуле необходимо взять величину в м². Для использования значений в мм² их надо домножить на 10^{-6} (мм²/м²).

Q – объёмный расход, м³/с. Для получения л/с необходимо домножить на 1000 (л/м³), для получения л/мин необходимо домножить на 60000 (л·сек/м³·мин).

Какая длина отрезка, на которую форсунка распределяет воду?

Полученный расход воды равномерно распределяется на отрезок длины L , через который проезжает порода со скоростью $V_{\text{породы}}$. Сначала рассмотрим простой случай, когда ось форсунки установлена вертикально, а линия орошения строго перпендикулярна направлению движения породы.

На рисунке схематично показана форсунка и создаваемый ею «факел» (скорее, плоский «веер») воды – вид сбоку и в направлении, перпендикулярном треугольному «лотку» форсунки, формирующему плоскую струю воды, треугольную в плане.



Обозначим:

h – высоту установки форсунки над орошаемой поверхностью,

L – ширина орошаемого форсункой отрезка,

x – «минимальная» длина пути воды от форсунки до поверхности, минимальный путь расположен перпендикулярно отрезку L ,

α – угол раствора треугольного распыляющего лотка форсунки, измеренного в своей собственной плоскости,

β – угол отклонения плоскости, в которой распыляется вода, от вертикали.

Величины L и h являются переменными, остальные – конструктивные характеристики форсунки. Из двух рисунков видим, что

$$L = 2xtg\left(\frac{\alpha}{2}\right) = h \frac{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos(\beta)}. \quad (2)$$

Формула даёт связь между высотой установки форсунки и длиной орошаемого отрезка. Коэффициент пропорциональности учитывает конструктивные особенности форсунки и вычисляется один раз.

Тогда «интенсивность орошения» – объём воды, получаемый единицей площади поверхности, вычисляется по формуле

$$h_{\text{ВОДЫ}} = \frac{dV_{\text{ВОДЫ}}}{dS_{\text{ПОРОДЫ}}} = \frac{Q}{V_{\text{ПОРОДЫ}}L} = \frac{S_{\text{СОПЛА}}}{V_{\text{ПОРОДЫ}}h} \sqrt{\left(\frac{2p}{\rho}\right) \frac{\cos(\beta)}{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}. \quad (3)$$

Здесь введено обозначение

$h_{\text{ВОДЫ}}$ – количество «осадков» в метрах; для получения величины сантиметрах необходимо результат домножить на 100 (см/м), для получения величины миллиметрах необходимо результат домножить на 1000 (мм/м).

Формула связывает интенсивность орошения с сечением сопла, скоростью движения породы, высотой установки форсунок и рабочим давлением воды.

Возможен более сложный случай установки форсунок, когда входная трубка форсунки располагается с отклонением от вертикали. Возможно также отклонение отрезка распыления от направления, перпендикулярного скорости движения породы.

Обозначим:

γ – угол дополнительного отклонения форсунки от вертикали. Он может быть как положительным, так и отрицательным. За положительное направление угла принимается такое, когда отклонение струи от вертикали вследствие

наличия угла β у форсунки увеличивается, т. е. струя становится более горизонтальной. За отрицательное направление γ принимается противоположное направление, т. е. когда наклон форсунки начинает компенсировать наличие угла β и веер распыления становится более вертикальным.

Θ – угол между перпендикуляром к скорости движения и направлением отрезка распыления L .

Влияние обоих углов на вычисленные результаты учитывается следующим образом. Угол γ изменяет конструктивную величину угла β , а полоса распыления L сужается на множитель $\cos(\Theta)$. Т.е. расчётные формулы модифицируются следующим образом:

$$L = 2xtg\left(\frac{\alpha}{2}\right) = h \frac{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos(\beta+\gamma)}, \quad (4)$$

$$h_{\text{ВОДЫ}} = \frac{dV_{\text{ВОДЫ}}}{dS_{\text{ПОРОДЫ}}} = \frac{Q}{V_{\text{ПОРОДЫ}}L} = \frac{S_{\text{СОПЛА}}}{V_{\text{ПОРОДЫ}}h} \sqrt{\left(\frac{2p}{\rho}\right)} \frac{\cos(\beta+\gamma)}{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\Theta)}. \quad (5)$$

Используя полученные формулы, можем решить задачи о выборе необходимых параметров системы орошения для виброгрохота.

Алгоритмы подбора параметров системы орошения

Во всех алгоритмах введена дополнительная величина:

δ – процент перекрытия соседних полос орошения. Может быть представлена в процентах, в формулах следует использовать значение из диапазона $[0, 1]$.

На эту величину сокращается расчётная полоса орошения:

$$L = 2xtg\left(\frac{\alpha}{2}\right)(1 - \delta) = h \frac{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos(\beta+\gamma)} (1 - \delta) \quad (6)$$

$$h_{\text{ВОДЫ}} = \frac{dV_{\text{ВОДЫ}}}{dS_{\text{ПОРОДЫ}}} = \frac{Q}{V_{\text{ПОРОДЫ}}L} = \frac{S_{\text{СОПЛА}}}{V_{\text{ПОРОДЫ}}h(1-\delta)} \sqrt{\left(\frac{2p}{\rho}\right)} \frac{\cos(\beta+\gamma)}{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cos(\Theta)}. \quad (7)$$

Вводим обозначения исходных данных:

$L_{\text{ГРОХОТА}}$ – ширина орошаемой полосы виброгрохота, м;

$H_{\text{ВОДЫ}}$ – требуемая по технологическому процессу интенсивность увлажнения, м. Если требуемое увлажнение было задано в миллиметрах, его величину следует поделить на 1000 (мм/м), если требуемое увлажнение было задано в сантиметрах, его величину следует поделить на 100 (см/м).

Приведём одну вспомогательную формулу, позволяющую вычислять общее требуемое количество форсунок (во всех рядах сразу)

$$N = \text{int}\left(\frac{Q_{\text{ОБЩ}}}{Q}\right) + 1 = \text{int}\left(\frac{H_{\text{ВОДЫ}}V_{\text{ПОРОДЫ}}L_{\text{ГРОХОТА}}}{S_{\text{СОПЛА}}\sqrt{\frac{2p}{\rho}}}\right) + 1. \quad (8)$$

В следующих формулах предполагается «прямоугольное» размещение форсунок, т. е. рядами в количестве $N_{\text{РЯДОВ}}$ по одинаковому количеству форсунок $N_{\text{В_РЯД}}$. Ниже приведена рекомендация по «шахматному» расположению форсунок. Однако общее количество форсунок при таком расположении не изменяется и все полученные ниже формулы применимы и в этом случае с точностью до переноса одной форсунки из ряда в ряд.

Можем получить формулы вычисления недостающих параметров системы орошения для виброгрохота.

Сколько форсунок в ряду?

Число форсунок в ряду вычисляется по ширине полосы орошения одной форсунки:

$$N_{\text{В_ряд}} = \text{int}\left(\frac{L_{\text{ГРОХОТА}}}{L}\right) + 1, \quad (9)$$

где L вычисляется по формуле (6).

При этом интенсивность орошения, как правило, оказывается недостаточной. Для набора нужной интенсивности устанавливается нужное количество рядов:

$$N_{\text{рядов}} = \text{int}\left(\frac{N}{N_{\text{В_ряд}}}\right) + 1, \quad (10)$$

где общее требуемое количество форсунок N вычисляется по формуле (8).

Какая высота установки форсунок при заданном количестве

Должно быть задано желаемое количество форсунок в ряд. Тогда высота установки вычисляется через требуемую ширину орошения:

$$h = L \frac{\cos(\beta+\gamma)}{2\text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{L_{\text{ГРОХОТА}} \cos(\beta+\gamma)}{N_{\text{В_ряд}}(1-\delta) 2\text{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (11)$$

Число требуемых рядов вычисляется по формуле (10) так же, как в предыдущей задаче.

Какое необходимо рабочее давление?

Можно поставить несколько вариантов задач, приводящих к необходимости вычисления требуемого рабочего давления. Здесь рассматривается решение следующей задачи: найти необходимое рабочее давление, зная число необходимых форсунок и величину требуемого увлажнения. В этом случае требуемое давление вычисляется по формуле Бернулли:

$$p = \frac{\rho V^2}{2} = \frac{\rho Q^2}{2S^2}, \quad (12)$$

где все величины должны быть взяты в системе Си:

p – давление, результат получается в Па, для перевода в ати нужно разделить на 101300 (Па/ати);

Q – объёмный расход через форсунку, м³/сек. Для использования величины, заданной в л/с, нужно разделить её на 1000 (л/м³);

S – сечение форсунки, м². Для использования величины, заданной в мм², нужно разделить её на 10⁶ (мм²/м²).

Другие возможные задачи на определение давления решаются аналогично.

Выводы

1. Получена формула вычисления расхода воды через форсунку.
2. Форсунки рассматриваемой конструкции можно считать распыляющими воду по узкой линии равномерно по отрезку орошения. При известном расходе воды через форсунку задача расчёта увлажнения поверхности становится чисто геометрической.
3. Получена формула вычисления увлажнения поверхности в зависимости от геометрических характеристик форсунки, её сечения, высоты установки, давления воды и скорости движения породы.
4. Получен алгоритм вычисления требуемого числа форсунок.
5. Получен алгоритм вычисления требуемой высоты установки форсунок.
4. Получен алгоритм вычисления требуемого давления воды.

Дополнительные рекомендации по установке форсунок RUSA и конструкции грохота

2. Форсунки желательно устанавливать с минимальным перекрытием полосы орошения.

2. Для компенсации возможной неравномерности распределения воды форсункой по ширине полосы орошения возможно устанавливать форсунки в шахматном порядке. Для исключения недостаточного орошения по краям на ширину $L/2$ необходимо установить через один «чётный» ряд крайние форсунки с линией орошения под углом 60° к перпендикуляру скорости движения породы. Каждая такая форсунка обеспечивает двойное орошение поверхности в своей полосе по сравнению с соседними. Общее количество требуемых форсунок в этом случае не изменяется.

3. Угол наклона факела воды к горизонту выбирается произвольно в зависимости от технологических требований.

4. Давление должно быть не ниже минимально допустимого для данной форсунки. При необходимости снижения расхода воды на одну форсунку следует применять форсунки меньшего сечения (6 мм.) со средним давлением из рабочего диапазона.