

Э. В. Дыба¹, В. Б. Ловкис², А. В. Пётух²

¹ РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: dibua-18@mail.ru

² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ БЕЗУДАРНОЙ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ ИЗ ПАТРУБКА В ШТУЦЕРЫ РОТОРНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Аннотация. В статье представлено обоснование условий безударной подачи жидкости из патрубка в штуцер роторного распределителя.

Ключевые слова: параметры, показатели, жидкий навоз, роторный распределитель, устройство, патрубки ротора, внутривспашное внесение, выливные штуцеры.

E. V. Dyba¹, V. B. Lovkis², A. V. Piotukh²

¹ RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: dibua-18@mail.ru

² EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

JUSTIFICATION OF THE CONDITIONS FOR THE UNSTRESSED SUPPLY OF LIQUID FROM THE NOZZLE TO THE NOZZLES OF THE ROTARY DISTRIBUTOR

Abstract. The article presents the justification of the conditions for the unstressed supply of liquid from the nozzle to the nozzles of the rotary distributor.

Keywords: parameters, indices, liquid manure, rotary distributor, device, rotor branch pipes, internal soil injection, pouring unions.

Введение

Роторный распределитель предназначен для деления большого потока жидкого навоза, подаваемого из цистерны, на множество (по числу шлангов-понижителей) одинаковых малых потоков [1, 2]. Схема роторного распределителя представлена на рис. 1. Он состоит из цилиндрического корпуса 1, плотно закрывающейся крышки 2 с сапуном 3, в центр которой прикреплен конец нагнетательного трубопровода 4, распределительного ротора, состоящего из стакана 5, патрубков 6 и выливных штуцеров 7.

Основная часть

В цилиндрическом корпусе (рис. 1) между выливными штуцерами имеется глухая часть корпуса (технологический зазор). Ротор вращается непрерывно, и вылив жидкого навоза (далее – ЖН) из патрубков происходит непрерывно. Следовательно, часть ЖН при совпадении отверстий из патрубков выливается под действием центробежной силы в выливные штуцеры. Другая часть ЖН при несовпадении отверстий ударяется в глухую часть корпуса, разбрызгивается, создавая подпор, оседает в нем, что в конечном итоге приводит к увеличению неравномерности вылива жидкости через штуцеры и повышает энергоёмкость процесса распределения ее между дисками. Для устранения этих недостатков необходимо создавать такие условия подачи ЖН из патрубков в штуцеры, которые бы исключали удар навоза в глухие участки корпуса.

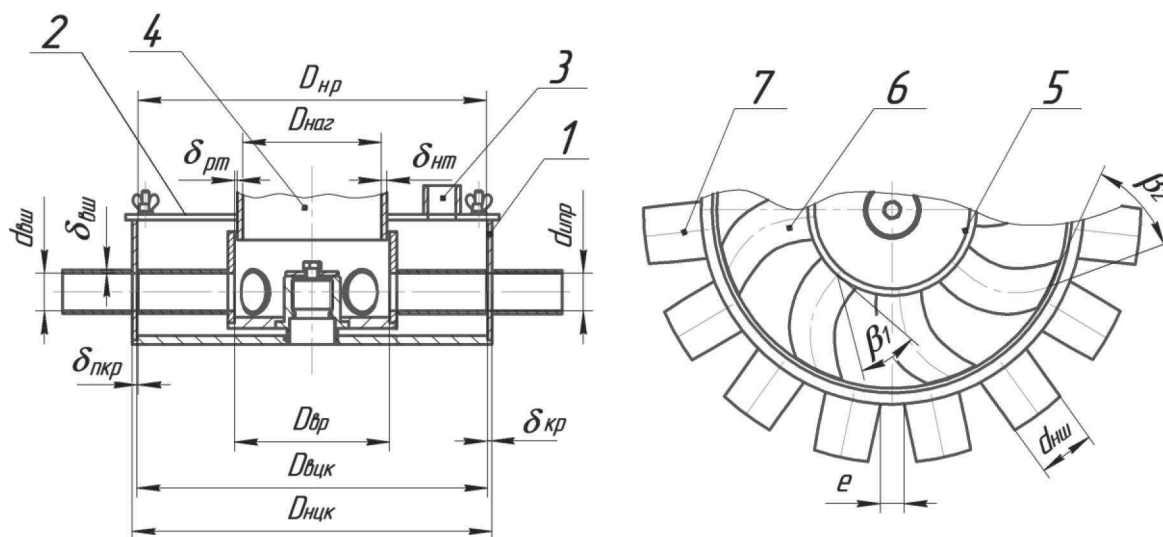


Рис. 1. Схема для обоснования конструктивных и кинематических параметров роторного распределителя:
 1 – цилиндрический корпус; 2 – крышка; 3 – сапун; 4 – нагнетательный трубопровод; 5 – стакан ротора;
 6 – патрубок ротора; 7 – выливной штуцер

Для обеспечения безударного входа ЖН в патрубки ротора и исключения кавитации в них патрубки приварены к стакану ротора под углом β_1 и имеют форму логарифмической спирали (рис. 2). На выходе патрубки обрезаны под углом β_2 , поэтому они имеют эллипсовидное выходное сечение.

Угол выхода ЖН из патрубка ротора β_2 можно определить по формуле [1]:

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{d_{unp}}{2a}, \quad (1)$$

где a – большая полуось эллипса, м.

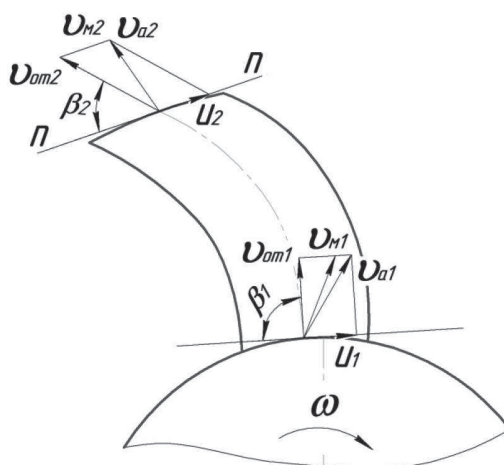


Рис. 2. Схема направления скоростей движения навоза на входе и выходе патрубка ротора

Большую полуось эллипса a найдем из следующего условия: чтобы в любой момент времени суммарная площадь проходного сечения, образованного выходными сечениями патрубков ротора 6 (рис. 1) и входными сечениями выливных штуцеров 7, была равна или больше суммарной площади поперечных сечений патрубков, то есть суммарная площадь проходного сечения, образованного выходным сечением патрубка ротора и входными сечениями выливных штуцеров, должна быть равна или больше площади поперечного сечения выливного штуцера (рис. 3). Это необходимо для того, чтобы исключить подпор и пульсацию ЖН.

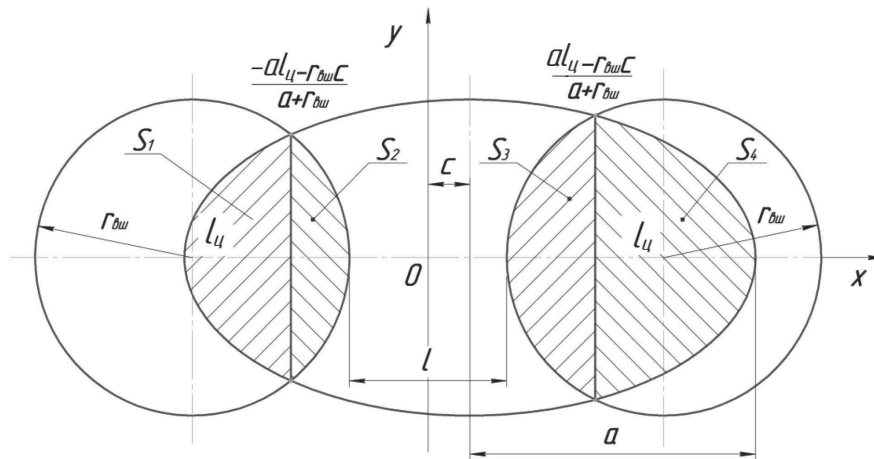


Рис. 3. Схема для расчета большой полуоси эллипса выходного сечения патрубка ротора

Запишем последнее условие в виде:

$$2S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \geq \frac{\pi d_{imp}^2}{4}, \quad (2)$$

где S_1, S_2, S_3, S_4 – площади, образующие суммарное проходное сечение, расположенное над осью x , m^2 .

Площади суммарного проходного сечения вычислим с помощью интегралов. Для этого задаемся координатными осями x и y с центром в точке O (рис. 3), относительно которого симметрично расположим центры окружностей входных сечений выливных штуцеров на расстоянии

$$l_{ц} = r_{вщ} + \frac{l}{2}, \quad (3)$$

где $r_{вщ}$ – радиус круглого сечения выливных штуцеров, м; l – расстояние между внутренними поверхностями выливных штуцеров в месте соединения с корпусом, м;

$$l = e + 2\delta_{вщ}. \quad (4)$$

Запишем уравнения окружностей и эллипса:

– уравнение левой окружности

$$y_1 = \sqrt{r_{вщ}^2 - (x + l_{ц})^2}; \quad (5)$$

– уравнение правой окружности

$$y_2 = \sqrt{r_{вщ}^2 - (x - l_{ц})^2}; \quad (6)$$

– уравнение эллипса

$$y_3 = \frac{r_{вщ}}{a} \sqrt{a^2 - (x + c)^2}, \quad (7)$$

где c – смещение центра эллипса относительно начала координат, м.

Решая совместно уравнения (5) и (7), а также уравнения (6) и (7), определим точки пересечения правой и левой окружностей с эллипсом, которые являются пределами интегрирования при определении площадей S_1, S_2, S_3 и S_4 .

Площади проходного сечения, находящегося над осью x , определяют по следующим формулам:

$$S_1 = \int_{-a-c}^{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx. \quad (8)$$

$$S_2 = \int_{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{-l_y+r_{\text{вн}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x+l_y)^2} dx. \quad (9)$$

$$S_3 = \int_{l_y-r_{\text{вн}}}^{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x-l_y)^2} dx. \quad (10)$$

$$S_4 = \int_{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{a-c} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx. \quad (11)$$

Подставив (8), (9), (10) и (11) в (2), получим:

$$\begin{aligned} & 2 \cdot \left[\int_{-a-c}^{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx + \right. \\ & + \int_{\frac{-a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{-l_y+r_{\text{вн}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x+l_y)^2} dx + \\ & + \int_{l_y-r_{\text{вн}}}^{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}} \sqrt{r_{\text{вн}}^2 - (x-l_y)^2} dx + \\ & \left. + \int_{\frac{a l_y - r_{\text{вн}} c}{a+r_{\text{вн}}}}^{a-c} \frac{r_{\text{вн}}}{a} \sqrt{a^2 - (x+c)^2} dx \right] - \pi r_{\text{вн}}^2 = 0. \quad (12) \end{aligned}$$

Уравнение (12) решаем с помощью численных методов (деление отрезка пополам) или используя программное обеспечение «Mathcad». Полученное значение большой полуоси a подставляем в формулу (1) и определяем угол выхода навоза β_2 .

Величины напора, создаваемого вакуум-компрессором, достаточно для преодоления сопротивлений в установке и роторном распределителе. Поэтому нет необходимости, чтобы ротор работал как насос и создавал дополнительный напор. Вследствие этого необходимо подобрать частоту вращения ротора такой, чтобы меридиональная скорость v_{m2} совпадала по значению и направлению с абсолютной скоростью v_{a2} , равной геометрической сумме относительной скорости движения жидкости v_{om2} и окружной скорости ротора на выходе u_2 (рис. 2):

$$v_{m2} = v_{a2} = v_{om2} + u_2. \quad (13)$$

Спроецировав уравнение (13) на касательную $n - n$ (рис. 2), получим:

$$u_2 - v_{om2} \cdot \cos \beta_2 = 0. \quad (14)$$

В свою очередь, окружная скорость на выходе из патрубков ротора определяется по формуле:

$$u_2 = \frac{\pi n_p D_{np}}{60}, \quad (15)$$

где n_p – частота вращения ротора, мин⁻¹.

Подставив в формулу (14) формулу (15) и выразив частоту вращения ротора n_p , получим:

$$n_p = \frac{60 \cdot \cos \beta_2 \cdot v_{om2}}{\pi D_{np}}. \quad (16)$$

Для обеспечения безударного входа ЖН в патрубки ротора и избежания увеличения гидравлических потерь необходимо патрубки приваривать к стакану под углом β_1 , который можно определить по формуле [1, 3, 4]:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{v_{m1}}{u_1}, \quad (17)$$

где v_{m1} – меридиональная скорость движения ЖН на входных кромках патрубков, м/с; u_1 – окружная скорость ЖН на входе в патрубки ротора, м/с.

Меридиональную скорость движения ЖН на входе в патрубки v_{m1} выразим через относительную скорость движения навоза в патрубки v_{om1} (рис. 2):

$$v_{m1} = v_{om1} \cdot \sin \beta_1. \quad (18)$$

Скорость движения ЖН на входе в патрубки ротора, с учетом угла входа β_1 , определим по формуле:

$$v_{om1} = \frac{4Q_n \sin \beta_1}{z_n \pi d_{ump}^2}. \quad (19)$$

Диаметр входа ЖН в патрубки ротора D_1 можно записать в виде:

$$D_1 = \frac{z_n \cdot \left(\frac{d_{ump} + 2\delta_{ов}}{\sin \beta_1} + e \right)}{\pi}. \quad (20)$$

Подставляя все известные величины в формулу (17) и сделав соответствующие преобразования, получим выражение для определения угла входа ЖН в патрубки ротора:

$$\left(\frac{d_{ump} + 2 \cdot \delta_{ов}}{\sin \beta_1 \cdot \sin 2\beta_1} + \frac{e}{\sin 2\beta_1} \right) = \frac{120 \cdot Q_n}{\pi \cdot n_p \cdot z_n^2 \cdot d_{ump}^2}. \quad (21)$$

Значение угла β_1 находим приближенными методами. Например, методом деления отрезка на десять частей. Для этого табулируем функцию на отрезке от 0 до $\frac{\pi}{2}$. На этом отрезке уравнение (21) имеет одно решение $\beta_1 = 60^\circ$. Для построения очертания патрубка ротора и определения его длины составим дифференциальное уравнение для малых приращений угла в радианах и радиуса Δr (рис. 4). Гипотенузу BC треугольника BCE можно записать $BC = \frac{\Delta r}{\sin \beta}$. Тогда длину патрубка ротора определим по формуле:

$$l_{ump} = \sum_{i=1}^{i=\Delta} \frac{B_i + B_{i+1}}{2} \Delta r_i, \quad (22)$$

где Δ – количество разбиений расстояния между радиусом входа $r_1 = \frac{D_{вп}}{2}$ и радиусом выхода $r_2 = \frac{D_{нп}}{2}$; B_i – функция в i -й точке; Δr_i – приращение радиуса патрубка ротора, м.

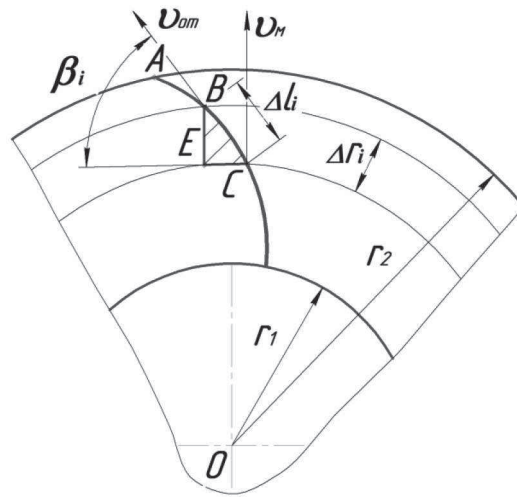


Рис. 4. Схема для определения длины патрубка ротора

Функцию в i -й точке определим как

$$B_i = \frac{1}{\sin \beta_i}, \quad (23)$$

где β_i – угол наклона патрубка к касательной окружности в i -й точке, град.

Решаем уравнение (22) табличным способом. Задавая количество разбиений Δ , определяем приращение радиуса Δr_i в интервале от r_1 до r_2 , а также приращение угла $\Delta \beta_i$ в интервале от β_1 до β_2 . Далее определяем значение $\sin \beta_i$ и функцию B_i .

Заключение

Таким образом, полученные формулы позволяют обосновать условия безударной подачи жидкости из патрубка в штуцеры роторного распределителя, при которых будет обеспечена минимальная неравномерность вылива жидкости через штуцеры и снижена энергоемкость процесса распределения ее между заделывающими рабочими органами.

Список использованных источников

1. Дыба, Э. В. Внутрипочвенное внесение жидкого навоза роторным распределителем с заделкой дисковым адаптером: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Э. В. Дыба. – Минск, 2015. – 158 с.
2. Подшиваленко, И. В. Повышение равномерности внесения жидких органических удобрений обоснованием параметров штанговой распределяющей системы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / И. В. Подшиваленко. – Горки, 2006. – 177 с.
3. Жарский, М. А. Гидро- и пневмотранспорт в сельском хозяйстве: учебное пособие для студентов с.-х. вузов / М. А. Жарский, Г. П. Цыганок. – Горки, 1988. – 68 с.
4. Грачева, Л. И. Трубопроводный транспорт на животноводческих фермах / Л. И. Грачева, Н. Н. Шумляк. – М.: Колос, 1979. – 159 с.