

**СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛОПАСТИ ВОРОШИТЕЛЯ
СО СЛОЕМ УДОБРЕНИЙ**

Андреев Константин Петрович, старший преподаватель кафедры «Организация транспортных процессов и безопасность жизнедеятельности»

Костенко Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии металлов и ремонта машин»

Шемякин Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Организация транспортных процессов и безопасность жизнедеятельности»

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева
390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1. 8-910-900-96-98, e-mail: kosta066@yandex.ru

Ключевые слова: удобрение, разбрасыватель, равномерность, ворошитель, дозирование.

Разнообразие почв и возделываемых культур требует сочетания различных видов и доз минерального питания. Значительная часть твердых минеральных удобрений вносится посредством разбрасывания их по поверхности поля центробежными разбрасывателями. Широкое применение центробежных разбрасывателей обусловлено целым рядом их преимуществ: высокой производительностью, широким диапазоном норм внесения, достаточно простой и компактной конструкцией, возможностью использования твердых минеральных удобрений с различными физическими свойствами. Одним из недостатков центробежных разбрасывателей остается большая неравномерность распределения удобрений по полю. Соблюдение заданной равномерности распределения удобрений определяется качеством дозирования. Работа ворошителя удобрений оказывает существенное влияние на процесс дозирования. Для обеспечения высокой равномерности дозирования необходимо создать условия постоянного перемещения частиц удобрений около дозирующих щелей с помощью ворошителя. На ворошитель действуют следующие активные силы и реакции: вес слоя удобрения G , нормальная реакция поверхности ворошителя N , сила трения слоя удобрений о ворошитель $F_{тр}$ и реакция подпора со стороны неподвижной части удобрений Q . Вследствие того, что направление силы подпора Q неизвестно, составлено дополнительное уравнение на основе принципа возможных перемещений. На основе полученных зависимостей создана модель для расчета мощности, требуемой на привод ворошителя. Для оценки влияния параметров ворошителя выполнено компьютерное моделирование процесса дозирования. Установлено, что с увеличением угла подъема лопасти существенно возрастает мощность на привод ворошителя. Оптимизация параметров разработанного ворошителя позволила снизить энергозатраты при дозировании и повысить равномерность внесения удобрений центробежным разбрасывателем.

Введение

Стремление сельхозпроизводителей к получению максимальных урожаев является основной причиной широкого применения удобрений. Разнообразие почв и возделываемых культур, различие в плодородии почв требует сочетания различных видов и доз минерального питания. Эту проблему решают путем последо-

вательного внесения каждого вида питательных элементов, внесением сложных удобрений или их смесей различных форм и состава (органоминеральные смеси; смеси твердых и жидких удобрений и ряд других). Комплексная механизация включает последовательное применение систем машин, механизмов и приспособлений на всех технологических операциях и стадиях

технологического процесса, позволяющее полностью заменить ручной труд машинным как на основных, так и на вспомогательных сельскохозяйственных работах. Вследствие этого, одна из важнейших задач аграрной науки заключается в создании, исследовании и испытании новых образцов сельскохозяйственных машин. Значительная часть твердых минеральных удобрений вносится посредством разбрасывания их по поверхности полей с использованием центробежных разбрасывателей. Широкое применение центробежных разбрасывателей обусловлено целым рядом их преимуществ: высокой производительностью, широким диапазоном норм внесения, достаточно простой и компактной конструкцией, возможностью использования твердых минеральных удобрений с различными физическими свойствами. Одним из недостатков центробежных разбрасывателей остается большая неравномерность распределения удобрений по полю [1, 2, 3].

Эффективность внесения минеральных удобрений зависит от соответствия дозы внесения потребностям растений. Важную роль в этом процессе играет соблюдение заданной равномерности распределения удобрений. Качество дозирования имеет очень большое значение в обеспечении равномерности внесения минеральных удобрений [4]. Причем заданную равномерность распределения удобрений желательнее обеспечить с минимальными затратами энергии.

Нами разработан навесной самозагружающийся разбрасыватель твердых минеральных удобрений. Однако для обеспечения высокой равномерности дозирования необходимо создать условия постоянного перемещения частиц удобрений около дозирующих щелей. С учетом изложенного выше сформулирована цель исследования [5]: обеспечение минимальных энергозатрат ворошителя при его вращении с постоянной угловой скоростью в процессе взаимодействия лопастей с гранулами удобрений.

Объекты и методы исследования

Для определения усилий, возникающих при действии ворошителя на слой удобрений, введем следующие допущения:

- 1) слой удобрений идеально эластичен, то есть не сжимаем, не сопротивляется изгибу;
- 2) клиновые части ворошителя не совершают работу по резанию и измельчению частиц удобрений;
- 3) движение ворошителя можно считать равномерным, так как он вращается с постоян-

ной угловой скоростью ω .

Рассмотрим слой удобрений, который поднимается острым клином с углом α к направлению окружной скорости и углом β к горизонту в радиальном направлении (рис. 1).

На ворошитель будут действовать следующие активные силы и реакции: вес слоя удобрения G , нормальная реакция поверхности ворошителя N , сила трения слоя удобрений о ворошитель $F_{тр}$ и реакция подпора со стороны неподвижной части удобрений Q [6, 7].

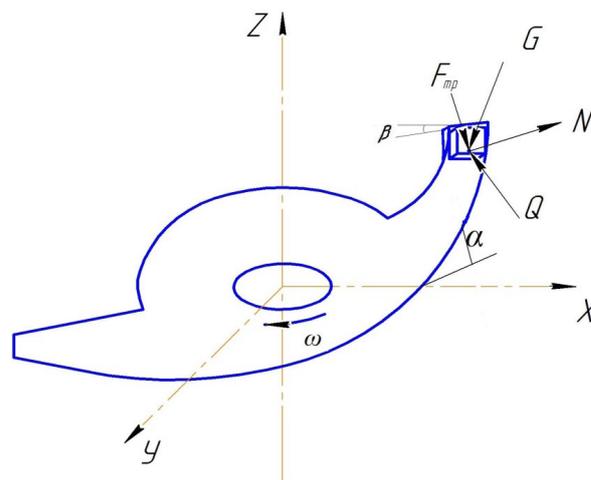


Рис. 1 – К определению усилий, действующих на привод ворошителя

Зная приложенные силы и учитывая характер движения ворошителя, запишем уравнение равновесия:

$$\bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{тр} + Q = 0. \quad (1)$$

Вследствие того, что направление силы подпора неизвестно, составим дополнительное уравнение на основе принципа возможных перемещений (рис. 2):

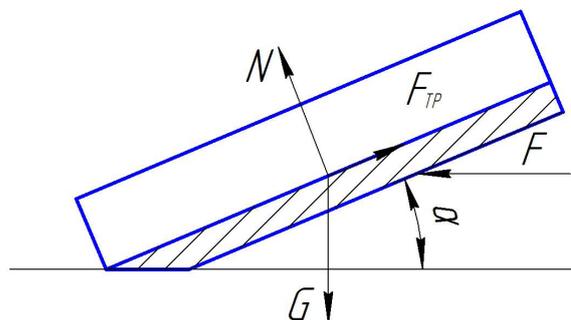


Рис. 2 – К расчету окружного усилия на основе принципа возможных перемещений

Работа элементарных сил системы

$$F_{тр} \delta s - F \delta s \cdot \cos \alpha - G \delta s \cdot \sin \alpha = 0, \quad (2)$$

где $F_{тр}$ – сила трения слоя удобрений о ворошитель, Н; F – окружное усилие, Н; δs

– возможное перемещение, м; G – вес слоя удобрения, Н.

Сократив на величину δs , получим:

$$F_{mp} - F \cos \alpha - G \sin \alpha = 0. \quad (3)$$

Учитывая, что движение ворошителя происходит в слое мелких гранулированных частиц удобрений, изменение угла наклона лопасти ворошителя β влияет на энергозатраты на привод ворошителя. Исходя из этого, при определении затрат энергии будем учитывать, что они максимальны при угле $\beta = 0$. Взаимодействие лопасти ворошителя со слоем удобрений будем рассматривать в плоскости, касательной к направлению движения лопасти (рис. 3).

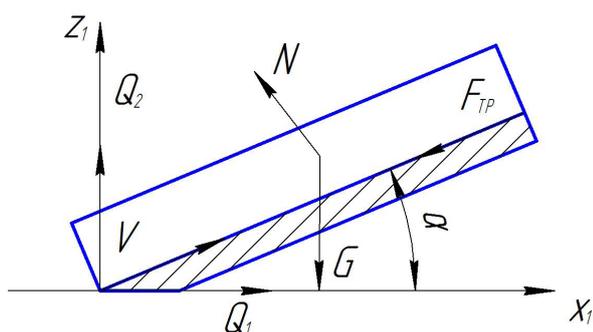


Рис. 3 – Расчетная схема взаимодействия лопасти ворошителя со слоем удобрений

Спроецируем уравнение 1 на выбранные оси координат $x_1 y_1 0$:

$$0x_1 \begin{cases} Q_1 - N \sin \alpha - F_{mp} \cos \alpha = 0 \\ -Q_2 + N \cos \alpha + F_{mp} \sin \alpha - G = 0 \\ F_{mp} - F \cos \alpha - G \sin \alpha = 0 \\ F_{mp} = f \cdot N \\ F = Q_1 \end{cases}, \quad (4)$$

где Q_1 – проекция силы сопротивления слоя удобрений на горизонтальную ось, Н; Q_2 – проекция силы сопротивления слоя удобрений на вертикальную ось, Н; F – окружное усилие, Н.

Решив систему (4), определим значения действующих сил. Исходя из третьего закона Ньютона, $F = Q_1$. Подставив в (4) величину F_{mp} , сложим первое и третье уравнения системы. В результате получим величину нормальной реакции.

С учетом того, что

$$-G \operatorname{tg} \alpha - N \sin \alpha - fN \cos \alpha + \frac{fN}{\cos \alpha} = 0, \quad (5)$$

подставим полученное выражение в первое уравнение системы (4):

$$Q_1 - \frac{mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)} - \frac{fmg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \alpha}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)} = 0. \quad (6)$$

Тогда горизонтальная сила подпора слоя удобрений

$$Q_1 = \frac{mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (\sin \alpha + f \cos \alpha)}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)}. \quad (7)$$

Подставим выражение для определения силы нормального давления во второе уравнение системы (4):

$$Q_2 = \frac{-mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \alpha}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)} + \frac{fmg \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)} + mg. \quad (8)$$

Вынеся за скобки общий множитель, получим:

$$Q_2 = mg \left[1 + \frac{f \cdot \operatorname{tg} \alpha (\sin \alpha - \cos \alpha)}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)} \right]. \quad (9)$$

Направление силы подпора Q определим, используя отношение:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (10)$$

или

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{mg \left[1 + \frac{f \cdot \operatorname{tg} \alpha (\sin \alpha - \cos \alpha)}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)} \right]}{mg \cdot \operatorname{tg} \alpha \frac{(\sin \alpha + f \cos \alpha)}{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)}}. \quad (11)$$

Сократив, получим:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right) + f \operatorname{tg} \alpha (\sin \alpha - \cos \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha (\sin \alpha + f \cos \alpha)}. \quad (12)$$

Тогда окружное усилие

$$F = \frac{-G \sin \alpha + F_{mp}}{\cos \alpha}. \quad (13)$$

После соответствующих подстановок получим:

$$F = \frac{f \cdot mg \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha \left(\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right)} - \frac{mg \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha}. \quad (14)$$

Преобразуем полученное выражение:

$$F = mg \left[\frac{f \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\left(\cos \alpha \left[\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right] \right)} - \operatorname{tg} \alpha \right]. \quad (15)$$

Тогда мощность, требуемая на привод ворошителя:

$$P = F \cdot \omega,$$

$$P = mg \left[\frac{f \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\left(\cos \alpha \left[\sin \alpha + f \cos \alpha - \frac{f}{\cos \alpha} \right] \right)} - \operatorname{tg} \alpha \right] \cdot \omega. \quad (16)$$

Результаты исследований

После исследования полученной модели (4) в программе Math Cad был построен график зависимости мощности, требуемой на привод ворошителя, от угла подъема лопасти (рис. 4).

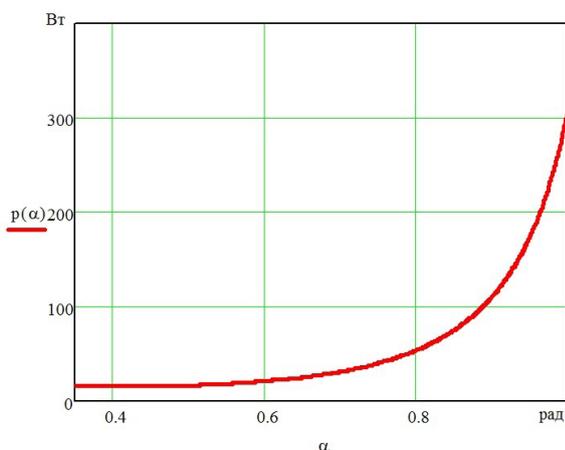


Рис. 4 – Зависимость мощности, требуемой на привод ворошителя, от угла подъема лопасти

При построении модели было учтено взаимодействие гранул удобрений только с основной поверхностью лопасти. В то же время взаимодействие торцевых поверхностей ворошителя может существенно повышать мощность на привод, особенно при попадании частиц между ворошителем и корпусом разбрасывающего устройства.

Выводы

Анализ полученной зависимости (4) по-

казал, что с увеличением угла подъема лопасти мощность, требуемая на привод ворошителя, существенно увеличивается. Поэтому для экономии энергии угол наклона лопасти ворошителя не должен превышать 30 градусов. Оценочные расчеты показали, что общая мощность на привод ворошителя не превышает 1,5 кВт.

Библиографический список

1. Исследование работы самозагружающегося разбрасывателя минеральных удобрений / К.П.Андреев, В.А.Макаров, А.В.Шемякин, М.Ю. Костенко // Сборник научных трудов СМУ РГАТУ.– Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. - Выпуск 1.– С. 140-143.
2. Костенко, М.Ю. Устройство самозагружающегося разбрасывателя минеральных удобрений / К.П. Андреев, А.В. Шемякин, М.Ю. Костенко // Новая наука: современное состояние и пути развития. - 2016. - № 116-2. - С. 136-139.
3. Макаров, В.А. Самозагружающийся разбрасыватель удобрений / В.А.Макаров, М.Ю.Костенко, К.П. Андреев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2015. - № 3. - С. 2-4.
4. Разбрасыватель минеральных удобрений с сепарацией крупных примесей / К.П.Андреев, В.А. Макаров, А.В.Шемякин, М.Ю. Костенко // Сборник научных трудов СМУ РГАТУ. – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2015. – Выпуск 1. - С. 241-244.
5. Совершенствование центробежных разбрасывателей для поверхностного внесения минеральных удобрений / К.П.Андреев, В.А.Макаров, А.В.Шемякин, М.Ю. Костенко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2017. - № 1 (33). - С. 54-59.
6. Андреев, К.П. Исследование траектории полета частиц минеральных удобрений при работе центробежных разбрасывателей / К.П. Андреев // Новая наука: Теоретический и практический взгляд. – 2016. - № 117-2. - С. 105-108.
7. Исследование движения частицы удобрений по лопасти ворошителя / К.П.Андреев, В.А.Макаров, А.В.Шемякин, М.Ю.Костенко, Н.А.Костенко // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2016. - № 4 (32). - С. 65-68.

FORCE INTERACTION OF AGITATOR PADDLE WITH FERTILIZER LAYER

Andreyev K.P., Kostenko M.Yu., Shemyakin A.V.

Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev
390044, Ryazan, Kostychev str., 1, tel.: 8-920-633-21-57; e-mail: shem.alex62@yandex.ru

Key words: fertilizer, distributor, uniformity, agitator, dosing.

Variety of soils and cultivated crops requires a combination of different types and doses of mineral nutrition. The majority of hard mineral fertilizers is applied by means of their distribution on the field surface with spinner distributor. A wide use of spinner distributors is determined by a number of advantages: high productivity, wide range of application doses, relatively easy and compact construction, ability to use hard mineral fertilizers with different physical characteristics. One of the disadvantages of the spinner distributors remains a great irregular fertilizer distribution on the field. Compliance with the indicated fertilizer distribution uniformity is determined by the dosing quality. The work of the fertilizer agitator has significant influence on the dosing process. To ensure high dosing uniformity, it is necessary to provide conditions of constant movement of fertilizer particles near the dosing slots with the help of an agitator. The following forces and reactions act upon the agitator: weight of fertilizer layer G , standard reaction of agitator surface N , force of friction of fertilizer layer on the agitator F_f , and reaction of back pressure of immovable part of fertilizers Q . Due to the fact that the direction of back pressure force Q is unknown, additional equation has been comprised on the principle of possible movements. A model for calculation of power, required for agitator actuator, was devised on the basis of deduced connections. To evaluate the influence of agitator parameters, a computer modeling of dosing process was carried out. It is stated that the increase of paddle lift angle leads to considerable power increase on agitator actuator. Improvement of parameters of the devised agitator allowed to reduce energy costs of dosing and increase uniformity of fertilizer application by spinner distributor.

Bibliography

1. Research of self-loading mineral fertilizer distributor work / K.P.Andreyev, V.A.Makarov, A.V.Shemyakin, M.Y. Kostenko // Digest of scientific works of Senate of Young Scientists of Ryazan state agrotechnological university. – Ryazan: FSBEI HE RSATU, 2015. - Issue 1.– pp. 140-143.
2. Kostenko, M.Y. Construction of self-loading mineral fertilizer distributor // K.P. Andreyev, A.V. Shemyakin, M.Y. Kostenko // New science: up-to-date state and ways of development. - 2016. - № 116-2. - pp. 136-139.
3. Makarov, V.A. Self-loading fertilizer distributor / V.A. Makarov, M.Y. Kostenko, K.P. Andreyev // Mechanisation and electrification of agriculture. - 2015. - № 3. - pp. 2-4.
4. Mineral fertilizer distributor with separation of large additives / K.P. Andreyev, V.A. Makarov, A.V. Shemyakin, M.Y. Kostenko // Digest of scientific works of Senate of Young Scientists of Ryazan state agrotechnological university. – Ryazan: FSBEI HE RSATU, 2015. - Issue 1.– pp. 241-244.
5. Improvement of spinner distributors for surface application of mineral fertilizers / K.P.Andreyev, V.A. Makarov, A.V.Shemyakin, M.Y. Kostenko // Vestnik of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev. - 2017. - № 1 (33). - pp. 54-59.
6. Andreyev, K.P. Research on flight path of mineral fertilizer particles in the work of spinner distributors / K.P.Andreyev // New science: Theoretical and practical insight. – 2016. - № 117-2. - pp. 105-108.
7. Research on fertilizer particle movement about the agitator paddle / K.P.Andreyev, V.A.Makarov, A.V.Shemyakin, M.Y.Kostenko, N.A.Kostenko // Vestnik of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev. - 2016. - № 4 (32). - pp. 65-68.