

Определение угла установки лопаток рассеивающего диска

Е.В. Припоров, к.т.н., ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Учёными Кубанского ГАУ разработана конструкция центробежного аппарата с подачей материала вдоль лопаток, что исключает отражение частиц и повышает качество поверхностного распределения удобрений [1, 2].

Важный параметр центробежного аппарата, от которого зависит качество рассева удобрений, – угол установки лопаток. На величину этого угла оказывает определяющее влияние коэффициент трения частиц по поверхности лопатки. В зависимости от угла установки лопаток выбирается место подачи на рассеивающий диск. Выбор оптимального места подачи на диск обеспечивает необходимую зону рассева и исключается заброс за корпус машины. Выбор необходимого места подачи – главная проблема во время настройки центробежного аппарата. Изменение коэффициента трения требует корректировки угла установки лопаток и изменения места подачи на рассеивающий диск. Эти работы при отсутствии необходимых приборов проводятся интуитивно и вызывают увеличение времени настройки и повышение расхода минеральных удобрений.

М.И. Васильковский и В.М. Хроликов установили, что коэффициент трения определяется методами, предназначенными для испытания несипучих тел [3]. Эти методы вносят погрешность в определяемую величину из-за того, что не

учитывают сыпучесть удобрений. На коэффициент трения в процессе вращения рассеивающего диска влияют состояние поверхности и другие факторы, которые невозможно учесть в процессе проведения исследований в стационарных условиях.

Цель настоящей работы – проведение сравнительной оценки точности и достоверности значений коэффициента трения при его определении в процессе работы центробежного аппарата.

Материал и методы исследования. Известен способ определения коэффициента трения скольжения по величине угла установки лопаток к радиусу в процессе работы центробежного аппарата [4]. Для определения коэффициента трения используется прибор, включающий плоский рассеивающий диск с лопатками, консольно закреплённую ловушку с 10 ячейками и коническую воронку для подачи материала. Место установки ловушки задаётся расстоянием от центра диска до центральной перегородки ловушки, равным $0,85 R_d$ от продольной оси агрегата. Место установки воронки задаётся расстоянием $0,45 R_d$ от центра диска и углом 72° по направлению вращения диска от места установки воронки до продольной оси агрегата [4].

На начальном этапе исследования лопатки устанавливаются радиально с углом, равным $\alpha_p = 0$. Этому значению угла установки лопаток соответствует коэффициент трения $f = 0,5$. Засыпают исследуемый материал в воронку и включают установку. Определяют массу материала в первых

пяти и вторых пяти ячейках ловушки. Если массы в первых пяти ячейках, по ходу вращения диска, больше, чем в остальных пяти ячейках, то угол установки лопаток уменьшают на 1°. Лопатки поворачивают на 1° от радиального, против вращения диска, используя прибор, и закрепляют. Изменение угла установки продолжают до момента, когда будет достигнуто равенство масс в отмеченных ячейках ловушки. Фиксируют угол установки, при котором выполняется это условие. Используя номограмму, определяют величину коэффициента трения материала по лопатке диска [5].

По этой методике были определены значения угла установки лопаток при рассеиве гранулированных минеральных удобрений: гранулированная мочеви́на, гранулированный суперфосфат, диаммофос, нитроаммофоска. Условия проведения опыта: масса материала 0,5 кг, повторность трёхкратная.

По значению угла установки лопаток с использованием номограммы, были определены коэффициенты трения удобрений о поверхность лопатки. Углы установки лопаток и коэффициенты трения гранулированных минеральных удобрений по результатам опыта представлены в таблице.

Второй известный способ определения коэффициента трения в процессе работы центробежного аппарата – определение угла установки лопаток по авторскому свидетельству [6]. Основные параметры прибора: радиус рассеивающего диска R_q , расстояние от оси прибора до центра диска R_a , радиус подачи материала на рассеивающий диск r_0 , угол установки лопаток положительный и отрицательный $+\alpha_p$ и $-\alpha_p$ соответственно.

Схема прибора для определения угла установки лопаток представлена на рисунке 1 [6].

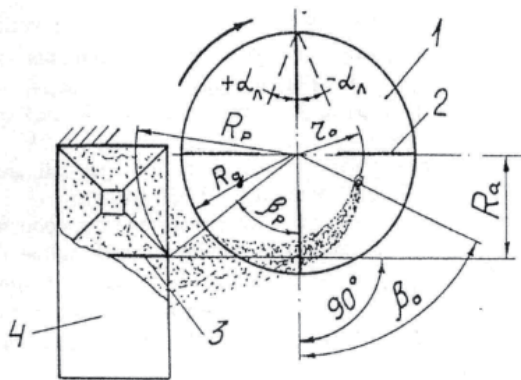


Рис. 1 – Схема установки ловушки:
1 – центробежный диск; 2 – лопатка; 3 – перегородка; 4 – ловушка

До начала испытаний проводится размещение ловушки с двумя ячейками и конусной воронки для подачи материала в строго определённом месте установки в зависимости от исследуемого материала.

Расстояние от центра рассеивающего диска до торца перегородки, разделяющей ловушку на две

части, остаётся неизменным и определяется по выражению [6]:

$$R_a = R_q \cos \arctg \left[\frac{\cos \phi_0}{1 + \sin \phi_0} \right], \quad (1)$$

где R_q – радиус рассеивающего диска, мм;
 ϕ_0 – угол трения сыпучего материала по лопатке, принятый при расчётах за средний, град.

Угол β_0 между прямой, соединяющей центр места подачи сыпучего материала, и нормалью к плоскости центральной перегородки, ловушки определяется по выражению [6]:

$$\beta_0 = \left[\frac{\cos \phi_0}{(1 - \sin \phi_0)} \right] \ln \left[\frac{2R_q}{r_0(1 + \sin \phi_0)} \right] - \arctg \left[\frac{\cos \phi_0}{1 + \sin \phi_0} \right]. \quad (2)$$

Анализ литературных источников свидетельствует, что оптимальный радиус диска выбирается в интервале 0,4–0,6 м, частота его вращения 9 с⁻¹, число лопаток желобчатого профиля 2–4, высота лопатки – до 50 мм. Заострение верхней кромки снижает рикошетирование в процессе захвата лопаткой.

Методика определения угла установки лопаток предусматривает на начальном этапе проведение тарировки прибора. Цель работы – определить направление изменения угла установки лопаток. Лопатки устанавливают радиально, что соответствует углу установки лопаток $\alpha_p=0$. Этой величине угла установки лопаток соответствует угол трения $\phi_0=26,56^\circ$, а коэффициент трения $f=0,5$. Расстояние от центра перегородки прибора до центра рассеивающего диска составляет:

$$R_a = 0,854 \cdot R_q.$$

Место установки ловушки задаётся параметром $C=0,45R_q$ и углом β_0 , величина которого остаётся неизменной в процессе опыта.

По завершении настройки проводят опыт и определяют массу удобрений в первой и второй ячейках по ходу вращения диска. Если масса материала в первой ячейке больше, чем во второй, то лопатки отклоняют от радиального положения на угол 1° против направления вращения диска (отрицательный угол установки лопаток α_p ; рис. 1). Изменение угла установки лопаток проводится до момента, когда будет достигнуто равенство масс в ячейках ловушки. Зафиксировав угол установки лопаток, по расчётным формулам определяют значение коэффициента трения в зависимости от знака и величины угла.

При положительном значении угла установки лопаток ($+\alpha_p$; рис. 1) значение коэффициента трения $f < 0,5$ определяется по выражению [6]:

$$f = 0,5 - 0,0359\alpha_p - 0,0004K_R - 0,0065\alpha_p K_R + 0,0002\alpha_p^2, \quad (3)$$

где f – коэффициент трения скольжения исследуемого материала;

α_p – положительное значение угла установки лопаток к радиусу рассеивающего диска;
 K_R – постоянная прибора, 0,6–0,8 [6].

Из дифференциального уравнения движения частиц по шероховатой поверхности следует, что при малом значении коэффициента трения возрастает время относительного движения частицы и уменьшается время совместного их движения с лопаткой [7].

График зависимости коэффициента трения от угла установки лопаток при $f < 0,5$ и $\alpha_p \geq 0$ представлен на рисунке 2.

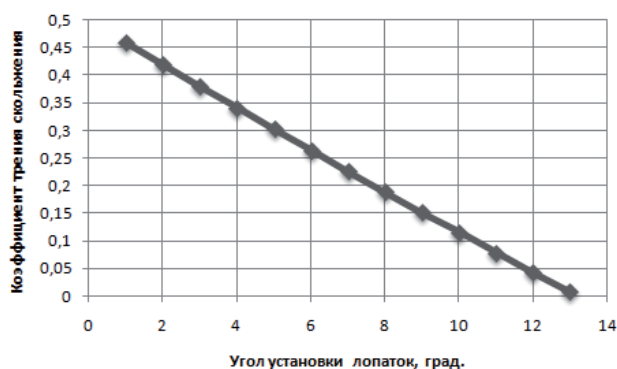


Рис. 2 – Зависимость коэффициента трения от угла установки лопаток при $\alpha_p \geq 0$ и $K_R = 0,7$

Анализ данных коэффициента трения минеральных удобрений свидетельствует, что угол установки лопаток находится в интервале от 0° до 6°.

При значении углов установки лопаток $\alpha_p < 0$ значение коэффициента трения более 0,5 и определяется по выражению [6]:

$$f = 0,5 + 0,0336\alpha_p - 0,0018K_R + 0,0092\alpha_p K_R + 0,0006\alpha_p^2. \quad (4)$$

Из дифференциального уравнения движения частицы по шероховатой поверхности следует, что при больших значениях коэффициента трения возрастает время совместного движения частицы с лопаткой и снижается время относительного движения частицы [7]. В момент слёта с лопаток диска частица приобретает кинетическую энергию.

График зависимости угла установки лопаток от коэффициента трения представлен на рисунке 3.

Анализ представленного графика свидетельствует, что коэффициент трения минеральных удобрений находится в интервале от 0° до 6°, а

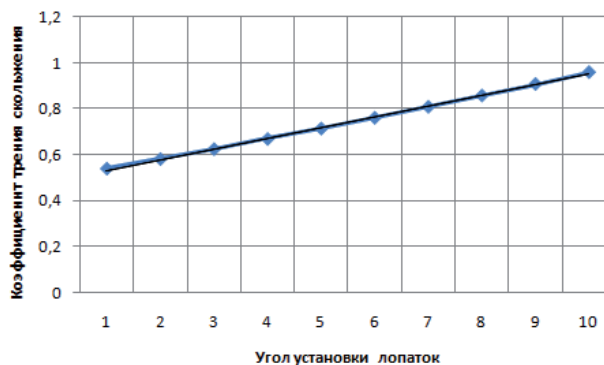


Рис. 3 – Зависимость коэффициента трения скольжения от угла установки лопаток при $\alpha_p < 0$ и $K_R = 0,7$

величина коэффициента трения – в интервале от 0,5 до 0,7 соответственно.

По результатам анализа времени движения частицы по лопатке рассеивающего диска следует, что чем выше коэффициент трения, тем больше величина накопленной кинетической и больше дальность полёта частиц в сопротивляющейся среде. Одно из направлений повышения производительности агрегатов при внесении минеральных удобрений с малым коэффициентом трения – использование предварительного разгона частиц потоком воздуха или покрытие лопатки специальным материалом, повышающим коэффициент трения.

По определённым ранее значениям угла установки лопаток для выбранных минеральных удобрений были рассчитаны значения коэффициента трения в зависимости от величины угла установки лопаток по формуле 3 или 4. Результаты определения значений коэффициента трения для рассматриваемых удобрений при известном значении угла установки лопаток и величине постоянной прибора $K_R = 0,7$ представлены в таблице.

Анализ значений коэффициента трения, величина которого определена по традиционной методике, существенно отличается от аналогичных значений величины коэффициента, определённого на приборе во время работы центробежного аппарата.

Использование прибора для определения угла установки лопаток не громоздко и имеет значительно малую трудоёмкость. Точность определения коэффициента трения по номограмме при известном угле установки лопаток менее точно, чем при расчёте этих величин по расчётным формулам.

Коэффициент трения скольжения для минеральных удобрений по поверхности лопатки

Удобрение	Коэффициент трения по справочнику	Угол установки в ходе испытаний, град.	Коэффициент трения по номограмме, $f_{ном}$	Коэффициент трения по авторскому свидетельству № 161471, $f_{рас}$	$\frac{f_{ном} - f_{рас}}{f_{рас}} \cdot 100$
Мочевина гранулированная	–	+5	0,305	0,307	0,6
Суперфосфат гранулированный	0,55	-1	0,533	0,539	1,1
Нитроаммофоска	0,48	+1	0,455	0,459	0,8
Диаммофос	0,58	-1,5	0,556	0,56	0,7

Коэффициенты трения по двум рассматриваемым методикам практически совпадают. Величина расхождения между этими значениями коэффициентов не превышает 1,5%.

Выводы. При значении коэффициента трения скольжения минеральных удобрений по лопатке центробежного аппарата до 0,5 угол установки лопаток к радиусу устанавливается положительным в интервале от 0 до 6°, используя рисунок 3. При коэффициенте трения более 0,5 угол установки лопаток к радиусу – отрицательный и для минеральных удобрений находится в интервале от 0 до -6°. Коэффициенты трения материала, определённые по стандартной методике, отличаются от значений величин, которые определены по углу установки лопаток с использованием номограммы или расчётных зависимостей. Значение коэффициента трения, определённого по номограмме, несущественно отличается от расчётного значения, величина которого установлена по расчётным зависимостям. Величина расхождения – 1,5%. Методика определения коэффициента трения по расчётным формулам, с использованием прибо-

ра, имеет меньшую трудоёмкость и обеспечивает высокую точность в сравнении с методикой его определения по номограмме.

Литература

1. Патент на изобретение RUS 2177216 Устройство для поверхностного рассева минеральных удобрений и других сыпучих материалов / Якимов Ю.И., Иванов В.П., Припоров Е.В., Заярский В.П., Волков Г.И., Селивановский О.Б.; заявл. 14.03.2000.
2. Патент на изобретение RUS 2177217 Центробежный рабочий орган для рассева сыпучего материала / Якимов Ю.И., Припоров Е.В., Иванов В.П., Заярский В.П., Волков Г.И., Селивановский О.Б.; заявл. 14.03.2000.
3. Василковский М.И., Хроликов В.М. Методика определения коэффициента трения для сыпучих зерновых материалов // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. Киев, 1975. Вып. 5. С. 35–37.
4. Якимов Ю.И. Определяющее условие качественного внесения минеральных удобрений машинами с центробежными рабочими органами // Сборник научных трудов. Краснодар, 1984. Вып. 271. С. 3–15.
5. Якимов Ю.И. Исследование факторов, влияющих на распределение удобрений однодисковым центробежным аппаратом // Состояние и перспективы машин для внесения минеральных удобрений: матер. научн.-технич. совета. Вып. 26. М., 1969. С. 81–89.
6. Патент на изобретение №161471 USSR Способ определения трения сыпучего материала о твёрдую поверхность / Ю.И. Якимов; заявл. 22.09.1983.
7. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев: УАСХН, 1960. 276 с.