

УДК 631.316

Использование априорной информации для построения полиномиальных моделей взаимодействия сферических дисков дискаторов с почвой

Кушнарев А., д-р техн. наук, Кравчук В., д-р техн. наук, (УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого), Кушнарев С., канд. техн. наук, (Нежинский агротехнический институт НУБиП), Чуб С., аспирант (ТГАТУ)

В статье приведена методика планирования двухфакторного эксперимента с использованием ОЦКП второго порядка; рассмотрены процедуры вычислений коэффициентов полиномиальных моделей для этого плана, изложены результаты исследований влияния угла установки (β) и угла атаки (α) дисков на значения тягового сопротивления диска и угловой скорости диска дискатора.

В последние десятилетия в системе обработки почвы дисковые почвообрабатывающие орудия нашли широкое распространение, постепенно вытесняя плуги и культиваторы. Рабочим органом дисковых орудий являются, как правило, сферические (вырезные и сплошные) диски разных диаметров. Сферические диски сегодня используются при выполнении различных технологических операций. Они применяются для лущения стерни, основной обработки почвы, грядообразования, нарезки борозд, окучивания и даже выкапывания картофеля. Такая многофункциональность дисковых органов обеспечивается широким диапазоном установки дисков под углом к направлению движения (угол атаки α) и углом наклона диска в продольно-вертикальной плоскости (угол установки диска β) (рис. 1).

До конца прошлого столетия сферические дисковые органы устанавливались только жестко на одном валу, образующая секция дисков. Такое конструктивное решение приводит к вращению всех дисков, сидящих на одном валу, с равной угловой скоростью (ω), что вызывает притормаживание одних дисков и активизацию вращения других. Второй недостаток единой оси (оси дисковой батареи) – низкое расположение распорных втулок, что приводит к наматыванию и забиванию оси батареи (вал+распорные втулки) землей и растительными остатками.

В последние годы появились дисковые орудия дискатора, у которых каждый диск расположен на индивидуальной оси и отклонен от вертикальной плоскости на угол β (рис. 2).

Каждый ряд дисков имеет возможность плавной регулировки угла атаки и, соответственно, рабочей

ширины захвата диска. Диск при этом выполняет роль лемеха и отвала, обеспечивая оборот отрезаемого пласта, его крошение, а также снижение требуемого тягового усилия трактора. Отсутствие в конструкции дисковых батарей единой оси позволяет работать таким орудием не только во влажную погоду, но также на землях с любым количеством сорной растительности, при этом исключается наматывание на ось диска и плотное забивание рядов дисков. Следовательно, отпадает необходимость применения в конструкции чистиков, так как в процессе работы происходит самоочистка диска. Применение дискаторов обеспечивает снижение расхода топлива на обработку почвы на 30-50 %.

Специфика взаимодействия автономно закрепленного на одной оси дискового рабочего органа с почвой требует исследования кинематиче-

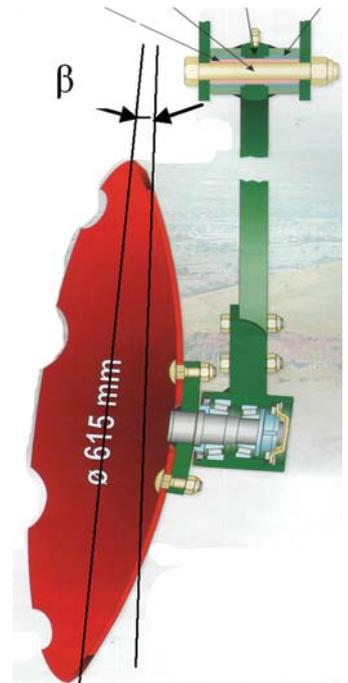


Рис. 2. Индивидуальная подвеска дисков



Рис. 1. Установка дисков дисковых орудий: а – угол α – угол атаки дисков, б – угол β – угол установки диска в продольно-вертикальной плоскости

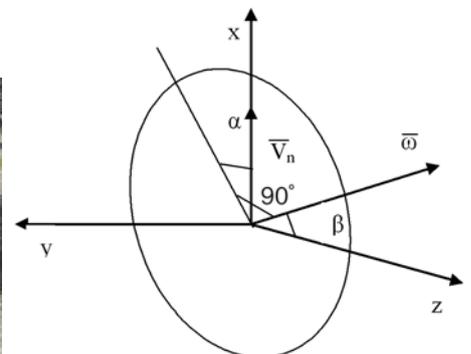


Рис. 3. Расчетная схема для определения кинематических характеристик точек сферического диска дискатора

ских характеристик точек диска и движения почвы по диску. Расчетная схема для кинематических исследований приведена на рис. 3.

Абсолютная скорость точек сферического диска есть векторная сумма переносной V_n скорости (поступательной скорости агрегата) и относительной скорости вращательного движения $\vec{\omega}$, где $\vec{\omega}$ – вектор угловой скорости диска.

В проекциях на координатные оси скорость точек диска определяется как:

$$\left. \begin{aligned} V_x &= -r\omega \cos \alpha \sin \omega t + V_n \\ V_y &= -r\omega \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t \\ V_z &= \omega R \cos \beta \cos \omega t \end{aligned} \right\}.$$

Для вычисления проекций и определения абсолютных скоростей и ускорений точек диска нам необходимо знать значения угловой скорости диска ($\vec{\omega}$). Информации по теоретическому и экспериментальному определению угловых скоростей дисков почвообрабатывающих машин и влиянию на их значение параметров установки дисков (α и β) специальные публикации не содержат. К сожалению, из-за неголономности и нестационарности связей диска с почвой методами теоретической механики эту задачу решить не представляется возможным. Для аналитического решения необходимо экспериментальным путем определить угловую скорость диска ($\vec{\omega}$). Техническое обеспечение экспериментальных исследований рассмотрено ранее [1].

Целью данной работы является методика организации проведения экспериментов, свертывания результатов экспериментов и анализ полученных данных. В основу экспериментальных исследований заложена методология многофакторного эксперимента [2-5].

Проведение многофакторных экспериментов включает следующие этапы работ:

- 1) предварительное изучение объекта исследований;
- 2) выбор факторов и плана экспериментов;
- 3) кодирование факторов;
- 4) разработка матрицы планирования экспериментов;
- 5) рандомизация экспериментальных исследований;
- 6) проведение экспериментов;
- 7) анализ и обработка полученных результатов;
- 8) определение коэффициентов регрессии;
- 9) оценка значащих коэффициентов регрессии;
- 10) построение полиномиальной модели и проверка ее на адекватность.

Предварительная оценка имеющихся результатов исследований и анализ процесса взаимодействия сферических дисков с почвой позволяет выдвинуть гипотезу, что тяговое сопротивление и угловая скорость вращения диска вокруг оси являются нелинейными функциями угла атаки (α), угла установки (β) дисков, а также поступательной скорости агрегата (V_n). При первом рассмотрении задачи напрашивается трехфакторный эксперимент. Однако проведение поисковых экспериментов

в полевых условиях убедило нас в невозможности зафиксировать на заданном уровне “поступательную” скорость. Большой диапазон скорости на гистограмме, практически покрывающий весь диапазон уровней возможного варьирования (от 1 до 3 м/с), характер автокорреляционной функции и спектральной плоскости убеждают окончательно, что в полевых условиях скорость агрегата не может выступать в виде управляемого фактора в многофакторных экспериментах (рис. 4).

Таким образом, возникает задача проведения двухфакторного эксперимента второго порядка.

Модель процесса в двухфакторном эксперименте второго порядка имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2,$$

где y – изучаемый фактор; x_1 и x_2 – варьируемые факторы; $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ – эмпирические коэффициенты, требующие определения по результатам многофакторного эксперимента.

Существует большое многообразие планов двухфакторных экспериментов второго порядка; они по уровню отражения реальности описываемых процессов почти равноценны, но отличаются объемом экспериментальных работ.

Рассмотрим в качестве альтернатив три наиболее часто встречающихся плана:

- 1) *центральный композиционный рототабельный план второго порядка для двух факторов*, реализация которого включает:

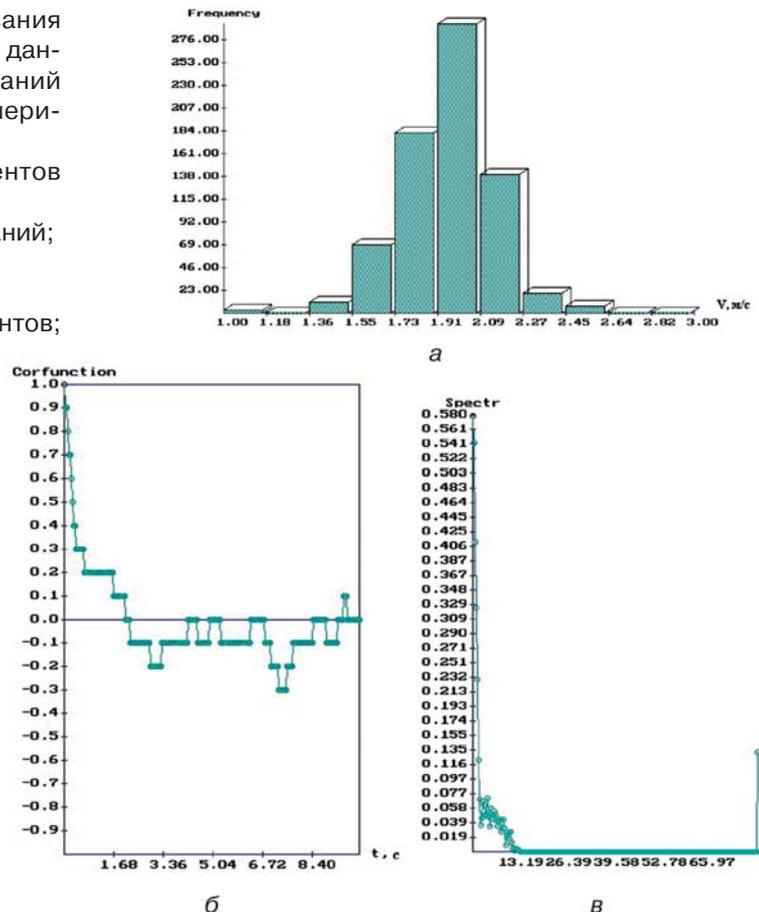


Рис. 4. Типичная гистограмма (а), автокорреляционная функция (б) и спектральная плотность (в) скорости движения дискового агрегата

– проведение 13-ти экспериментов (при необходимости – определение 6-ти неизвестных);

– обеспечение параметров регулируемого фактора в звездных точках в значениях +1,414 и -1,414 (что иногда весьма проблематично);

2) *центральный некомпозиционный план второго порядка* [5], для реализации которого необходимо:

– провести 10 вариантов эксперимента;
– обеспечить параметры x_2 на уровнях +0,866 и -0,866.

3) *двухфакторный ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) второго порядка*, который в последнее время начинает широко использоваться в инженерной практике благодаря некоторым преимуществам перед другими планами.

Особенность поставленной задачи состоит в том, что объектом исследования является не сам процесс, а статистические характеристики, описывающие этот процесс в установившемся режиме [7]. При этом выходная величина определяется практически без ошибки (ввиду большого количества измерений), и результат каждого опыта достаточно точно воспроизводится при его повторении, если отсутствуют случайные выбросы. В связи с этим нет необходимости в проверке однородности выборочных дисперсий и воспроизводимости, в проведении рандомизации и дублировании опытов. В то же время возникает сложность при оценке значимости коэффициентов и проверке адекватности математической модели в форме полинома [8].

Проблема адекватности и значимости коэффициентов возникает и при исследовании математической модели объекта на ЭВМ [8]. В этом случае приемлемы следующие пути ее решения:

а) считать все коэффициенты значимыми, так как практически дисперсия опытов отсутствует (ввиду ее малозначимости);

б) оценку проводить на основе принятого уровня точности аппроксимации, что связано с искусственным введением дисперсии воспроизводимости. Приняв значение ошибки опыта для выходного параметра, проверку адекватности модели можно провести по F-критерию.

Однако соответствие аппроксимирующего полинома аппроксимируемой кривой или их семейству можно осуществить по максимальному абсолютному отклонению значений выходного параметра, вычисленного по полиному, от значений, определенных по статистическим характеристикам.

Последний путь уступает в математической строгости первым двум. В то же время, учитывая наглядность графического описания статистических свойств объекта, этот путь вполне приемлем при аппроксимации статистических характеристик.

В общем случае нет необходимости в последовательном характере проведения экспериментов (вначале первого порядка, затем – второго), поскольку характер статистических характеристик уже известен. Например, если статистическая характеристика показывает, что связь $y = f(x_1, x_2)$ является нелинейной, то, как правило, нет необходимости в первоначальном использовании более простых моделей.

Учитывая определенную сложность оценки адек-

ватности модели, представляется целесообразным использовать нелинейные планы даже в тех случаях, когда нелинейность статистических характеристик едва заметна. О степени нелинейности можно судить по величине коэффициентов при квадратичных членах полинома. Следует отметить, что нелинейные планы более универсальны.

ОЦКП второго порядка двух факторов представлен в табл. 1.

Особенностью этого плана является:

– самое меньшее количество вариантов исследований из существующих планов двухфакторных экспериментов второго порядка (9 вариантов);

– всего три, причем целочисленных, уровня экспериментов (+1, 0, -1).

Особенность представления априорной информации. При тензометрировании механических процессов параметры фиксируются в реальном масштабе времени, причем с заданным интервалом времени (шагом квантования), который как правило, составляет 0,04 с. Формируется массив данных, включающий от одной до нескольких тысяч значений изучаемого параметра. Следовательно, из-за большого количества наблюдений “ n ” ошибка опыта составляет менее 0,5-1,0%, и вопрос об определении однородности и сопоставимости результатов экспериментов становится второстепенным. В УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого отрабатывается программа автоматизированного представления результатов тензометрирования изучаемого процесса в виде гистограмм, автокорреляционных функций и спектральных плотностей. При проведении экспериментов по работе дисков в поле исследовались две функции отзыва:

1 – как влияет угол атаки α и угол установки β сферического диска на величину тягового сопротивления 0;

2 – как влияет угол атаки α и угол установки β на значение угловой скорости ω и, в конечном виде, на λ -соотношение поступательной скорости V_n к окружной скорости кромки диска $\omega_D R_D$ (назовем коэффициентом кинематического режима):

$$\lambda = \frac{V_n}{\omega_D R_D}.$$

Факторы варьируют в следующем диапазоне:

фактор $x_1(\alpha)$: +1(30°); -1(10°) 0(20°);

фактор $x_2(\beta)$: +1(30°); -1(10°); 0(20°).

Результаты экспериментов.

Полученная в результате экспериментов информация представлена в виде гистограмм тяговых сопротивлений графиков автокорреляционной функции, спектральной плотности (рис. 5) и числа оборотов диска (рис. 6).

На рис. 6 представлены образцы гистограммы, автокорреляционной функции и спектральной плотности угловой скорости ω .

Для вычисления эмпирических коэффициентов

Таблица 1
ОЦКП второго порядка
для двух факторов

№ эксперимента	X_1	X_2
1	-1	-1
2	-1	+1
3	+1	+1
4	+1	-1
5	+1	0
6	-1	0
7	0	+1
8	0	-1
9	0	0

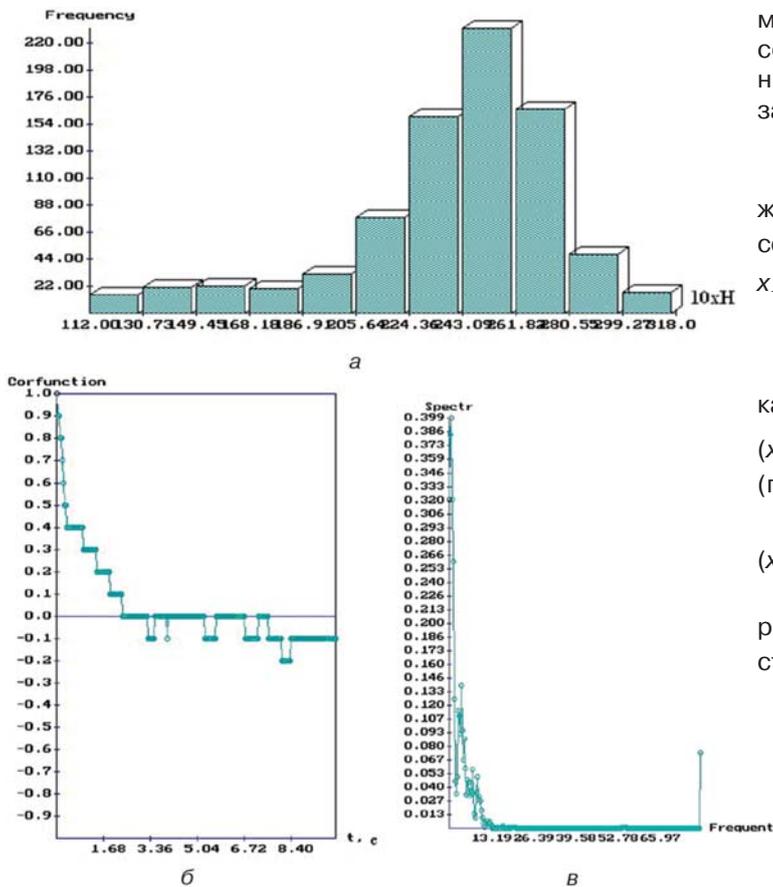


Рис. 5. Типовая гистограмма (а), автокорреляционная функция (б) и спектральная плотность (в) тягового сопротивления диска дискатора

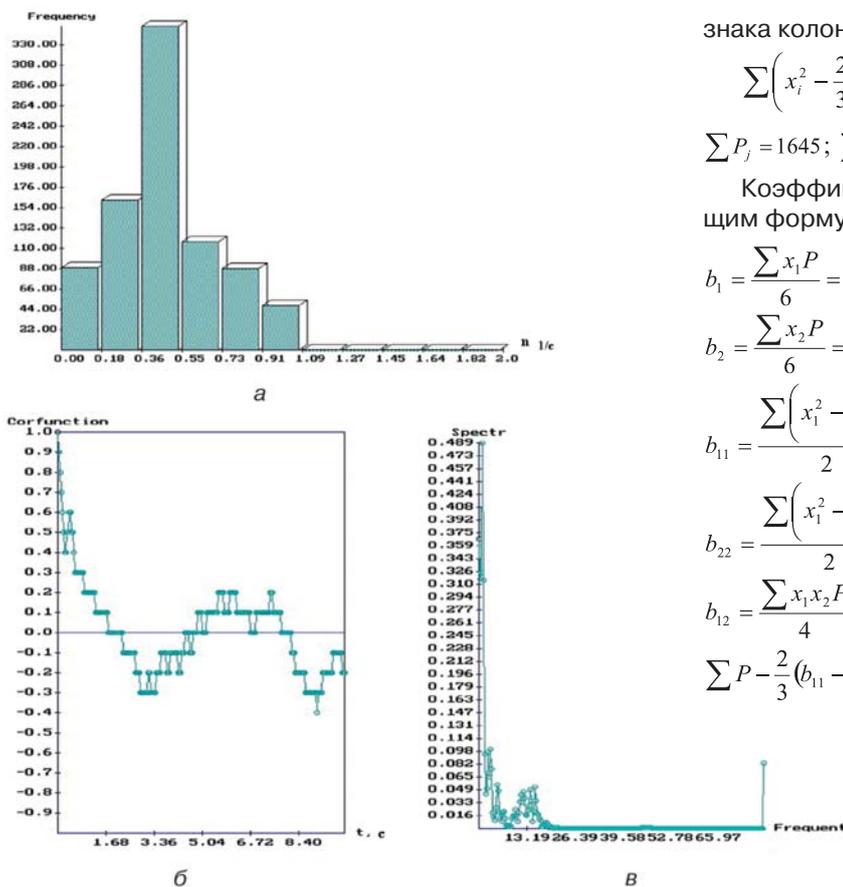


Рис. 6. Типичная гистограмма (а), автокорреляционная функция (б) и спектральная плотность (в) угловой скорости диска дискатора

моделей процессов составим расчетную таблицу, состоящую из 15 граф и 9 строк. Средние величины, полученные в результате экспериментов, занесены в графу табл. 2.

Далее проведем расчетные операции. Промежуточные нормированные значения $x_i^2 - 2/3$ внесем в графу 5 и 6. Например, по второй строке $x_1 = -1$, тогда $x_1^2 = 1$, $x_1^2 - 2/3 = 1/3$;

По строке 7 $x_1 = 0$, тогда $x_1^2 = 0$, $x_1^2 - 2/3 = -2/3$.

В графы 7 и 8 заносим значения $(x_i^2 - 2/3)P_i$. Так как в строке 2 $P_2 = 217$ кг, а в столбце 5 $(x_1^2 - 2/3) = -1/3$, то получим в ячейке со строкой 2 (графа 7) значение $217 \cdot 1/3 = 72,26$.

По строке 7: $P_7 = 220$, $(x_1^2 - 2/3)P_7 = 220 \cdot 2/3 = -147,7$.

В графы 9 и 10 заносим произведения нормированного значения x_i на значения P_i по каждой строке:

строка 2: $x_1 P_2 = -217$; $x_2 P_2 = +217$;

строка 7: $x_1 P_7 = 0$; (т.к. $x_1 = 0$); $x_2 P_7 = 230$.

Составим вспомогательную колонку 11 как произведение нормированных значений $x_i x_j$ по строкам, получим: $+1$; -1 ; $+1$; -1 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 .

В колонку 12 внесем значения произведения $x_i x_j P_j$. Так, в строке 2 будем иметь -217 , а в строке 7 $\rightarrow 0$, так как $x_1 x_2 = 0$.

Просуммируем значения строк с учетом знака колонки (4, 7, 8, 9, 10, 12):

$$\sum \left(x_i^2 - \frac{2}{3} \right) P_j = +10,36; \quad \sum \left(\frac{2}{3} - \frac{2}{3} \right) P = +13,78;$$

$$\sum P_j = 1645; \quad \sum x_1 P = 124 \quad \sum x_2 P = 243; \quad \sum x_1 x_2 P = -24.$$

Коэффициенты полинома вычисляем по следующим формулам:

$$b_1 = \frac{\sum x_1 P}{6} = \frac{124}{6} = 20,067;$$

$$b_2 = \frac{\sum x_2 P}{6} = \frac{243}{6} = 40,0;$$

$$b_{11} = \frac{\sum \left(x_1^2 - \frac{2}{3} \right) P}{2} = \frac{10,36}{2} = 5,18;$$

$$b_{22} = \frac{\sum \left(x_2^2 - \frac{2}{3} \right) P}{2} = \frac{13,78}{2} = 6,89;$$

$$b_{12} = \frac{\sum x_1 x_2 P}{4} = \frac{-24}{4} = -6;$$

$$\sum P - \frac{2}{3} (b_{11} - b_{22}) = \frac{1645}{9} - \frac{2}{3} (5,18 - 6,84) = 182,77 + 0,74 = 183,5.$$

Получим полиномиальное уравнение, описывающее процесс влияния углов α и β на тяговое сопротивление при установленной передаче:

$$P = 183,53 + 20,67x_1 + 40,05x_2 + 5,18x_1^2 + 6,89x_2^2 - 12x_1x_2.$$

Сводная таблица для определения коэффициентов полиномиальной модели влияния установки углов α и β дисков на их тяговое сопротивление

№ пп	x_1	x_2	$P_{э}$	$(x_1^2 - 2/3)$	$(x_2^2 - 2/3)$	$(x_1^2 - 2/3)P_{э}$	$(x_2^2 - 2/3)P_{э}$	$x_1P_{э}$	$x_2P_{э}$	x_1x_2	$x_1x_2P_{э}$	$P_{т1}$	$P_{т2}P_{э}$	Ошибка, %
1	-1	-1	123	1/3	1/3	-40,96	40,96	-123	-123	+1	123	122,4	+0,6	0,48
2	-1	+1	217	1/3	1/3	72,26	72,26	-217	217	-1	-217	227,41	-10,41	4,7
3	+1	+1	240	1/3	1/3	79,92	79,92	240	240	+1	240	244,22	-4,2	1,75
4	+1	-1	170	1/3	1/3	56,61	56,61	170	-170	-1	-170	187,74	-17,74	10,4
5	+1	0	204	1/3	-2/3	67,93	-136,07	204	0	0	0	209,35	-5,35	2,6
6	-1	0	150	1/3	-2/3	49,95	-100,05	-125	0	0	0	168	-18	10,7
7	0	+1	220	-2/3	1/3	-147,74	73,26	0	230	0	0	230,9	-10,89	4,9
8	0	-1	141	-2/3	1/3	-90,47	46,95	0	-141	0	0	149,81	-8,89	6,3
9	0	0	180	-2/3	-2/3	-120,76	-120,06	0	0	0	0	183,5	-3,5	1,9
Итого	3	1645			+10,36	13,78	124	243		-24				

Следующий этап – определить, насколько адекватна модель реальному процессу. Для этого [7] определим расчетные (теоретические) значения P в точках проведения экспериментов и результаты сведем в графу 13 табл. 2. На графиках приведем расчетные и экспериментальные кривые и по величине расхождения получим фактические отклонения в экспериментальных точках. Как видно из анализа таблицы и графика, максимальное отклонение получено в точке $\alpha = 10^\circ$; $\beta = 20^\circ$ и составляет 10,7%.

Подобные процедуры проведем (табл. 3) при определении влияния установки углов α и β на значение коэффициента кинематического режима λ . При этом результаты экспериментов по угловым скоростям пересчитываем в коэффициент кинематического режима. Чтобы раскрыть вычислительные процедуры теоретических значений функции отклика, несколько видоизменим таблицу.

Для этого в графу 8 подставим нормированные значения x_1, x_2 .

Расчет коэффициентов полинома производится следующим образом:

$$b_1 = \frac{-1,73}{6} = -0,288; \quad b_2 = \frac{-1,19}{6} = -0,198;$$

$$b_{12} = \frac{0,3}{2} = 0,15; \quad b_{22} = \frac{0,12}{2} = 0,06;$$

$$b_{12} = \frac{0,21}{4} = 0,052; \quad b_0 = 1,45.$$

Тогда уравнение модели влияния углов установки диска α и β на коэффициент кинематического режима будет иметь вид:

$$\lambda = 1,45 - 0,288x_1 - 0,198x_2 + 0,15x_1^2 + 0,06x_2^2 + 0,052x_1x_2.$$

Сопоставим полученные расчетные и экспериментальные результаты по 9 вариантам экспериментов (табл. 4).

В колонку 8 внесем результаты подсчета λ по полученному уравнению регрессии – расчетное, теоретическое значение исследуемой функции.

На рис. 7 приведены графики зависимости тяго-

Сводная таблица для определения коэффициентов полиномиальной модели влияния углов установки α и β дисков на коэффициент кинематического режима

№ п/п	$\lambda_{э}$	$(x_1^2 - 2/3)\lambda_{э}$	$(x_2^2 - 2/3)\lambda_{э}$	$x_1\lambda_{э}$	$x_2\lambda_{э}$	$x_1x_2\lambda_{э}$	$\lambda_p = 1,45 - 0,288x_1 - 0,198x_2 + 0,15x_1^2 + 0,06x_2^2 + 0,052x_1x_2$
1	2,14	0,713	0,713	-2,14	-2,14	-2,14	$1,45 + 0,288 + 0,198 + 0,15 + 0,06 + 0,052 = 2,198$
2	1,63	0,543	0,543	-1,63	-1,63	-1,63	$1,45 + 0,288 - 0,198 + 0,15 - 0,06 - 0,052 = 1,578$
3	1,12	0,373	0,373	1,12	1,12	1,12	$1,45 - 0,288 - 0,198 + 0,15 + 0,06 + 0,052 = 1,166$
4	1,42	0,473	0,473	1,42	1,42	1,42	$1,45 - 0,288 + 0,198 + 0,15 + 0,06 - 0,052 = 1,518$
5	1,28	0,426	-0,854	1,28	0	0	$1,45 - 0,288 + 0,15 = 1,312$
6	1,78	0,593	-1,187	-1,78	0	0	$1,45 + 0,288 + 0,15 = 1,881$
7	1,25	-0,834	0,416	0	1,25	0	$1,45 - 0,198 + 0,06 = 1,312$
8	1,63	-1,087	0,543	0	-1,63	0	$1,45 + 0,198 + 0,06 = 1,658$
9	1,35	-0,900	-0,90	0	0	0	1,45
Итого	13,6	+0,3	0,12	-1,73	-1,19	0,21	

вого сопротивления двух дисков в зависимости от угла атаки α и угла установки в продольно-вертикальной плоскости β . Как видим, тяговое сопротивление изменяется почти в 2 раза. Так, если при углах $\alpha = 10^\circ$ и $\beta = 10^\circ$ тяговое сопротивление составляет 1228,8 Н, то при углах установки $\alpha = 30^\circ$ и $\beta = 30^\circ$ тяговое сопротивление составляет уже 2443,2 Н. Таким образом, если увеличение значений α и β не ведет к улучшению технологического процесса, то необходимо остановиться на минимальных значениях α и β , обеспечивающих заданные агротехнические требования.

Сопоставление теоретических и экспериментальных значений в экспериментальных точках

Вариант эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расчетное значение λ	2,198	1,578	1,166	1,518	1,312	1,888	1,312	1,658	1,45
Экспериментальное значение λ	2,14	1,63	1,12	1,42	1,28	1,78	1,25	1,63	1,35
Разница	-0,058	0,052	-0,046	-0,098	-0,032	-0,108	-0,012	-0,018	-0,10
Разница в %	2,7	3,2	4,1	6,9	2,5	6,1	1,96	1,72	7,4

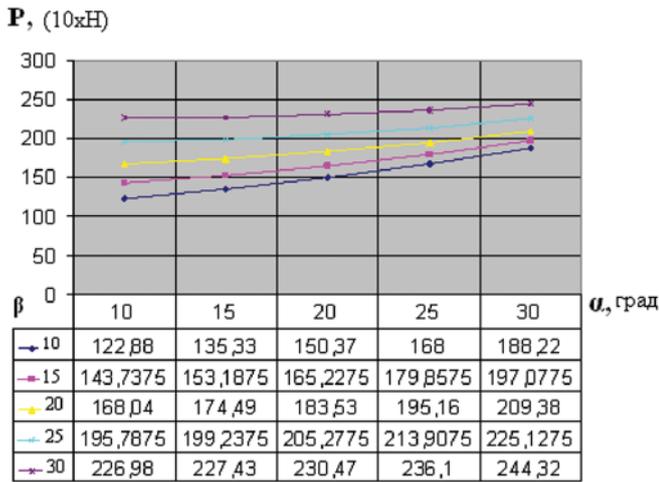


Рис. 7. Тяговое сопротивление сферических дисков P (10кН) в зависимости от угла атаки α и угла установки β

На рис. 8 приведены графики зависимости коэффициента кинематического режима λ в зависимости от углов α и β . Увеличение углов α и β ведет к уменьшению значения коэффициента кинематического режима.

Выводы

1. Рабочие органы дискаторов – сферические диски монтируются на индивидуальной оси и стойке и вращаются с индивидуальной угловой скоростью.

2. Для экспериментов, связанных с тензометрированием и имеющих большой объем наблюдений (800 и более последовательных измерений), рекомендуется ОЦКП второго порядка для двух факторов.

3. Разработана методика расчетов коэффициентов полиномиальной модели изучаемого процесса и методика оценки уровня ее адекватности.

4. Обработка результатов экспериментов позволила составить модели процессов влияния угла атаки и угла установки в продольно-вертикальной плоскости на тяговое сопротивление и коэффициент кинематического режима.

Список литературы

1. Кушнарев С.А., Погорельый В.В., Чуб С.А. Кинематика точек сферических дисков почвообрабатывающих орудий при взаимодействии с почвой // Вісник Харківського національного технічного уні-

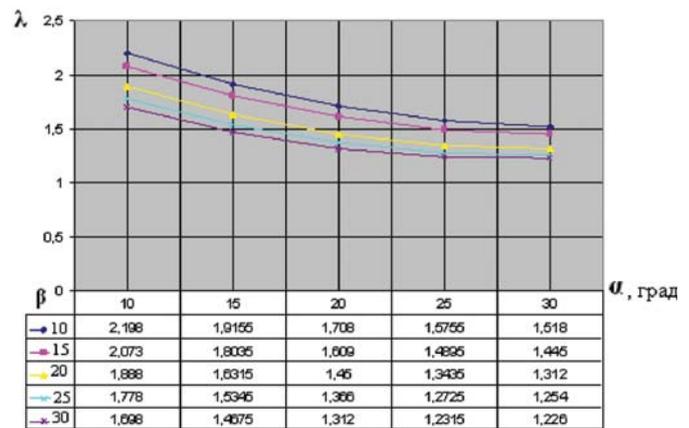


Рис. 8. Коэффициент кинематического режима сферических дисков в зависимости от угла атаки α и угла установки β

верситету сільського господарства ім. П.Василенка. – Вып. 75. Т. 1. – Харків, 2008. – С. 121-127.

2. Барашук В. Планирование эксперимента в технике. – К.: Техника, 1984. – 200 с.

3. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-технологических исследованиях. – М.: Статистика, 1973. – 192 с.

4. Калайда В.Т. Планирование эксперимента. Методы обработки результатов эксперимента и основы математической теории планирования эксперимента: Уч. пособие. – Томск: Из-во Томского университета, 1997.

5. Монтгомери Д.К. Планирование экспериментов и анализ данных. – Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.

6. Бахтин А.В., Чалый В.Д. Повышение эффективности использования ОЦКП. Научная сессия МИФИ // Информатика и компьютерные системы. Информационные технологии. Интеллектуальные системы технологий. Технологии разработки программного обеспечения. Банки данных и анализ данных. – Сб. трудов. М: 1999. – С.103-104.

7. Солодов В.С., Юдин Ю.И. Применение методов планирования активного эксперимента для идентификации комплекса «судно-трап» // Вестник МГТУ. – Том 9. – № 2. – 2006. – С.195-199.

8. Солодов В.С. Использование, построение математических моделей и статических характеристик энергетических комплексов промышленных судов // Двигателестроение. – 1980. – № 5. – С. 5.