

Кушнарев А.С.

Дискатор – новое почвообрабатывающее орудие, обеспечивающее переход от традиционной технологии производства сельскохозяйственной продукции к энергосберегающей технологии No-till



Белая Церковь, 2010

1. Дискатор – новый тип почвообрабатывающего орудия

Основной задачей обработки почвы является приведение плотности почвы к состоянию оптимальной плотности под выращивание соответствующей культуры [1]. Способ обработки почвы определяется реальным состоянием, характеризующимся равновесной плотностью почвы. Почвы с содержанием гумуса более 4 %, как правило, имеют равновесную плотность, равную оптимальной и практически обработки не требуют. Равновесная плотность почвы зависит от содержания в ней гумуса [2]. Таким образом, главной задачей органического земледелия является накопление в почвах гумуса до 4-5 % и более. Одним из агротехнических приемов повышения содержания гумуса в почве является заделка растительных остатков в верхнем (0-5см) слое почвы. Этот прием решает две фундаментальные задачи:

- 1 повышение плодородия почвы;
- 2 снижение энергоемкости на возделывание культуры, в основном, связанные с уменьшением затрат на обработку почвы.

Сегодня почвоведомы отмечают потери гумуса черноземными почвами. По данным КНИИСХ (г. Краснодар) содержание гумуса в начале прошлого века (в 1910-1920 г.) было на уровне 5,1 %, к середине прошлого века этот показатель достиг 4,1 %, а к началу нашего столетия он составил примерно 3,4 %. Следствием потери гумуса плотность почвы год от года только увеличивается, и уже достигла критических показателей, а процесс деградации почвы с начала массового применения плуга увеличился в несколько раз.

Если не остановить этот процесс сейчас, то ситуация может стать критической и даже необратимой. В сложившихся условиях у сельхозпроизводителей нет иного выхода, кроме поиска и внедрения технологий, способствующих накоплению гумуса. Отметим еще раз, что одним из элементов таких технологий является заделка растительных остатков в верхний слой почвы [3].

В системе обработки почвы дисковые почвообрабатывающие орудия в последние десятилетия 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 в различных технологических операциях. Они применяются для лущения стерни, основной обработки почвы, грядообразования, нарезки борозд, окучивания и даже уборки 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).

Среди дисковых орудий большое место занимают дисковые бороны. Особенностью конструкций дисковых борон является жесткое крепление

дисков (как правило сферических) на одном валу. Набор дисков на одном валу образует батарею дисков (рисунок 1).

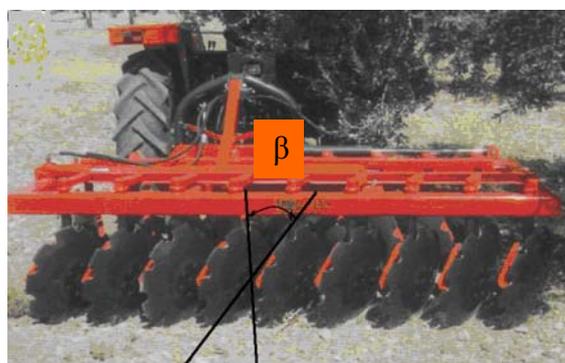


Рисунок 1. Типичная компоновка батарей дисковых борон

На качество технологического процесса влияют не только конструктивные параметры диска (диаметр, радиус сферы, форма и число вырезов), но и установка дисков к направлению движения, определяющая углом атаки (α) и углом установки в продольно-вертикальной плоскости (β) (рисунок 2).



а) угол α – угол атаки дисков



б) угол β - угол установки диска к продольно-вертикальной плоскости

Рисунок 2. Установка дисков дисковых орудий

До конца прошлого столетия сферические дисковые органы устанавливались только жестко на одном валу, соединенных с ним и образующих секцию дисков. Такое конструктивное решение приводило к вращению всех дисков, сидящих на одном валу с равной угловой скоростью (ω), что вызывает притормаживание одних дисков и активизацию вращения

других дисков. Другим недостатком единой оси (оси дисковой батареи) - низкое расположение распорных втулок. Это приводит к наматыванию и забиванию оси батареи (вал+распорные втулки) землей и растительными остатками.

Выделим особенно следующие недостатки почвообрабатывающих орудий дисковых борон:

- установка дисков на одной оси не позволяет изменять угол β и он составляет 0° ;
- сплошная ось создает малый клиренс, определяющийся разницей ($R_{д} - r_{в}$) радиуса диска $R_{д}$ – внешнего радиуса втулки $r_{в}$, (рисунок 3), что является причиной забивания почвой и растительными остатками междискового пространства;
- жесткое крепление дисков к оси приводит к вращению всех сидящих на ней дисков с одинаковой угловой скоростью. Однако действие внешних сил на каждый отдельный диск существенно отличаются по величине, поэтому одни диски будут “притормаживаться”, а другие диски “раскручиваться”, что ведет к увеличению тягового сопротивления и ухудшения качества работы.



Рисунок 3. Низкое расположение оси дисковых борон ведет к забиванию борон почвой и растительными остатками

На Украине одним из первых разработкой и изготовлением дискаторов начал заниматься СТ ВФ «Агрореммаш». Правда название таким орудиям было дано «агрегат дисковый». Сегодня СТ ВВ «Агрореммаш» выпускают

серию таких орудий (раздел 2), практически агрегируемых со всеми тракторами, эксплуатируемыми в Украине.

1.1 Особенности конструкции дискаторов

В последние десятилетия появилось новое конструктивное решение дисковых орудий, в которых вышеуказанные недостатки дисковых борон устранены.

Каждый диск расположен на индивидуальной оси. Каждый ряд дисков снабжен регулировочным устройством, обеспечивающим изменение угла атаки и рабочей ширины захвата диска. Диск при этом играет роль лемеха и отвала, что способствует лучшему обороту отрезаемого пласта, его крошению, а уменьшение работы силы трения скольжения почвы по рабочему органу за счет использования сил трения качения в подшипниках, а также особенности взаимодействия диска с почвой, ведет к снижению требуемого тягового усилия. Отсутствие в конструкции дисковых батарей единой оси позволяет дискатору работать во влажную погоду, на землях с большим количеством растительных остатков, а также на землях с любым количеством сорной растительности, при этом исключается как наматывание на ось диска так и плотное забивание рядов дисков. Отпадает необходимость применения в конструкции чистиков, т.к. в процессе работы происходит самоочистение дисков.

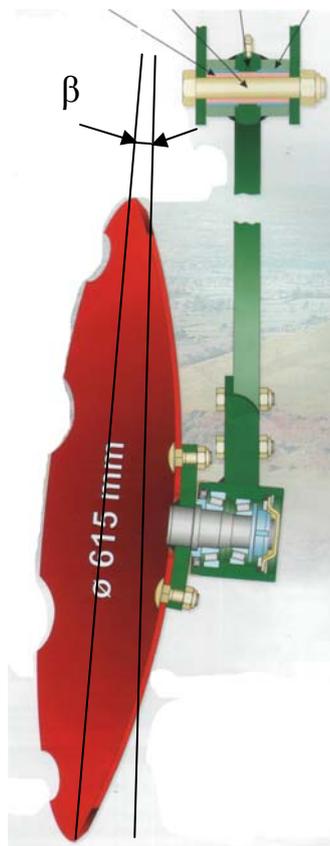


Рисунок 4. Индивидуальная подвеска дисков

Применение таких орудий обеспечивает снижение расхода топлива на обработку почвы на 30-50%.

С названием такого орудия специалисты и научная общественность пока не определились, имеется ряд названий в технической литературе такого решения, как: вариодиск, борона дисковая, дискатор, дископак и т. д. В поисковой системе Google эти орудия объединены названием “дискатор” (более 14 тыс. ссылок).

Однако некоторые украинские производители, на мой взгляд, не совсем корректно используют термин “вариодиски” и “вариокультиватор” и т. д.

Остановимся немного на содержании определения “vario” в понимании мировой практики.

Фирма Köckerling для определения технологических особенностей выпускаемых культиваторов ввела дополнительное определение к названию орудия культиватора, такие как Trio, Quadro и Vario (рисунок 5).



Рисунок 5. Почвообрабатывающее орудие Vario фирмы Köckerling

Название VARIO дано из-за возможности параллельно гидравлически регулировать желаемую рабочую глубину машины, во время работы. Кто культивирует «на глаз», может быстро и без выглубления машины подобрать соответствующую данным условиям, глубину обработки. Много рабочих органов с узкими лапами создадут непревзойденный мелко измельченный мульчирующий слой. VARIO уже в процессе первой обработки по стерне достигает оптимум распределения соломы, заделки соломы, мелкозернистости, выравнивания и завершающего прикатывания. VARIO, за

счет его длинной конструкции обеспечивает равномерное распределение соломы, так как смесь соломы и почвы очень долго задерживается в агрегате. Отлично устраняет колею и выравнивает поверхность. Заделывает большое количество соломы и производит мелкозернистую мульчу. За счет собственного веса производит оптимальное прикатывание почвы для всходов. Узкими лапами 60 мм, проводит глубокое рыхление до 25 см, для разрыхления и аэрации уплотненного пахотного слоя почвы. Все культиваторы могут комплектоваться сидератными сеялками, последующими стригелями, а также различными катками: кольцевой уплотняющий STS, прикатывающий кембрижский каток СВА.

С таким же определением фирма Köckerling производит дисковые культиваторы, которые представляют из себя обычную дисковую борону с батареями дисков Kverneland Varío 200 (рисунок 6). В дальнейшем с выше сформулированным содержанием Varío выпускаются плуги (плуг Kverneland PL 100 Varío и т. д.), зубовые бороны и другие почвообрабатывающие орудия.



Рисунок 6. Дисковый культиватор Kverneland Varío 200

Украинскими производителями варио-дискового агрегата (ВДА) дана другая интерпретация определения Varío (ООО Завод «Проммаш», Краматорск). «При необходимости более активно воздействовать на почву (запльвшие почвы, загрязненные растительными остатками) разработан новый тип орудия ВАРИО, в конструкции которого учтены недостатки дисковых борон. С целью исключения забивания каждый диск смонтирован на своей паре подшипников».

Описание особенностей дисковых орудий с определением «Varío» в украинском варианте полностью совпадает с описанием группы

почвообрабатывающих орудий в международной практике, именуемой “дискатор”.

Дискатор – запатентованное название орудия, предназначенного для минимальной, основной и предпосевной обработки почвы под зерновые, технические и кормовые культуры, а также для омолаживания задернелых лугов и лущения стерни.

Существуют противоречия юридического характера, так как некоторые фирмы запатентовали название “Дискатор” как товарный знак [4], поэтому по сути названия нового орудия еще предстоят дискуссии среди специалистов.

Поскольку мы рассматриваем “дискатор” как новый вид орудия, такой же как плуг, борона, культиватор и т. д. и не имеем коммерческих целей, а также используя уже имеющийся в печати большой объем статей, проспектов и информационную базу в информационной поисковой базе Google под ключевым словом “Дискатор”, то далее эти орудия будем объединять под понятием “Дискатор”. Оценим более детально суть орудия “Дискатор” по следующим позициям:

- особенности работы орудия “дискатор”;
- некоторые марки “дискаторов” и их характеристики;
- диски, используемые на дискаторах;
- крепление дисков к стойкам;
- крепление стоек с дисками к раме.

1.2 Особенности работы почвообрабатывающего орудия “Дискатор”

Дискаторы предназначены для поверхностной обработки всех типов почв (предельная глубина 20 см), уничтожения сорняков и измельчения пожнивных остатков в любых климатических зонах. Дискаторы производятся в одно-, двух- и четырехрядном вариантах.

Совмещая в одной операции рыхление и крошение почвы, измельчение растительных остатков и выравнивание рельефа, 4-рядные дискаторы сокращают необходимое количество обработки почвы в 2-3 раза.

Дискаторы способны работать по влажным (влажность почвы до 40 %) почвам. Дискатор не теряет своих качеств и при работе на засоренных почвах с растительными остатками любой плотности высотой до 2 метров.

Результатом применения дискаторов становится:

- снижение неконтролируемой минерализации гумуса;
- уменьшение деградации пахотного слоя;
- создание мульчирующего слоя, предохраняющего почву от иссушения.

Более подробно остановимся на принципиальных отличиях дискатора от традиционных дисковых борон (хотя некоторые из них были отмечены выше).

- Каждый диск расположен на индивидуальной оси и отклонен от вертикальной плоскости; это способствует лучшему обороту отрезаемого пласта, его крошению, а также снижению требуемого тягового усилия трактора.

- Каждый ряд дисков имеет возможность плавной регулировки угла атаки и соответственно рабочей ширины захвата диска. Диск при этом выполняет роль лемеха и отвала.

- Отсутствие в конструкции дискаторов дисковых батарей с единой осью позволяет дискатору работать на переувлажненной почве, на землях с большим количеством растительных остатков, а также на землях с любым количеством сорной растительности, при этом исключается наматывание на ось диска и плотное забивание рядов дисков. Отпадает необходимость применения в конструкции чистиков, так как в процессе работы происходит самоочищение диска.

- По данным госиспытаний, дискаторы, в отличие от традиционных БДТ, позволяют работать при абсолютной влажности почвы до 40 %, что, как минимум, в 2 раза выше обычных показателей. К примеру, реально использование БДТ невозможно уже при влажности 20 %.

- Один проход 2-хрядным дискатором серии БДМ эквивалентен двум, 4-хрядным - трем проходам традиционных дисковых борон.

Опыт использования дискаторов показал, что после прекращения традиционной обработки почвы и использовании дискатора на поле образуется мульчирующий слой за 3-5 лет. На переходной период между традиционной обработкой к нулевой весьма перспективно использовать дискаторы на глубину обработки 5 см. Это позволит накопить мульчу и выровнять поверхность поля. Исходя из опыта российских хозяйств, использующих дискаторы, можно утверждать, что такая технология обработки почвы позволит в верхнем слое накопить мульчирующую подушку. При наличии мульчирующей подушки можно говорить о дальнейшем применении нулевых технологий. Без мульчи вся работа по минимальной технологии неэффективна, соответственно трата средств на приобретение техники без соблюдения основ земледелия будет лишней и неоправданной. Опыт хозяйств показал, что при подготовке к посеву качественной зяби с помощью дискаторов урожайность выше, чем при традиционной подготовке почвы. При этом затраты топлива снижаются почти в три раза, что является определенным резервом в снижении себестоимости. Так в агрофирме «Лебяжье» Кировской области также отметили в первую очередь ощутимую экономию топлива: если на тракторе К-700 с 8-корпусным плугом на вспашку 12–15 га уходит 320 литров дизтоплива (т.е. не хватает полного бака), то с дискатором на одном баке можно обработать 60 га. Производительность и экономия увеличиваются в 4 раза, соответственно снижается расход моторесурса техники и человеческих затрат.

1.3 Краткий обзор орудий типа “дискатор”

Компания ЛБР-Интертрейд предлагает дисковые почвообрабатывающие агрегаты от производителей Объединенной Европы – дискаторы. В производстве этих машин используются стали ведущих мировых фирм, благодаря этому срок службы рабочих органов увеличен на 25-30% в сравнении с отечественными аналогами. Многолетнее сотрудничество европейских производителей с Россией позволило полностью адаптировать почвообрабатывающую технику для успешного агрегатирования с отечественными (российскими, белорусскими, украинскими) тракторами.

Специалисты ЛБР-Интертрейд условно дискаторы делят на три типа:

L - легкий с дисками Ø 460 мм

XL – средний с дисками Ø 560 мм

XXL- тяжелый с дисками Ø 660 мм

В таблице 1 приведены характеристики дискаторов, производимых компанией ЛБР-Интертрейд.

Таблица 1- Характеристики дискаторов серии **L**, производимых компанией ЛБР-Интертрейд

Модель дискатора	ARES L 3,0	ARES L 4,0	ARES LH 4,5	ARES LH 6,0
Ширина захвата, м	3,0	4,0	4,5	6,0
Производительность, га/ч	2,10 –3,30	2,80 – 4,40	3,15-4,95	4,20-6,60
Количество дисков Ø 460 мм, шт. (диски в два ряда)	24	32	36	48
Масса, кг	930	1250	1750	2300
Требуемая мощность трактора, л.с.	80-100	110-130	140-160	170-200

Дискаторы серии **XL**

Модель дискатора	ARES XL 3,0	ARES XL 4,0	ARES XLH 4,5	ARES XLH 6,0
Ширина захвата, м	3,0	4,0	4,5	6,0
Производительность, га/ч	2,10 –3,30	2,80 – 4,40	3,15-4,95	4,20-6,60
Количество дисков Ø 560 мм, шт. (диски в два ряда)	24	32	36	48
Масса, кг	1320	1700	2000	2380
Требуемая мощность трактора, л.с.	110-130	120-150	150-190	170-210

Дискаторы серии **XXL**

Модель дискатора	ARES XXL 3,0	ARES XXL 4,0
Ширина захвата, м	3,0	4,0
Производительность, га/ч	2,10–3,30	2,80–4,40
Количество дисков \varnothing 660 мм, шт. (диски в два ряда)	24	32
Масса, кг	1640	2110
Требуемая мощность трактора, л.с.	110-120	130-160

ООО «БДМ-Агро» (г. Краснодар, Россия) выпускает серию дискаторов двух и четырех рядных вариантах. Технические характеристики некоторых дискаторов этой фирмы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики дискаторов ООО «БДМ-Агро»

Марка	Общий вид дискатора	Характеристики дискатора
БДМ 3x2 - дискатор навесной двухрядный		-глубина обработки (см) - 6...18 -рабочая скорость (км/час) - 8...25 -диаметр дисков (мм) -560 -ширина обработки за один проход (м) - 3,2 -число рабочих органов - 24 -агрегатирование с трактором - МТЗ-82 -производительность в смену (га) - 21 -масса машины (кг) - 1300
БДМ 3x4П - дискатор прицепной четырёхряд- ный		глубина обработки (см) - 6...18 -рабочая скорость (км/час) - 8...25 -диаметр дисков (мм) -560 -ширина обработки за один проход (м) - 3,2 -число рабочих органов - 31 -агрегатирование с трактором -Т-150, МТЗ-1523 -производительность в смену (га) - 28 -масса машины без шлейф-катка (кг) - 2400

<p>БДМ 4х2П- дискатор прицепной двухрядный</p>		<p>-глубина обработки (см) - 6...18 -рабочая скорость (км/час) - 8...25 -диаметр дисков (мм) -560 -ширина обработки за один проход (м) - 4,2 -число рабочих органов - 30 -агрегатирование с трактором - Т-150,МТЗ-1221 -производительность в смену (га) - 25 -масса машины (кг) - 1800</p>
<p>БДМ 3х2П- дискатор прицепной двухрядный</p>		<p>-глубина обработки (см) - 6...18 -рабочая скорость (км/час) - 8...25 -диаметр дисков (мм) -560 -ширина обработки за один проход (м) - 3,2 -число рабочих органов - 22 -агрегатирование с трактором - МТЗ-82,МТЗ-1221 -производительность в смену (га) - 21 -масса машины (кг) - 1800</p>
<p>БДМ 4х4П - дискатор прицепной четырёхряд- ный</p>		<p>-глубина обработки (см) - 6...18 -рабочая скорость (км/час) - 8...25 -диаметр дисков (мм) -560 -ширина обработки за один проход (м) - 3,2 -число рабочих органов - 31 -агрегатирование с трактором -Т-150, МТЗ-1523 -производительность в смену (га) - 28 -масса машины без шлейф-катка (кг) - 2400</p>

БДМ-3х4ПП		4хрядный прицепной дискатор с шириной захвата 3,0 метра с параллельным подъемом рамы, диски Bellota, спиральный каток (МТЗ-1221)
БДМ-4х4ПП		4хрядный прицепной дискатор с шириной захвата 4,0 метра с параллельным подъемом рамы, диски Bellota, спиральный каток (Т-150, К-700)
БДМ-6х4ПП		4хрядный прицепной дискатор с шириной захвата 5,6 метра с параллельным подъемом рамы, диски Bellota, спиральный каток (Т-150, К-700)
БДМ-6х4ПК		4хрядный прицепной дискатор с шириной захвата 5,6 метра, подъемные крылья, диски Bellota, спиральный каток (Т-150, К-701)
БДМ-8х4П		4хрядный прицепной дискатор с шириной захвата 8,0 метра, полунавесной, диски Bellota, спиральный каток (К-701)

Часто орудие дискаторов входят как составляющие комбинированных агрегатов, включающих различные формы катков. Остановимся на примере дискаторов типа “Дискомастер”.

Технические характеристики таких орудий приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики почвообрабатывающих орудий типа “Дискомастер”

	3,2x2	3,2x3	3,2x4	4,2x2	4,2x3	4,2x4	6,2x2	6,2x3	6,2x4	8x4	9x4
Тип агрегатат	Полуприцепной										
Ширина захвата, м	3,2	3,2	3,2	4,2	4,2	4,2	6,2	6,2	6,2	8	9
Произв-ть, га/час	3	3	3	4	4	4	6,5	6,5	6,5	8	9
Рабочая скорость, км/ч	12-15	12-15	12-15	12-15	12-15	12-15	12-15	12-15	12-15	12-15	12-15
Глубина обработки, см	до 16	до 16	до 16	до 16	до 16	до 16	до 16	до 16	до 16	до 16	до 16
Трансп. скорость, км/ч	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Агрегатирование	МТЗ - 82 КАМАЗ Т-85	МТЗ - 100 КАМАЗ Т-85	МТЗ - 1221 Т-150 К КАМАЗ Т-105	МТЗ - 100 КАМАЗ Т-85	МТЗ - 1221 Foton - 1254 КАМАЗ Т-105	КАМАЗ Т-215 ХТЗ - 1772	МТЗ - 1221 Т - 150К КАМАЗ Т-105	ХТЗ - 1772 Т - 150К КАМАЗ Т-185	Трактора 200 л.с КАМАЗ Т-215 К-700А	К-700 Трактора 300 л.с	К-744 Трактора 400 л.с
Масса орудия, кг	1300	1600	2050	1700	2100	2650	2500	2900	3500	4100	4300
Диаметр, мм	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590	590
Расход топлива, л/га	9	10	11	9	10	12	9	10	11	10	10
Срок эксп-ии, лет	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Установ-я наработка за сезон, га	600	600	600	800	800	800	1200	1200	1200	1800	2000
Кол-во рабочих органов (дисков)	20	24	32	28	32	42	40	48	62	82	92
Цена, тыс. руб.	230	295	440	305	475	590	465	590	830	1010	1160

Ниже приведены фотографии работы некоторых моделей дискомастеров и вид их в работе (рисунок 7).



Рисунок 7. Дискомастер в работе. Разделка стерни зерновых

На Украине выпускают конструкции машин, обладающие всеми свойствами дискаторов, но носят название дисковой бороны (БДН-2,0, БДН-2,4, БДН-4,8, БДН-3,0) (рисунок 8), вариокультиваторы (рисунок 9) и дисковые плуги ПД-2,5, Д-1,8 и т. д. (рисунок 10). Краткая характеристика некоторых почвообрабатывающих орудий, соответствующих определению “дискатор” приведены в таблице 4.



БДН-2,0



БДН-2,4



БДН-4,8



БДН-3,0

Рисунок 8. Дисковые бороны с индивидуальным креплением дисков, выпускаемых на Украине



Рисунок 9. Варио-дисковый агрегат ВДА



плуг дисковый ПД-2,5 «Одиссей»



плуг дисковый ПД-1,8 «Одиссей»

Рисунок 10. Дисковые плуги, выпускаемые на Украине

Таблица 4 – Характеристика агрегатов почвообрабатывающих дисковых навесных АГД-1,3; АГД-1,8; АГД-2,5; АГД-2,8; АГД-3,5

Показатель	Значение показателя				
	АГД-1,3	АГД-1,8	АГД-2,5	АГД-2,8	АГД-3,5
Марка машины					
Тип агрегата	Навесной				
Конструктивная ширина захвата, м	1,3	1,8	2,5	2,8	3,5
Дорожный просвет, мм	300	300	300	300	300
Агрегатирование с тракторами	Т-25, Т-40М Т-40АМ	ЮМЗ-6Л Т-40М Т-40АМ	ДТ-75 МТЗ-80/82 МТЗ-100/102	МТЗ-100/102 Т-150К	Т-150К
Диаметр диска, мм	510	630	630	630	630
Общая масса, кг	370	710	900	1160	1460
Габаритные размеры в транспортном положении, мм					
- длина	1650	2800	2800	2800	2650
- ширина	1650	2100	2800	3150	4000
-высота	1600	1700	1700	1700	1500

Таблица 5 - Характеристики универсальных дисковых агрегатов УДА-2,4-20; УДА-3,1-20; УДА-3,8-20; УДА-4,5-20

Показатель	УДА-2,4-20	УДА-3,1-20	УДА-3,8-20	УДА-4,5-20
Тип агрегата				
Рабочая ширина захвата, м, не менее	2,4	3,1	3,8	4,5
Масса (конструкционная), кг, не более	1820	2020	3085	3380
Дорожный просвет, мм, не более	300			
Ширина колеи, мм	2250±50			
Габаритные размеры в транспортном положении, мм не более:				
- длина	4850	4850	5100	4850
- ширина	3000	3750	3100	2980
-высота	1800	1800	3050	3200

Таблица 6 – Характеристики агрегатов почвообрабатывающих дисковых
АГ-1,8-20; АГ-2,1-20; АГ-2,4-20; АГ-2,7-20; АГ-3,0-20

Показатель	АГ-1,8-20	АГ-2,1-20	АГ-2,4-20	АГ-2,7-20	АГ-3,-20
Тип агрегата	Навесной				
Рабочая ширина захвата, м	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
Масса (конструкционная), кг, не более	720	820	890	990	1060
Дорожный просвет, мм, не более	300				
Габаритные размеры в рабочем положении, мм не более:					
- длина	2200	2200	2200	2200	2300
- ширина	2150	2500	2850	3100	3300
- высота	1300	1300	1300	1300	1300
Габаритные размеры в транспортном положении, мм не более:					
- длина	2400	2400	2400	2600	2600
- ширина	2150	2500	2850	3100	3300
- высота	1600	1600	1600	1600	1600

Основными недостатками отечественных орудий, приведенных в таблицах 4 и 6 являются:

- индивидуальная установка угла атаки (α) каждого диска (рисунок 11);
- низкое положение рамы и короткая стойка крепления дисков, что может служить условием для забивания растительной массой и почвой орудия;
- угол наклона диска.



Рисунок 11. Индивидуальная установка угла атаки каждого дика орудий типа АГД и АГ

По количеству рядов дисков дискаторы в настоящее время производятся как в двухрядном, так и в четырехрядном вариантах (рисунок 12).

Дискаторы 2-рядные:



Навесные:

[БДМ-2,5x2](#), [БДМ-2,8x2](#), [БДМ-3x2](#),
[БДМ-7x2](#)



Полунавесные (полуприцепные):
[БДМ-2x2П](#), [БДМ-3x2П](#), [БДМ-4x2П](#)



Полунавесные (полуприцепные)
секционные: [БДМ-7x2П](#)

Дискаторы 4-рядные:

Навесные: [БДМ-4х4](#)



Полунавесные(полуприцепные):
[БДМ-3х4П](#),[БДМ-3,6х4П](#),[БДМ-4х4П](#),[БДМ-6х4П](#)



Полунавесные (полуприцепные)
секционные:
[БДМ-5х4ПК](#)



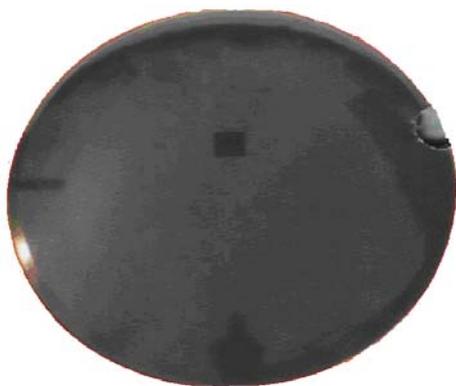
Рисунок 12. Дискаторы на рынке СНГ

1.4 Рабочие органы дискаторов-сферические диски

Сферические диски, вырезные и гладкие являются основными рабочими органами дискаторов. На рынке сферических дисков сегодня распространены большой ряд типоразмеров (таблица 7)

Таблица 7 - Типоразмеры
сферических дисков

Гладкий диск



Диаметр	Толщина	Квадрат
510	3,5	40
560	5	40
610	5	40
610	6	40
660	7	40-50
660	8	40-50
710	7	40-50
710	8	40-50
710	10	50

Зубчатый диск



Диаметр	Толщина	Квадрат
510	3,5	40
560	5	40
610	5	40
610	6	40
660	7	40-50
660	8	40-50
710	7	40-50
710	8	40-50
710	10	50

Лопастный диск



Диаметр	Толщина	Квадрат
610	5	40
610	6	40
660	6	40
660	7	40-50
710	7	40-50
710	8	40-50
710	10	50

Так ООО «Торговый дом «АгроМир» - официальный представитель компании «Freiser» (Германия), предлагает диски и сошники диаметром от 200 до 1200 мм из борсодержащей стали (компания «Freiser» (Германия),

основанная более 50 лет назад, является одним из крупнейших европейских производителей дисковых борон и плугов).

Большой опыт работы компании на рынке сельскохозяйственной техники позволяет выпускать продукцию высочайшего качества, основными преимуществами которого являются:

- использование в производстве борной стали высочайшего качества и по разумной цене;
- двойная заточка края дисков;
- термообработка продукции как гарантия долговечности и прочности оборудования.

Стандартами ISO 4002-1979 оборудование для сева и посадки. Диски. Сферические диски тип Д1. Размеры, а также ISO 5679-1979. Диски. Классификация, основные присоединительные размеры и технические условия регламентированы типоразмеры, производимых в СССР, а затем воспроизводимых в странах СНГ, сферических дисков. Однако многие диски, производимые промышленностью как за рубежом, так и в странах СНГ, по присоединительным конструкциям и размерам не могут быть использованы для дискаторов. Так гладкие и зубчатые органы, представленные в таблице 4, имеют квадратные вырезы и не имеют отверстий для соединения со ступицей диска.

Испанская фирма “Bellota” одна из первых начала производить сферические диски, предназначенные как для дисковых борон, так и дискаторов. Это одна из многих причин, почему многие дискаторы оборудованы сферическими дисками фирм “Bellota”.

Из предлагаемых украинским производителем ЧП ПКФ “Велес-Агро” сферических дисков только диск ПД может быть использован в качестве рабочего органа дискатора.

Диски же ДМТ, БДМ и БДТ-7 “Ромашка” из-за отсутствия присоединительных отверстий не могут быть использованы на дискаторах (рисунок 13).

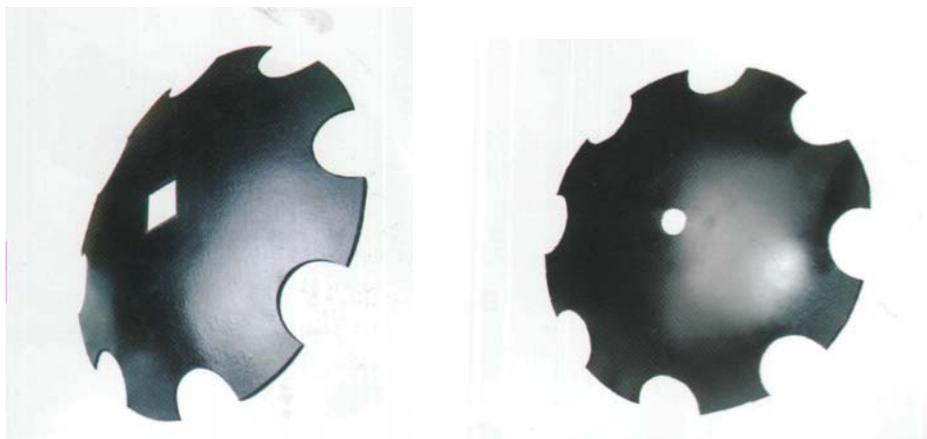


Рисунок 13. Диск БДМ «Ромашка» из борсодержащей стали;
Диск ДТМ «Ромашка» из борсодержащей стали

1.5 Конструкции индивидуального крепления сферических дисков к стойкам

В современных конструкциях дискаторов используются два варианта креплений дисковых рабочих органов к стойке:

– два сферических диска, крепящиеся на осях с подшипниками (рисунок 14);

– каждый сферический диск имеет индивидуальную стойку (рисунок 15).

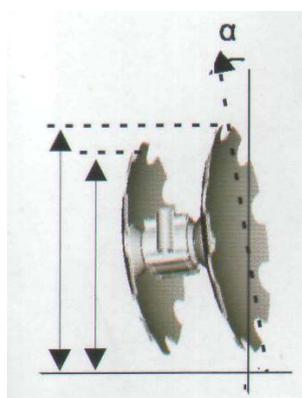


Рисунок 14. Варианты крепления двух дисков к одной стойке



Рисунок 15. Крепление одного диска к стойке

Узел, включающий диск, стойку, корпус диска в сборе (ступица) и стойки имеют типичные решения и приведены на рисунок 16.

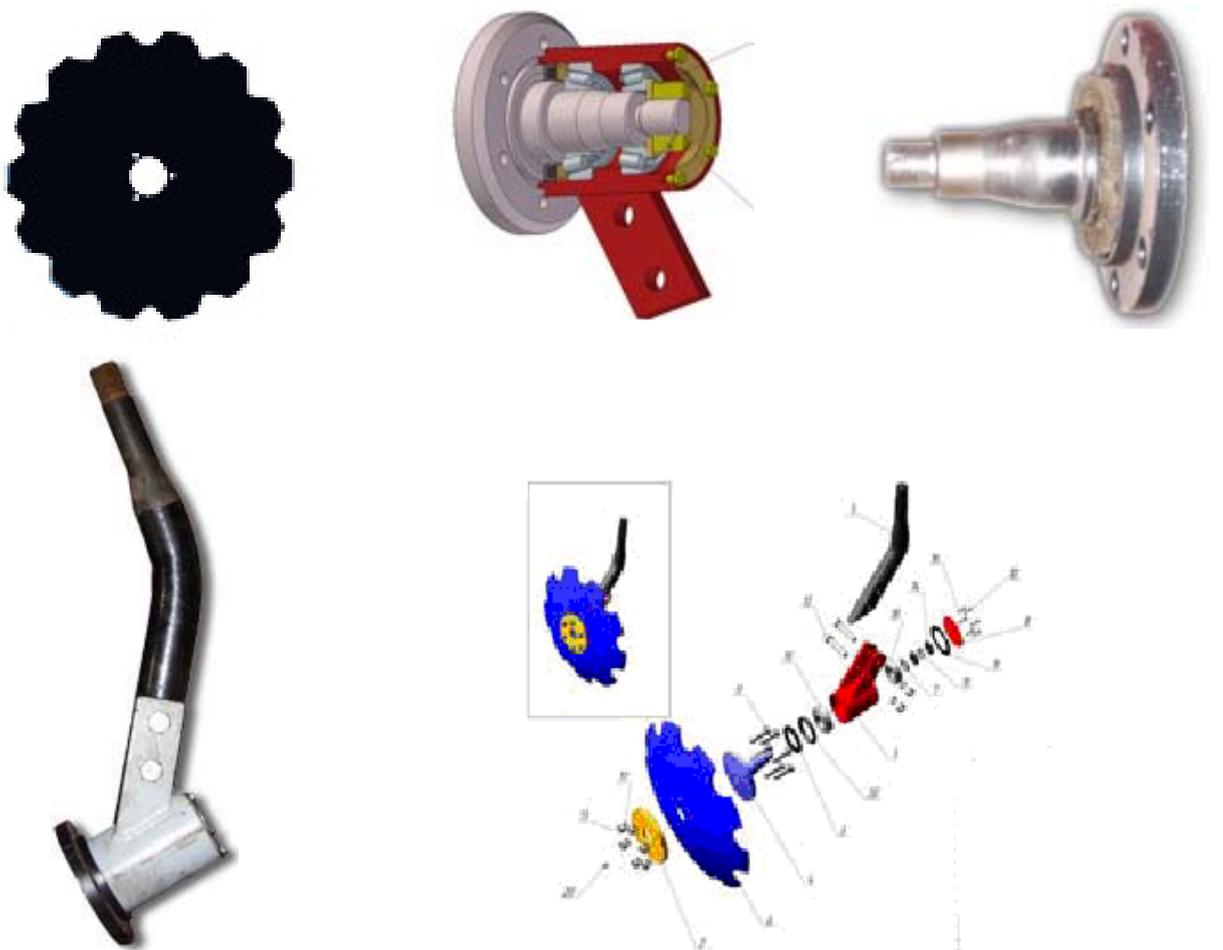


Рисунок 16. Типичные решения крепления сферического диска дискатора к стойке

Подшипниковый узел – самый ответственный узел рабочего органа дискатора, требующий особого внимания при конструировании орудия. В подшипниковых узлах сферических дисков рекомендуется применять аксиальные радиально-упорные шарикоподшипники. Благодаря этому можно исключить регулярную смазку и регулировку подшипников. Оптимальную защиту подшипников от пыли и влаги могут обеспечить снаружи резьбовой колпачок, а изнутри – шестикратное кассетное уплотнение.

Форма корпуса подшипника служит не только для опоры диска, но должна защитить от наматывания растительными остатками. Образец конструктивного решения подшипникового узла дискатора фирмы Лемкен приведен на рисунке 17.

1.6 Подпружиненные подвески рабочих органов дискаторов

О роли подпружинивания рабочих органов почвообрабатывающих орудий мы говорили ранее [5]. При разработке соединения стоек рабочих органов дискаторов с рамой производителя, как правило, применяют упругие подвески, конструктивно имеющие разнообразные решения. Некоторые образцы решений мы приводим на рисунке 18.

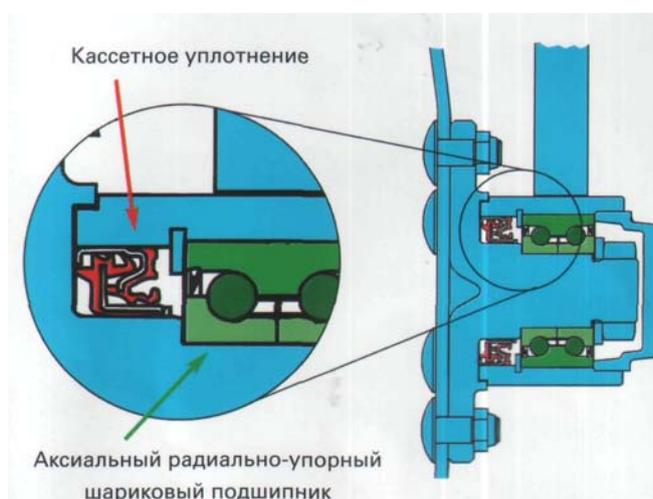


Рисунок 17. Подшипниковый узел рабочего органа дискатора

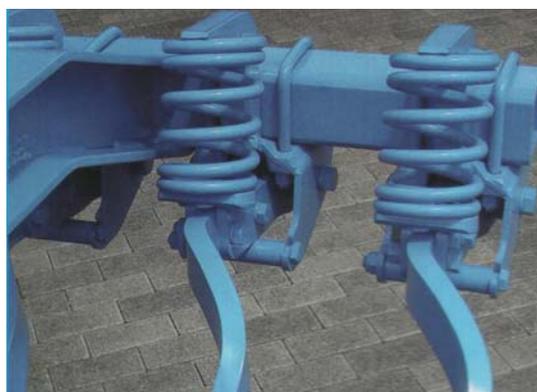


Рисунок 18. Образцы решения подпружиненных сферических дисков дискатора

Имеют распространение резиновые пружинные элементы обеспечивающие оптимальную адаптацию сферических дисков к контуру поверхности почвы. Так обеспечивается эксплуатационная надежность, отпадает необходимость технического обслуживания предохранителя от перегрузок и постоянно сохраняется поверхностная глубина атаки (рисунок 19).

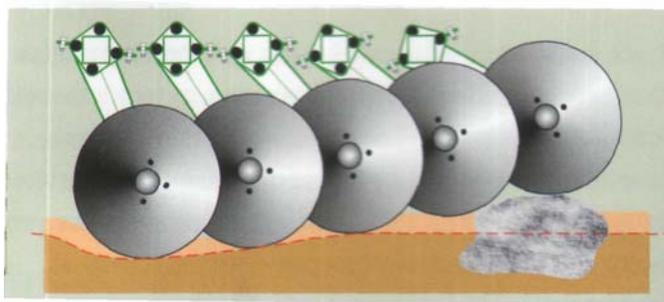
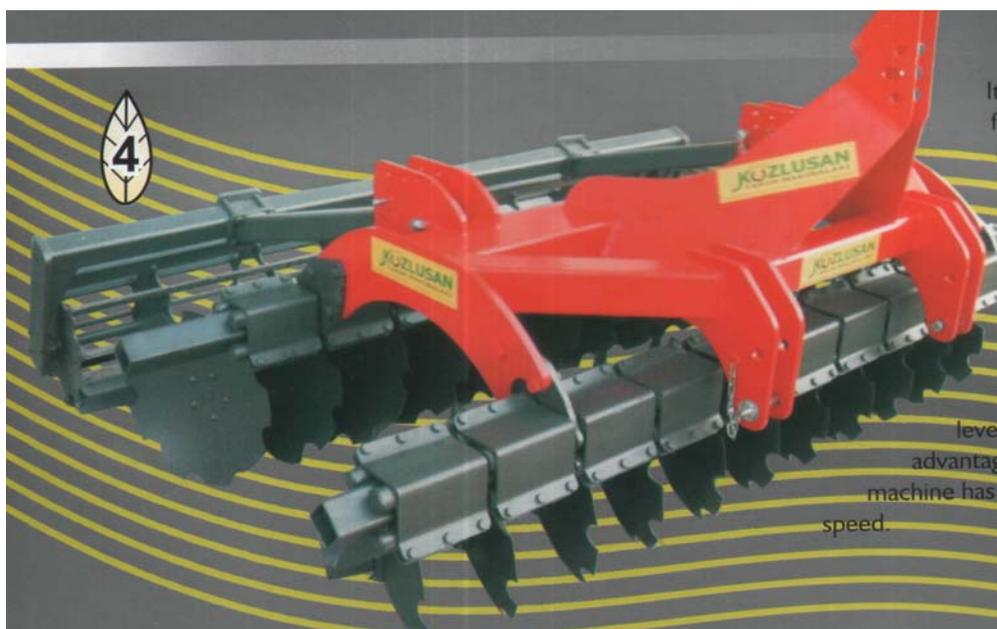


Рисунок 19. Использование резиновых пружинных элементов в подвеске рабочих органов дискаторов

Заключение по первому разделу

1. Группа почвообрабатывающих орудий, объединенных по особенностям конструкции в орудие типа “дискатор”, реально перспективны в процессе перехода от традиционных технологий к технологиям мульчирующим и “No-till”. Орудия типа дискатор обеспечивают хорошую заделку растительных остатков и заделку их в верхний слой (0-5 см) почвы. Дискаторы могут обеспечивать и хорошую обработку почвы и на глубину до 20 см.

2. Дискаторы обеспечивают на операции обработки почвы высокую экономию энергоресурсов. Расход топлива уменьшится в 3-4 раза по сравнению с традиционной обработкой.

Поскольку дискаторы – сравнительно новое орудие, многие вопросы как конструктивного так и компоновочного решений остаются открытыми. К ним относятся:

- особенности работы почвообрабатывающих сферических дисков в индивидуальном режиме;

- определение оптимальных параметров сферических дисков при работе в конструкции дискатора (диаметр, количество и форма вырезов, установка узлов α и β , радиус сферы и др.);

- конструкции выполнения подшипникового узла для крепления к диску, обеспечивающую требуемую надежность и долговечность конструкции;

- параметры упругой подвески, обеспечивающие снижение энергоемкости и повышение качества технологического процесса;

- расстановка дисков, обеспечивающая минимальное перекрытие в зависимости от углов: атаки α , установки β и глубины обработки.

3. Необходимо унификация производимых сферических дисков для возможности их использования как на дисковых боронах, так и на дискаторах.

2. Почвообрабатывающие орудия типа дискатор, производимые СТ ВФ «Агроренмаш» (Белая Церковь)

СТ ВФ «Агроренмаш» производит широкую серию дискаторов шириной захвата от 1,3 м до 7,2 м и агрегируемых с тракторами как отечественных производителей, так и ряда зарубежных.

Это трактора Т-25; Т-40; Т-40А; ЮМЗ-6Л; МТЗ80/82/100/102; Т-150, К-700 и CASE 310 MAGNUM



Ширина захвата, м	1,3
Производительность, га/час	0,8...1,5
Масса дискового аппарата, кг	350
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	T-25; T-40
Габаритные размеры, мм	
длина	1550
ширина	1600
высота	1100
Гарантированный ресурс, га	480
Затраты топлива, л/га	3,6...4,0

Рисунок 20. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 1,3



Ширина захвата, м	1,3
Производительность, га/час	1,3...2,2
Масса дискового аппарата, кг	625
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	ЮМЗ-6Л; T-40А
Габаритные размеры, мм	
длина	2240
ширина	2075
высота	1200
Гарантированный ресурс, га	950
Затраты топлива, л/га	5,6...6,0

Рисунок 21. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 1,8



Ширина захвата, м	1,8
Производительность, га/час	1,3...2,2
Масса дискового аппарата, кг	650
Рабочая скорость, км/час	8-12
Марка трактора, с которым агрегатируется	ЮМЗ-6Л
Габаритные размеры, мм	
длина	1500
ширина	2100
высота	1150
Гарантированный ресурс, га	950
Затраты топлива, л/га	5,8...6,2

Рисунок 22. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 1,8Л



Ширина захвата, м	1,8
Производительность, га/час	1,3...2,2
Масса дискового аппарата, кг	650
Рабочая скорость, км/час	12
Марка трактора, с которым агрегатируется	ЮМЗ-6Л, МТЗ-80/82
Габаритные размеры, мм	
длина	2000
ширина	2200
высота	1150
Гарантированный ресурс, га	950
Затраты топлива, л/га	6,0...6,4

Рисунок 23. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 1,8Х



Ширина захвата, м	2,1
Производительность, га/час	2,0...2,6
Масса дискового аппарата, кг	700
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	МТЗ-80/82, ЮМЗ-6Л
Габаритные размеры, мм	
длина	2300
ширина	2450
высота	1300
Гарантированный ресурс, га	1030
Затраты топлива, л/га	6,0...7,0

Рисунок 24. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 2,1



Ширина захвата, м	2,5
Производительность, га/час	2,2...3,0
Масса дискового аппарата, кг	820
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	МТЗ- 80/82/100/102
Габаритные размеры, мм	
длина	2300
ширина	2800
высота	1300
Гарантированный ресурс, га	1240
Затраты топлива, л/га	6,5...7,5

Рисунок 25. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 2,5



Ширина захвата, м	2,5
Производительность, га/час	2,2...3,0
Масса дискового аппарата, кг	850
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	МТЗ-80/82/100/102
Габаритные размеры, мм	
длина	2300
ширина	2950
высота	1300
Гарантированный ресурс, га	1240
Затраты топлива, л/га	6,5...7,5

Рисунок 26. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 2,5Р «ОРАТАНІЯ»



Ширина захвата, м	2,8
Производительность, га/час	2,0...2,6
Масса дискового аппарата, кг	930
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	МТЗ-100/102
Габаритные размеры, мм	
длина	2300
ширина	3150
высота	1500
Гарантированный ресурс, га	1600
Затраты топлива, л/га	7,4...9,0

Рисунок 27. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 2,8



Ширина захвата, м	3,4
Производительность, га/час	2,0...4,0
Масса дискового аппарата, кг	1100
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	МТЗ-100/102
Габаритные размеры, мм	
длина	2500
ширина	3700
высота	1200
Гарантированный ресурс, га	1680
Затраты топлива, л/га	9,0...10,5

Рисунок 28. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 3,4Л



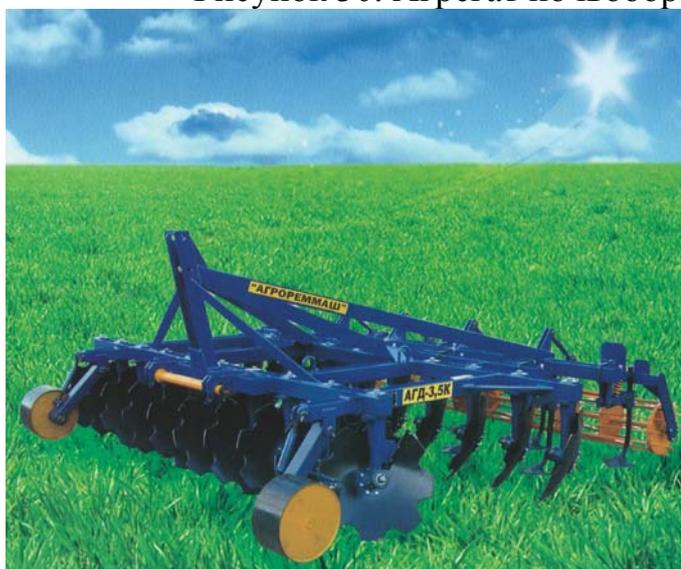
Ширина захвата, м	3,5
Производительность, га/час	2,6...4,2
Масса дискового аппарата, кг	1350
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	Т-150
Габаритные размеры, мм	
длина	2700
ширина	4200
высота	1700
Гарантированный ресурс, га	183
Затраты топлива, л/га	9,6...11,0

Рисунок 29. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 3,5



Ширина захвата, м	3,5
Производительность, га/час	2,6...4,2
Масса дискового аппарата, кг	1750
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	T-150
Габаритные размеры, мм	
длина	2900
ширина	4250
высота	1700
Гарантированный ресурс, га	1830
Затраты топлива, л/га	10,5..11,5

Рисунок 30. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 3,5В



Ширина захвата, м	3,5
Производительность, га/час	2,6...4,2
Масса дискового аппарата, кг	1750
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	T-150
Габаритные размеры, мм	
длина	3800
ширина	3850
высота	1700
Гарантированный ресурс, га	1830
Затраты топлива, л/га	11,0..12,5

Рисунок 31. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 3,5К



Ширина захвата, м	4,5
Производительность, га/час	3,2...5,0
Масса дискового аппарата, кг	1750
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	Т-150, К-700
Габаритные размеры, мм	
длина	2700
ширина	4900
высота	1700
Гарантированный ресурс, га	2200
Затраты топлива, л/га	11,5..13,0

Рисунок 32. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 3,5К



Ширина захвата, м	5,6
Производительность, га/час	4,3...6,7
Масса дискового аппарата, кг	2900
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	К-700
Габаритные размеры, мм	
длина	2700
ширина	7500
высота	1700
Гарантированный ресурс, га	2900
Затраты топлива, л/га	15,5..17,0

Рисунок 33. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 5,6



Ширина захвата, м	7,2
Производительность, га/час	5,5...8,9
Масса дискового аппарата, кг	3150
Робочая скорость, км/час	8...12
Марка трактора, с которым агрегатируется	CASE310 MAGNUM
Габаритные размеры, мм	
длина	2700
ширина	7500
высота	1700
Гарантированный ресурс, га	3770
Затраты топлива, л/га	23,0...126,4

Рисунок 34. Агрегат почвообрабатывающий дисковый АГД – 7,2

3. Элементы механики взаимодействия дисков дискатора с почвой и растительными остатками

Ввиду того, что каждый диск дискатора вращается принудительно за счет взаимодействия с поверхностью почвы и растительными остатками независимо от характера движения других дисков (в отличие от дисковой бороны, где все диски имеют одинаковую угловую скорость), необходимо изучить следующие особенности механики работы дисков.

Определение абсолютных траекторий скоростей и ускорений точек сферического диска:

- установить условия защемления (перерезания) растительных остатков между лезвием диска и поверхностью поля;
- определить влияние установки углов установки диска (α и β) на угловую скорость дисков дискаторов;
- определить влияние установки диска (α и β) на тяговое сопротивление.

3.1 Кинематика точек сферических дисков дискаторов при их взаимодействии с почвой

В практическом земледелии при обработке почвы используется достаточно большая номенклатура рабочих органов. Однако своей универсальностью выделяются рабочие органы – сферические диски. В зависимости от способа установки сферические диски могут выполнять широкий круг операций [7, 8, 9]

Кроме почвообрабатывающих орудий плоские и сферические диски широко используются как сошники всевозможных сеялок. Имеется опыт использования дисков в качестве гребнеобразователей, орудий для нарезки борозд под посадку картофеля, лука-севка. Диски используются как загортачи и даже для выкопки клубней картофеля и свеклы.

Основной особенностью дисковых рабочих органов является изменение механизма воздействия на почву в зависимости от угла атаки (α) и угла наклона в вертикальной плоскости (β). По существу это рабочие органы с изменяемыми механизмами воздействия на почву, не требующие изменения формы самого рабочего органа.

Специфика взаимодействия автономно закрепленного на одной оси дискового рабочего органа с почвой требует необходимость исследования кинематических характеристик точек диска и движения почвы по диску. Расчетная схема для кинематических исследований приведена на рисунке 35.

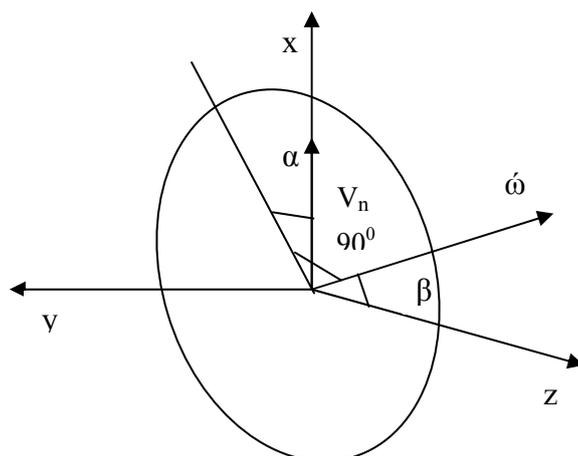


Рисунок 35. Расчетная схема для определения кинематических характеристик точек сферического диска дискатора

Абсолютная скорость точек сферического диска есть векторная сумма переносной скорости \bar{V}_n (поступательная скорость агрегата) и относительная скорость вращательного движения, как $\bar{\omega}$, где $\bar{\omega}$ – вектор угловой скорости диска.

$$\bar{V}_A = \bar{V}_n + \bar{\omega}R$$

Последовательно определяя значение скоростей и ускорений во всех точках контакта диска с почвой можем определить поле скоростей и поле ускорений контактируемой с почвой частью диска.

Введем обозначения: r - радиус диска (точки диска), мм

α -угол атаки диска, град.

β -угол наклона диска к вертикальной плоскости, град.

ω -угловая скорость диска, 1/с

V_{xm} - поступательная скорость машины, м/с

Тогда получим следующие кинематические характеристики любой точки расположенной на диске.

Координаты положения точки диска

$$x = r \cos \alpha \cdot \cos \omega t + V_{xm} \cdot t$$

$$y = r \sin \alpha \sin \beta \cos \omega t$$

$$z = r \cos \beta \sin \omega t$$

Скорости точек диска

$$V_x = -r \omega \cos \alpha \cdot \sin \omega t + V_{xm}$$

$$V_y = -r \omega \sin \alpha \cdot \sin \beta \sin \omega t$$

$$V_z = \omega r \cos \beta \cdot \cos \omega t$$

Ускорения точек диска

$$a_x = -r \omega^2 \cos \alpha \cos \omega t$$

$$a_y = -r \omega^2 \sin \alpha \cdot \sin \beta \cos \omega t$$

$$a_z = -r \omega^2 \cos \beta \sin \omega t$$

Вектора абсолютных скоростей и ускорений в каждой точке диска определяется модулями и направляющими косинусами $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ [12].

Скорости точки диска при $t = t_1$ по модулю определяются по уравнению (1):

$$V_{t_1} = \sqrt{\left[(-r \omega \cos \alpha \cdot \sin \omega t + V_{xm})^2 + r^2 \omega^2 \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta \cdot \sin^2 \omega t + \omega^2 r^2 \cos^2 \beta \cos^2 \omega t\right]} \quad (1)$$

а направляющие косинусы по уравнению (2):

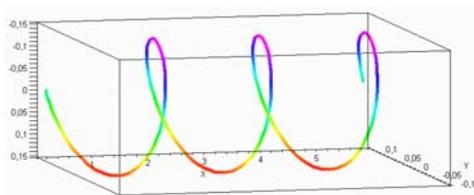
$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha_1 &= -\frac{r \omega \cos \alpha \cdot \sin \omega t_1 + V_{xm}}{V_{t_1}}; \\ \cos \beta_1 &= -\frac{r \omega \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t_1}{V_{t_1}}; \\ \cos \gamma_1 &= \frac{\omega R \cos \beta \cdot \cos \omega t_1}{V_{t_1}}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Ускорение точки диска при $t = t_1$ по модулю определяется по уравнению (3):

$$a_{t_1} = r\omega^2 \sqrt{\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \omega t_1 + \sin^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta \cos^2 \omega t_1 + \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \omega t_1}; \quad \left. \vphantom{a_{t_1}} \right\} (3)$$

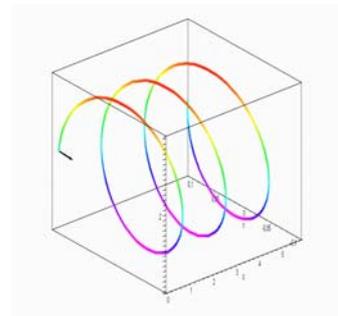
а направляющие косинусы:

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha_2 &= -\frac{r\omega^2 \cos \alpha \cos \omega t_1}{a_{t_1}}; \\ \cos \beta_2 &= -\frac{r\omega^2 \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos \omega t_1}{a_{t_1}}; \\ \cos \gamma_2 &= -\frac{r\omega^2 \cos \beta \cdot \sin \omega t_1}{a_{t_1}}. \end{aligned} \right\} (4)$$

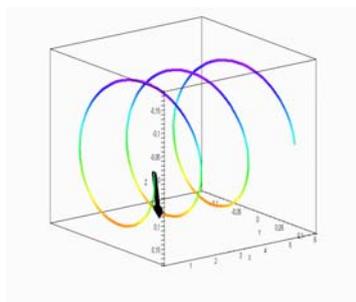


а

θ



б



в

Рисунок 36. График траекторий (а) точки сферического диска и график изменения скорости (б) и ускорения (в) во времени

Уравнениями (1.2) и (3.4) определяют вектора скоростей и ускорений каждой точки сферического диска.

Использование программного обеспечения Maple-9,5 эти уравнения достаточно просто решаются на ЭВМ. На рисунке 1 дано графическое изображение траектории, скорости и ускорения одной из точек диска. Данная методика позволяет получать поле скоростей и поле ускорений точек диска, взаимодействующих с почвой. Но для этого необходимо определить угловую скорость диска ω экспериментальным путем.

3.2 Условия защемления растительных остатков между лезвием диска дискатора и поверхностью почвы

Основной задачей дисков дискаторов является эффективное измельчение растительных остатков, после уборки зерновых культур, подсолнечника и кукурузы.

В современной научно-технической литературе для обоснования диаметра диска применяется выражение слепой эмпирики: $D = ka$, где a – глубина хода диска, k – коэффициент (для плугов $k = 3-3,5$; луцильников – 5-6; борон – 4-6) [7].

Ряд авторов [8] вывели формулу для обоснования диаметра диска. К сожалению, при исследовании взаимодействия лезвия диска и волокнистого материала авторы этих работ рассматривали диск в продольно-вертикальной плоскости как круг, между тем из-за наличия угла атаки вместо окружности имеем эллипс с полуосями $\frac{D}{2}$ и $\frac{D}{2} \cos \theta$, где (θ – угол атаки, D – диаметр диска).

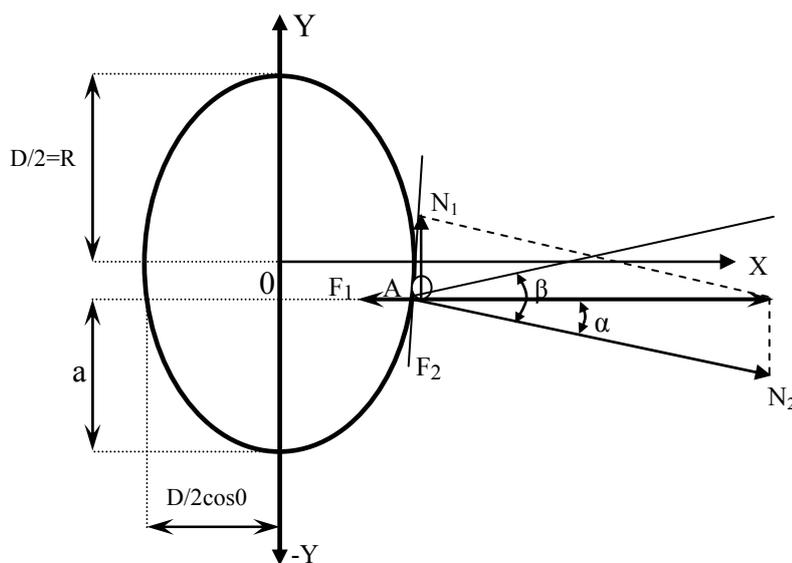


Рисунок 37. Схема силового взаимодействия диска и материала

Суть решения настоящей задачи (Есолян и др. [11]) заключается в том, чтобы с учетом величин глубины обработки (a) и угла атаки (θ) выбрать такой диаметр диска, при котором материал в створке диск-почва либо перерезался, либо вдавливался вглубь почвы.

Рассмотрим эту задачу.

При прикосновении материала с лезвием диска в створке лезвие-почва возникают две нормальные силы: N_1 – перпендикулярная к поверхности почвы; N_2 – перпендикулярная к лезвию диска. Результирующая этих сил $\bar{N} = \bar{N}_1 + \bar{N}_2$ старается вытолкнуть материал из створки лезвие-почва, ей противодействует результирующая сила трения $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$, или искомое условие будет:

$$N \leq F_1 + F_2 \cos \beta \quad (4)$$

Согласно схеме (см. рисунок 17) можем записать $F_1 = N_1 \operatorname{tg} \varphi_1$, $F_2 = N_2 \operatorname{tg} \varphi_2$, где φ_1 и φ_2 – соответственно углы трения материала о почву и лезвие диска.

Имеем также:

$$N_1 = N \operatorname{tg} \beta; \quad N_2 = \frac{N}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}$$

Подставляя полученные значения N_1 и N_2 в уравнение (4), получим:

$$N \leq N \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi_1 + \frac{N}{\cos \alpha} \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \beta, \quad \text{или}$$

$$\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \beta / \cos \alpha \geq 1 \quad (5)$$

Углы α и β взаимосвязаны зависимостью $\alpha + \beta = 90^\circ$ или $\alpha = 90 - \beta$, тогда из (5) получим:

$$\operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2 \operatorname{ctg} \beta \geq 1 \quad (6)$$

Определим величину угла β в зависимости от параметров α , R , θ . Угол есть угол, составленный касательной эллипса с осью ОХ.

Уравнение эллипса согласно схеме будет:

$$\frac{\delta^2}{R^2 \cos^2 \theta} + \frac{y^2}{R^2} = 1, \quad \text{откуда}$$

$$y = R\sqrt{1 - \frac{x^2}{R^2 \cos^2 \theta}} = \frac{1}{\cos \theta} \sqrt{R^2 \cos^2 \theta - x^2},$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{dy}{dx} = \frac{-2x}{2\sqrt{R^2 \cos^2 \theta - x^2} \cos \theta} \quad (7)$$

В точке А $y = -(R - a)$, тогда получим:

$$x = \pm \cos \theta \sqrt{2Ra - a^2} \quad \text{и}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{2Ra - a^2}}{\cos \theta} / (R - a) \quad (8)$$

Подставляя значение (8) в уравнение (6), получим:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2 \geq \frac{\sqrt{2Ra - a^2}}{(R - a) \cos \theta} \quad (9)$$

Решая последнее уравнение относительно радиуса диска, получим искомое условие заземления материала в створке почва-лезвие.

Обозначим $f = \operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2$, тогда

$$f^2 \cos^2 \theta \cdot R^2 - 2a(1 + f^2 \cos^2 \theta)R + a^2(1 + f^2 \cos^2 \theta) \geq 0$$

Обозначив $f^2 \cos^2 \theta = A$, $(1 + f^2 \cos^2 \theta) = B$, будем иметь:

$$AB^2 - 2aBR + a^2B = 0 \quad R \geq \frac{aB \pm \sqrt{a^2B^2 - Aa^2B}}{A}, \quad (10)$$

Рабочие органы современных дисковых почвообрабатывающих машин приведены в таблице 8.

Таблица 8 - Основные параметры дисков почвообрабатывающих машин [11]

Тип орудия		Д-диаметр диска, мм	Угол атаки, град.	Глубина хода, см
Плуг дисковый тяжелый	навесной	444-880	40-50	40
	прицепной	30-529	40-50	30
луцильники		532-720	0-35	6-15
культиваторы		324-816	0-45	6-15
Навесная		288-777	0-25	6-10
Садовая		490-547	15-25	14

бороны	тяжелая	575-723	15-25	20-25
--------	---------	---------	-------	-------

Решение уравнения (10) обеспечивает обоснование основных параметров дисков дисковых почвообрабатывающих машин.

3.3 Экспериментальное определение угловой скорости и тягового сопротивления сферических дисков на индивидуальных стойках.

Для вычисления проекций и определения абсолютных скоростей и ускорений точек диска нам необходимо знать значения $\bar{\omega}$. Информации по теоретическому и экспериментальному определению угловых скоростей дисков почвообрабатывающих машин, и влияние на их значение параметров установки дисков (α и β) нами в специальных публикациях не обнаружены. К сожалению из-за неголономности и нестационарности связей диска с почвой методами теоретической механики эту задачу решить не представляется возможным. Для аналитического решения нам необходимо экспериментальным путем определить угловую скорость диска ($\bar{\omega}$). Техническое обеспечение экспериментальных исследований рассмотрено выше.

Установка для определения угловой скорости и теплового сопротивления сферического диска дискатора

Для определения угловой скорости в зависимости от угла атаки (α) и угла наклона (β), скорости и глубины хода нами разработана лабораторно-полевая установка, которая удовлетворяет следующим требованиям:

На установке должны регулироваться положение сферического диска (угол атаки α в диапазоне 0 ± 50^0 и угол наклона β в диапазоне 0 ± 45^0).

2. В процессе эксперимента необходимо измерять:

2.1 угловую скорость с пределами измерения от 0,8 Гц до 20 Гц;

2.2 тяговое усилие в пределах до 5000 Н;

2.3 поступательную скорость установки V_m ;

2.4 по возможности наблюдать с помощью видеосъемки процесс воздействия диска на почву.

3. Регистрацию вести на “Note-book” с возможностью последующей обработкой информации “безбумажном” варианте.

Для установки дисков под изменяемые углы α и β разработана конструкция крепления диска к раме установки, обеспечивающая требуемый диапазон изменения α и β (п.1 требований). Общий вид конструкции приведен на рисунке 38.



Рисунок 38. Конструктивное решение установки углов « α » и « β » сферических дисков на раме полевой установки:

- а) регулирование угла атаки « α » диска;
- б) регулировка угла наклона « β » диска.

Для измерения угловой скорости диска изготовлен датчик угловой скорости, обеспечивающий измерение ω в диапазоне 0,8-20 Гц с точностью до 5% датчик протарирован на стенде jaquet (Швейцарского производства).

Для измерения тягового сопротивления полевой лабораторной установки использовано тензозвено ВИСХОМ, измеряемым усилием до 5000Н. Звено протарировано на стенде ТУД-5.

Для измерения поступательной скорости полевой лабораторной установки используется «пятое колесо» с датчиком пути ДУВ-1.

Для визуального наблюдения за процессом взаимодействия сферического диска с почвой на раме жестко устанавливается ВЭБ-камера. Microsoft lifeCam VX-70 На рисунке 39 отражены измерительные элементы.



а)

б)

Рисунок 39. Общий вид лабораторно-полевой установки:

- а) лабораторно-полевая установка;
- б) установка WEB-камеры

Вся информация с датчиков переводится в цифровой код при помощи цифрового усилителя-преобразователя Sprider S, затем регистрируется и хранится в памяти “Note-book” omnibook-600.(рисунок 40)



а



б

Рисунок 40. Проведение полевого эксперимента:

- а) измерительный комплекс;
- б) регистрация информации на ноутбуке

Все действия с вводом, хранением и переработкой информации стали возможным благодаря программного обеспечения Catman Express.

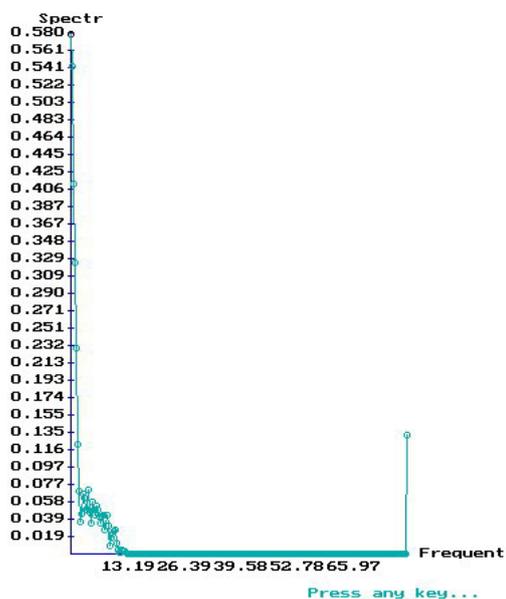
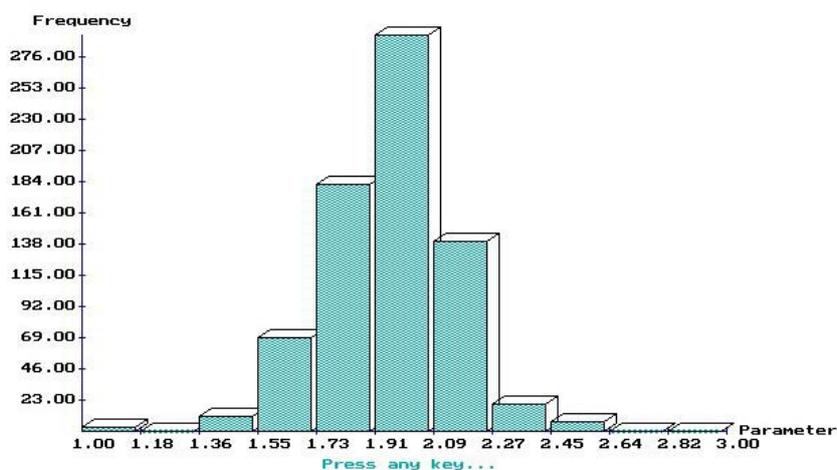
В основу экспериментальных исследований заложена методология многофакторного эксперимента [2-5].

Для организации и проведения многофакторных экспериментов необходимо выполнить 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 убеждает окончательно, что в полевых условиях скорость агрегата не может выступать в виде управляемого фактора в многофакторных экспериментах (рисунок 41).



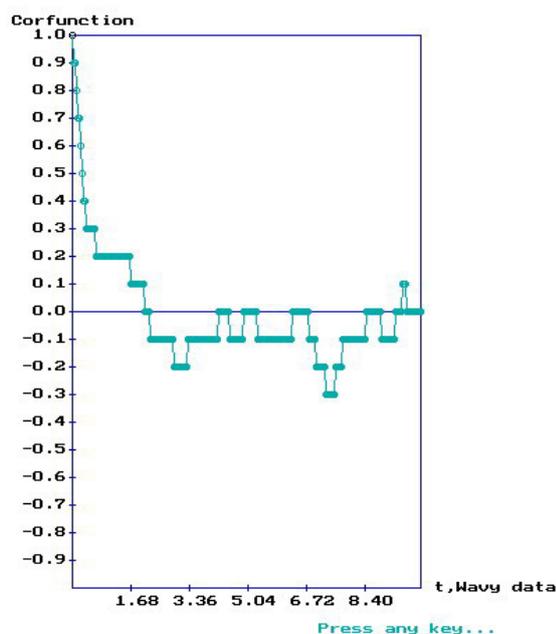


Рисунок 41. Гистограмма, корреляционная функция и спектральная плотность скорости агрегата

Таким образом встает задача проведение двухфакторного эксперимента второго порядка. Новые исследования по теории многофакторного эксперимента [17], показывает, что используемые на практике ортогональные центральные композиционные планы (ОЦКП) да и другие планы для построения полиномиальных моделей второго порядка являются избыточными как по числу экспериментальных точек, так и по числу уровня варьирования факторов. Например, для 4-х факторов число экспериментальных точек в ОЦКП равно 25, число же неизвестных коэффициентов в полной модели второго порядка равно 15. следовательно, для проверки адекватности модели остается 10 степеней свободы. Для факторов, большем или равном 3, число уровней варьирования в ОЦКП равно 5, в то время для построения моделей второго порядка достаточно 3-х уровней варьирования факторов. Значит, ОЦКП является избыточным как по числу экспериментальных точек, так и по числу уровней варьирования факторов. Число экспериментальных точек l матрице ОЦКП определяется по формуле $N = 2^n + 2n + 1$, где N – число экспериментальных точек, n – число факторов.

Модель процесса в двухфакторном эксперименте второго порядка имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2,$$

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 встречающиеся плана:

1. Центральный композиционный рототабельный план второго порядка для двух факторов (таблица 9)

Таблица 9 - Центральный композиционный рототабельный план для двух факторов

Опыт	№	X ₀	X ₁	X ₂
Планирование типа 2 ²	1	+1	-1	-1
	2	+1	+1	-1
	3	+1	-1	+1
	4	+1	+1	+1
Звездные точки	5	+1	-1.414	0
	6	+1	+1.414	0
	7	+1	0	-1.414
	8	+1	0	+1.414
Нулевые точки	9	+1	0	0
	10	+1	0	0
	11	+1	0	0
	12	+1	0	0
	13	+1	0	0

Для реализации этого плана необходимо:

– проведения 13 экспериментов, при необходимости определение 6 неизвестных;

– обеспечение параметров регулируемого фактора в звездных точках в значении +1,414 и -1,414 иногда весьма проблематично.

2. Центральный некомпозиционный план второго порядка [5], таблица 7.

Таблица 10 - Центральный некомпозиционный план второго порядка для 2-х факторов

№ эксперимента	X ₀	X ₁	X ₂
1	+	+1	0
2	+	-1	0
3	+	+0,5	+0,866
4	+	+0,5	-0,866
5	+	-0,5	+0,866
6	+	-0,5	-0,866
7	+	0	0
8	+	0	0
9	+	0	0
10	+	0	0

Для реализации этого плана необходимо:

- проведение 10 вариантов эксперимента;
- весьма сложно обеспечение параметров x_2 на уровнях $+0,866$ и $-0,866$.

3. Двухфакторный ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) второго порядка в последнее время начинает использоваться в инженерной практике в виду ряда преимуществ перед другими планами. Особенностью поставленной задачи является то, что объектом исследования является не сам процесс, а статистические характеристики, описывающие этот процесс в установившемся режиме [18]. При этом выходная величина определяется практически без ошибки (в виду большого количества измерений) и результат каждого опыта 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 проведении оценки значимости коэффициентов и проверка адекватности математической модели в форме полинома [19].

Проверка адекватности аппроксимирующего выражения по F-критерию и значимости коэффициентов по t-критерию в данном случае неприемлема, так как дисперсия воспроизводимости при определении значений “у” по графику практически равна нулю. При этом все коэффициенты, даже мало отличающиеся от нуля, окажутся значимыми, а любые отклонение вычисленного по полиному значения у от значений \tilde{y} , снятых с характеристики, формально делает модель не адекватной.

Аналогичная проблема адекватности и значимости коэффициентов возникает и при исследовании математической модели объекта на ЭВМ [8].

В этом случае приемлемы следующие пути:

- а) считать все коэффициенты значимыми, так как практически дисперсия опытов отсутствует (в виде 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 произвести 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 статистической характеристики.

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

К особенностям использования методов планирования эксперимента для математического представления статистических характеристик следует отнести и то, что в этом случае на проведение эксперимента – определение

значений выходного параметра по графику – не затрачивается много времени и ресурсов, т. е. эксперимент не является дорогостоящим. Поэтому вопрос о минимизации количества необходимых опытов не стоит так остро, как при планировании промышленного эксперимента.

В общем случае нет необходимости в последовательном характере эксперимента, 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 адекватности модели, представляется целесообразным использовать нелинейные планы даже в тех случаях, когда нелинейность статистических характеристик едва заметны. О степени нелинейности можно судить по величине коэффициентов при квадратичных членах полинома. Нелинейные планы более универсальны.

ОЦК план второго порядка двух факторов представлен в таблице 11.

Таблица 11 - ОЦК-план второго порядка для 2-х 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

Особенностью этого плана является:

– самое меньшее количество вариантов исследований из существующих (9 вариантов);

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

Особенность представления априорной информации.

Другие особенности мы высказали выше.

При тензометрировании механических процессов производится фиксация параметров в реальном масштабе времени, причем фиксируются параметры с заданным интервалом времени (шагом квантования), как правило 0,04 с. Формируется массив данных, составляющих от 1000 до несколько тысяч значений изучаемого параметра. Следовательно из-за большого количества наблюдений “n” ошибка опыта становится менее 0,5-1,0 %, и вопрос об определении однородности сопоставимости результатов экспериментов становится второстепенным. В УкрЦВТ отрабатывается программа реализации представленных результатов в виде гистограмм,

автокорреляционных функций и спектральных плотностей изучаемого процесса. При проведении экспериментов нами исследовались две функции отклика:

1 как влияют угол атаки α и угол установки β сферического диска на величину тягового сопротивления θ .

2. как влияют угол атаки α и угол установки β на значение угловой скорости ω и, в конечном виде, на λ -соотношение поступательной скорости v к угловой скорости кромки диска $\omega_D R_D$:

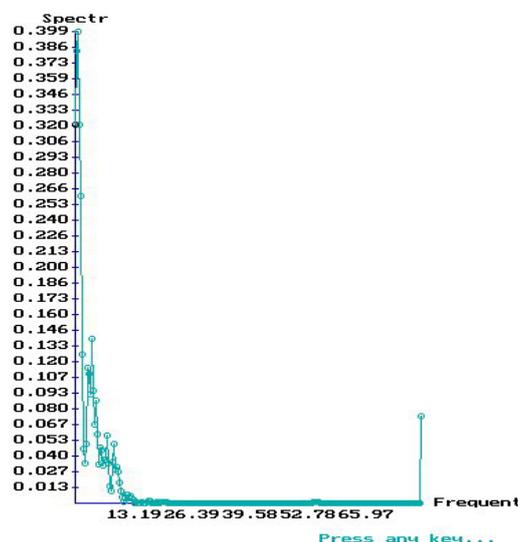
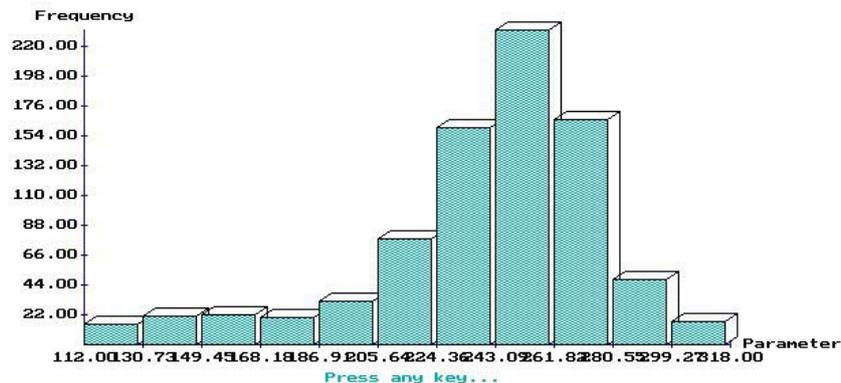
$$\left(\lambda = \frac{v}{\omega_D R_D} \right)$$

Факторы варьируют в следующем диапазоне $x_1(\alpha)$: $+1(30^\circ)$; $(-1)(10^\circ)$ $0(20^\circ)$

Фактор $x_2(\beta)$: $+1(30^\circ)$; $-1(10^\circ)$; $0(20^\circ)$.

Результаты экспериментов:

Полученная в результате экспериментов информация представлена в виде гистограмм тяговых сопротивлений графиков автокорреляционной функции и спектральной плотности (рисунок 42) и коэффициента λ (рисунок 43)



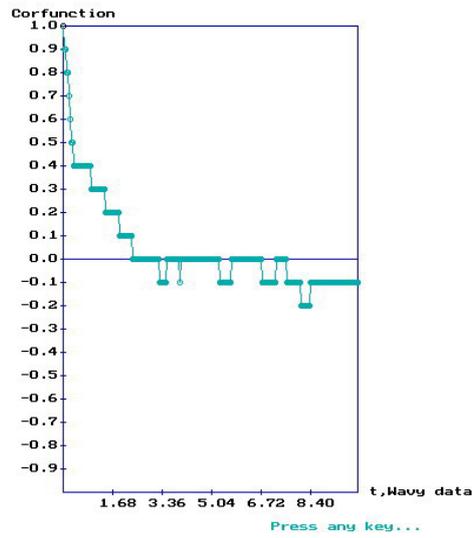
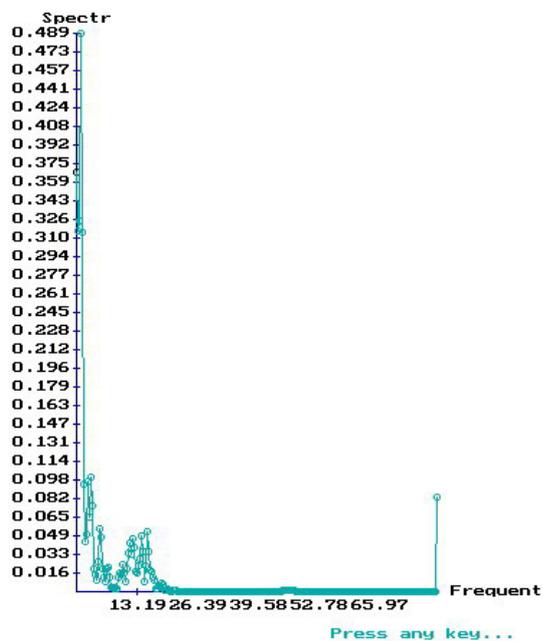
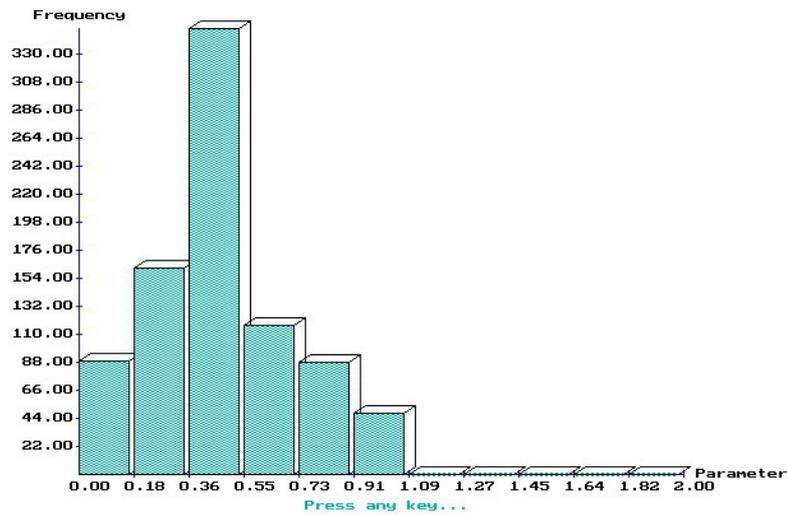


Рисунок 42. Гистограмма, корреляционная функция и спектральная плотность тягового сопротивления дисков дискатора



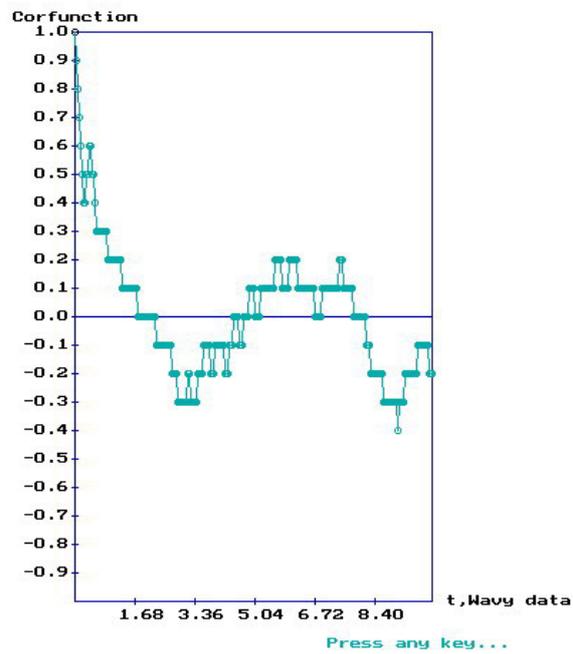


Рисунок 43. Гистограмма, корреляционная функция и спектральная плотность коэффициента, кинематического режима дисков дискаторов

Для проведения вычислений составим расчетную таблицу состоящую из 15 столбцов и 9 строк. Средние величины, полученные в результате экспериментов, занесены в столбец 4 таблицы 12.

Таблица 12

№ п / п	x_1	x_2	P_{3i}	$(x_1^2 - 2/3) / 7$	$(x_2^2 - 2/3)^8$	$(x_1^2 - 2/3)P_i$	$(x_2^2 - 2/3)P_i$	x_1P_i	x_2P_i	x_1 / x_2	x_1x_2 / P_i	P_{Ti}	$P_{Ti}P_{3i}$	Ошибка, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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
Ито го	3		1645			+0,36	13,78	124	243		-24			

Далее ведутся расчетные операции. Промежуточные нормированные значения $x_i^2 - \frac{2}{3}$ вносим в столбцы 5 и 6. Например, по второй строке $x_1 = -1$.

тогда $x_1^2 = 1$. $x_1^2 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3}$;

По строке семь $x_1 = 0$; тогда $x_1^2 = 0$; $x_1^2 - \frac{2}{3} = -\frac{2}{3}$.

В графу 7 и 8 заносим значения $\left(x_i^2 - \frac{2}{3}\right)P_i$. Так как в строке 7 $P_2 = 217$ кг, а в столбце 5 $\left(x_1^2 - \frac{2}{3}\right) = -\frac{1}{3}$, то получим значения в ячейке со строкой 2 столбце 7 $217 \cdot \frac{1}{3} = 72,26$ кг.

По строке 7; $P_7 = 220$, $\left(x_i^2 - \frac{2}{3}\right)P_7 = 220 \times \frac{2}{3} = -140$

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

Строке 2. $x_1 P_2 = -217$; $x_2 P_2 = +217$

В строке 7 $x_1 P_7 = 0$ (т. к. $x_1 = 0$); $x_2 P_7 = 230$

Составим вспомогательную колонку 11 как произведения нормированных значений $x_1 x_2$ по строкам; получим +1; -1; +1. -1, 0, 0, 0, 0, 0

В колонку 12 внесем значения произведения $x_1 x_2 \cdot P_j$ 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):

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

$$\sum P_j = 16,45; \quad \sum x_1 P = 124 \quad \sum x_2 P = 243; \quad \sum x_1 x_2 P = -24.$$

Коэффициенты полинома вычисляем по следующим формулам:

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

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

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

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

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

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

Следовательно, полиномиальное уравнение, описывающие процесс влияния углов α и β на тяговое сопротивление при установленной передаче имеет вид:

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

Следующий этап – определить насколько адекватна модель реальному процессу. Для этого [7] определим расчетные (теоретические) значения P в точках проведения экспериментов результаты и сведем их в графу 13 в таблице. На графиках приведем кривые расчетные и экспериментальные и по величине расхождения получим фактические отклонения по точкам. 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 (таблица 13) при определении влияния установки углов α β на значение коэффициента кинематического режима λ . Чтобы раскрыть вычислительные процедуры теоретических значений функции отклика несколько видоизменить таблицу.

Для этого в графу 8 производятся подстановки нормированных значений x_1 x_2

Таблица 13

№ П/П	$\lambda_{i\beta}$	$(x_1^2 - 2/3)\lambda_{i\beta}$	$(x_2^2 - 2/3)\lambda_{i\beta}$	$x_1\lambda_{i\beta}$	$x_2\lambda_{i\beta}$	$x_1x_2\lambda_{i\beta}$	$\lambda_p = 1,45 - 0,288x_1 - 0,198x_2 + 0,15x_1^2 + 0,06x_2^2 + 0,052x_1x_2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,1 4	0,713	0,713	-2,14	-2,14	-2,14	$1,45 + 0,28 + 0,198 + 0,15 + 0,06 + 0,052 = 2,198$
2	1,6 3	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	1,1 2	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	1,4 2	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	1,2 8	0,426	- 0,854	1,28	0	0	$1,45 - 0,288 + 0,15 = 1,312$
6	1,7 8	0,593	- 1,187	-1,78	0	0	$1,45 + 0,288 + 0,15 = 1,881$
7	1,2 5	- 0,834	0,416	0	1,25	0	$1,45 - 0,198 + 0,06 = 1,312$
8	1,6 3	- 1,087	0,543	0	-1,63	0	$1,45 + 0,198 + 0,06 = 1,658$
9	1,3 5	- 0,900	-0,90	0	0	0	1,45
ИТОГ о	13, 6	+0,3	0,12	-1,73	-1,19	0,21	

Расчеты коэффициентов полинома определяются следующим образом:

$$b_1 = \frac{-1,73}{6} = -0,288; b_2 = \frac{-1,19}{6} = -0,198; b_{12} = \frac{0,3}{2} = 0,15; b_{22} = \frac{0,12}{2} = 0,06;$$

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

а уравнение модели взаимодействия имеет вид:

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

Составим полученные расчетные и экспериментальные результаты по 9 вариантам экспериментов.

В колонке 8 внесем результаты подсчета λ по полученному уравнению регрессии (расчетное, теоретическое) значение исследуемой функции

Таблица 10

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

На рисунке 44 приведены графики зависимости тягового 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, 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. следовательно, 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.

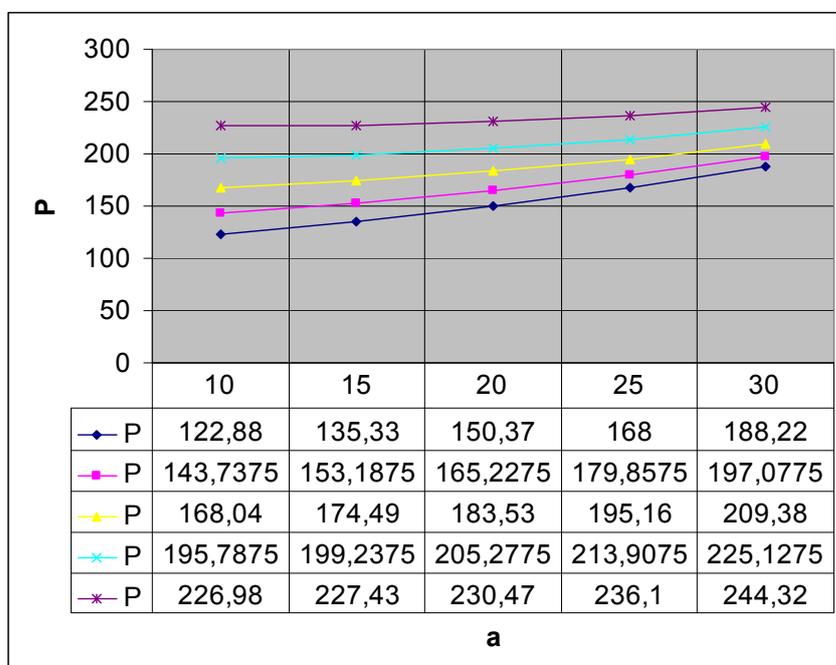


Рисунок 44.
Тяговое сопротивление сферических дисков в зависимости от угла атаки α и угла установки β

На рисунке 45 приведены графики зависимости коэффициента кинематического режима λ в зависимости от углов α и β . Увеличение углов α и β ведут к уменьшению значения коэффициента кинематического режима.

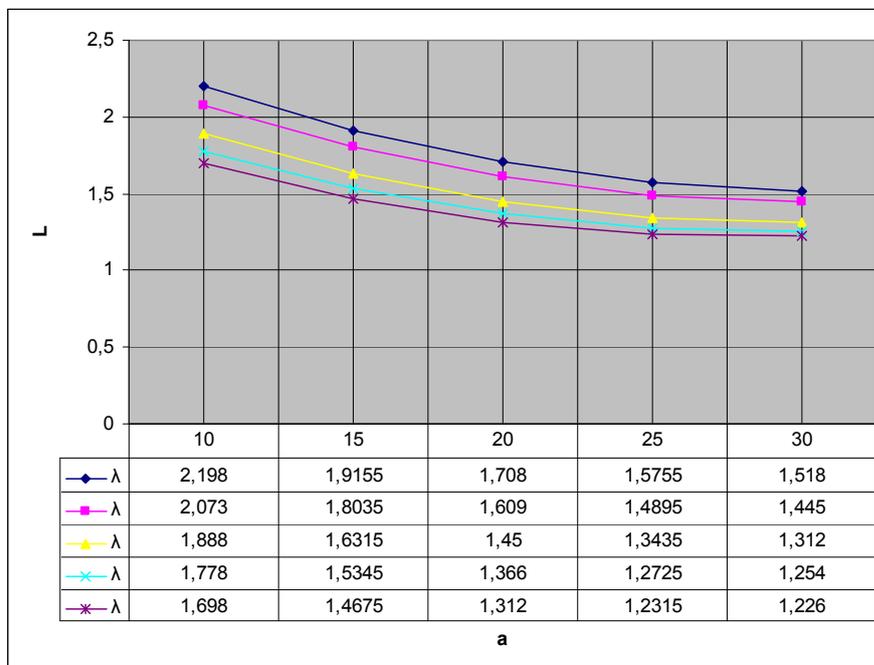


Рисунок 45. Коэффициент кинематического режима сферических дисков зависимости от угла атаки α и угла установки β

Литература:

1. Кушнарев А.С., Погорелый В.В. Методические предпосылки выбора способа обработки почвы. Техника в АПК. 2008. №1. с 17-21.
2. Кушнарев А.С. Новый взгляд на обработку почвы. Труды
3. <http://kurdyumov.ru/knigi/zaschita/zaschita06.php>
4. Решение от 09.10.2008 года по делу 006-А3 в отношении ООО ТД агротех по заявлению ООО БДМ-Агро.
5. Кушнарев А., Шевченко И., Дюжаев В., Кушнарев С. Механика взаимодействия рабочих органов на упругой подвеске с почвой. Техника в АПК. 2008. № 8. С. 22-25.
6. Интернет-ресурсы в Google под ключевым словом дискатор.
7. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М. Машиностроение, 1977.
8. Абсяв В.В. Параметры технологического процесса обработки почвы дисковыми почвообрабатывающими орудиями. Краснодар 2004 стр.177.

9. Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия. Дис.к.тн Благовещенск, 2006 стр.154.

10. Интернет ресурсы www.tractor.ru. Обзор по дисковым рабочим органам 8.09.2008г.

11. Есолян А.М., Токапетян П.А., Архелян А.А.. К теории оптимизации параметров сферических дисков почвообрабатывающих машин. Известия Государственного аграрного университета Армении. №1, 2006г.

12. Тарг С. Краткий курс теоретической механики.

13. Барашук В. Планирование эксперимента в технике. К.: Техника, 1984 - 200с.

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

15. Калайда В.Т. Планирование эксперимента. Методы обработки результатов эксперимента и основы математической теории планирования эксперимента. Уч. пособие. Томск, из-во томского университета, 1997

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

17. Бахтин А.В., Чалый В.Д. Повышение эффективности использования ОЦКП. Научная сессии МИФИ. Сб. трудов. М: 1999-47с. Информатика и компьютерные системы. Информационные технологии. Интеллектуальные системы технологии. Технологии разработки программного обеспечения. Банки данных и анализ данных. с. 103-104

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

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