

**П. А. ТОНАПЕТЯН  
М. А. КАРАПЕТЯН**

**ДИСКОВЫЕ  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ  
РАБОЧИЕ ОРГАНЫ**

УДК 631.31.02(075.8)

ББК 40.7

Т 57

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор Национального аграрного университета Армении **Есоян А. М.**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Мелиоративные и строительные машины» ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева  
**Х. А. Абдулмажидов**

**П. А. Тонапетян, Карапетян М. А.**

Т 57 Дискровые почвообрабатывающие рабочие органы: учебное пособие / П. А. Тонапетян, М. А. Карапетян / Национальный аграрный университет Армении; ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева. – М. : ООО «Мегаполис», 2022. – 77 с.

ISBN 978-5-6047495-9-3

В пособие рассмотрены состояние и актуальные вопросы разработки и производства дисковых почвообрабатывающих рабочих органов. Особое внимание уделено проблемам выбора технологических параметров, повышению технологической эффективности и надежности, определены место и роль дисковых рабочих органов в почвообрабатывающих агрегатах.

Учебное пособие предназначено для специалистов сельского хозяйства, научных работников, преподавателей, аспирантов, магистров и студентов аграрных вузов по направлению подготовки «Агроинженерия».

УДК 631.31.02(075.8)

ББК 40.7

ISBN 978-5-6047495-9-3

© Тонапетян П. А.

Карапетян М. А., 2022

©ООО «Мегаполис», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Энергосберегающие приемы обработки почвы.....	6
2. Дисковые почвообрабатывающие рабочие органы.....	14
3. Основные геометрические параметры дисковых почвообрабатывающих рабочих органов.....	26
4. Кинематическая характеристика дискового почвообрабатывающего рабочего органа.....	31
5. Кинематика движения почвы по поверхности сферического диска.....	36
6. Обоснование технологических параметров дисковых почвообрабатывающих рабочих органов.....	42
7. Условия зацебления растительных остатков между лезвием диска и поверхностью почвы.....	48
8. Определение место равнодействующей реакции на поверхности плоских почвообрабатывающих дисков.....	53
9. Влияние установочных параметров сферических дисков на качество обработки почвы.....	59
10. Разработка и обоснование параметров универсального рабочего органа обработки склонов с минимальной технологией.....	64

## **ВВЕДЕНИЕ**

Определение эффективности технологии возделывания культур в традиционном денежном эквиваленте в настоящее время затруднено из-за постоянного изменения цен на технику, семена, удобрения и др. Более точно оценить эффективность технологии можно по затратам энергии.

Семена, техника, живой труд, услуги, удобрения и другие составляющие технологии имеют определенную величину энергии, которая была затрачена на их производство или которую затрачивают они сами в процессе производства.

Одной из причин низкой рентабельности производства растениеводческой продукции являются чрезмерные издержки на возделывание культур, объясняемые отставанием в научно-техническом вооружении, применением устаревших технологий и высокоэнергоемких технических средств. В условиях рыночной экономики важнейшими факторами эффективности хозяйствования становятся экономическая целесообразность и конкурентность производимой продукции.

Для обеспечения конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции необходимо систематически снижать трудовые, материальные и энергетические затраты при ее производстве.

Важнейшей тенденцией совершенствования почвообработки, имеющей глобальный характер, является ее минимизация. Применение минимальных и нулевых обработок способствует снижению испарения с поверхности почвы за счет уменьшения аэрации пахотного слоя и мульчирующего эффекта растительных остатков при достаточном их количестве. Благодаря мульче эффективнее используется конденсационная влага. Большим достоинством минимальных, особенно нулевых, обработок являются экономия горючего, сокращение затрат, проведение работ в сжатые сроки, высвобождение времени у товаропроизводителей.

Выбор оптимальной системы обработки почвы лежит в широком диапазоне всевозможных решений от традиционной системы вспашки до нулевой обработки через множество вариантов безотвальных, плоскорезных, отвальных обработок и их комбинаций при различных уровнях минимизации.

При минимальной обработке почвы больше применительно дисковые ротационные орудия, которые обладают рядом ценных качеств, которые делают их предпочтительными в сравнении с другими орудиями, предназначенными для выполнения той же операции, что и бороны и мульчировщики. Это простота конструкции, более высокая технологическая надежность, способность поверхностной обработки почвы, относительно низкий износ рабочих органов.

К качеству обработки почвы предъявляется ряд агротехнических требований, выполнение которых возможно только с учетом зависимости качественных показателей от технологических параметров при проектировании орудий. В связи с этим вопросы технологического проектирования становятся фундаментом и остальных проблем, без которых нельзя получить максимальный эффект при использовании дисковых борон и луцильников.

В странах СНГ, Европы, США и Канаде проведен ряд важных исследовательских работ и конструктивных разработок по совершенствованию дисковых борон и луцильников. Однако отсутствие общей методики обоснования оптимальных технологических параметров дисковых ротационных орудий, к сожалению, приводит к серьезным просчетам при проектировании новых. Многие изготовители, копируя чужие разработки, допускают совершенно необоснованные решения. В этих условиях неудивительно, что ни одна борона не сопровождается инструкцией по сборке, настройке и эффективному использованию.

Книга предназначена для широкого круга специалистов сельскохозяйственного производства, научных работников и конструкторов, занятых разработкой, испытанием, производством и эксплуатацией почвообрабатывающих машин. Также она полезна преподавателя, аспирантам, магистрам и студентам высших учебных заведений.

## **1. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРИЕМЫ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

Современная агрономическая наука под обработкой почвы подразумевает совокупность механических приемов, которые, воздействуя на почву, повышают ее плодородие и создают наилучшие условия для роста и развития выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Основной задачей обработки почвы является приведение почвы к состоянию оптимальной плотности под выращивание соответствующей культуры [12]. Способ обработки почвы определяется реальным состоянием, характеризующимся равновесной плотностью почвы. Почвы с содержанием гумуса более 4 %, как правило, имеют равновесную плотность, равную оптимальной и обработки практически не требуют. Равновесная плотность почвы зависит от содержания в ней гумуса [13]. 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 (0–5 см) 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 (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 мире формируется новая парадигма ведения сельского хозяйства, основой которой стали бережное отношение к природным ресурсам и охрана окружающей среды. Сохранение почв сегодня – одна из общемировых стратегий, реализовать которую призваны ресурсосберегающие технологии.

Выбор оптимальной системы обработки почвы лежит в широком диапазоне всевозможных решений от традиционной системы вспашки до нулевой обработки через множество вариантов безотвальных, плоскорезных, отвальных обработок и их комбинаций при различных уровнях минимизации. Этот выбор определяется экологическим разнообразием условий, требованиями сельскохозяйственных культур и уровнем интенсификации производства, в частности, обеспеченностью агрохимическими ресурсами.

Опыт показал, что традиционная технология возделывания зерновых культур со вспашкой зяби и весенним боронованием характеризуется большой трудоемкостью и высокими энергозатратами.

Простые (нормальные) традиционные технологии используются в хозяйствах с низким уровнем доходности, кадрового обеспечения и, как правило, рассчитаны для регионов с невысоким ландшафтным потенциалом, преимущественно степных и засушливых районов [17]. В этом случае отличительной чертой традиционного технологического процесса является необходимость проведения пахотных работ. К примеру, авторы С. А. Селицкий, О. В. Егорова, считают, что «наиболее энергоемким технологическим процессом является обработка почвы, на которую в среднем расходуется 30...40 % энергии» [20].

Интенсивные технологии рассчитаны на более глубокие знания и требуют вовлечения в процесс производства сельскохозяйственной продукции минеральных удобрений, использование малообъемных средств защиты растений от болезней, вредителей и сорняков в зависимости от порога их вредоносности, дифференцированного внесения препаратов в различные фазы развития растений с работой агрегатов по технологической колее. Этот тип рассчитан на

благоприятные по увлажнению ландшафты. Их потенциал по урожайности зерновых культур составляет 30–40 ц/га [19].

Интенсивные технологии-система получения качественного зерна с компенсацией выноса питательных веществ урожаем, с мерами по защите растений от наиболее опасных болезней, вредителей и сорняков, обеспечивающая реализацию потенциала сорта более 65 % и затраты труда менее 4,5 чел.-ч/т зерна, гарантирующая урожайность зерна 40...50 % [17].

Интенсивные и простые технологии имеют принципиальное отличие в рамках обработки почвы. В широком смысле слова понятие «обработка почвы» может соотноситься с категорией «технология», так как в литературе встречается развернутый термин «обработка почвы», к которой относят технологические процессы, связанные с раздроблением или измельчением остатков, применением пестицидов, вспашкой, посадкой, уходом за растениями и уборкой урожая.

Поэтому существующее подразделение на сберегающую и обычную обработку почвы можно считать соотносящими, едиными в методологическом плане категориями с понятиями сберегающих и традиционных технологий.

Можно выделить несколько общепризнанных видов обработки почвы:

1. Сберегающая обработка почвы (включающая в себя нулевую обработку по технологии No-till, гребневую обработку, обработку мульчей);
2. Обычная обработка почвы;
3. Минимальная обработка почвы;
4. Сокращенная обработка почвы.

Нулевая обработка почвы (no tillage) предусматривает в течение вегетационного периода лишь один контакт почвообрабатывающих орудий с почвой во время посева. Посев производится, как правило, в узкие бороздки шириной 2,5–7,5 см одновременно с одной или несколькими дополнительными операциями. Для борьбы с сорняками интенсивно используются гербициды. При нулевой системе обработки экономия может достигать 70...80 % [14].

Гребневая обработка (*ridge tillage*). В этом случае почва не обрабатывается до посева. Мульчирующая обработка (*mulch tillage*). Перед посевом производится рыхление почвы с одновременным



измельчением и сохранением на поверхности почвы крупностебельных остатков пропашных предшественников [14].

Маслов Г., Небавский В. считают, что «нулевая обработка почвы, при использовании технологий прямого посева, наиболее эффективно решает задачи энергосбережения в растениеводстве. Достижения аграрной науки, сельскохозяйственного машиностроения и химической промышленности, производящей удобрения и гербициды, создали необходимые предпосылки для внедрения технологий прямого посева. Их применяют при возделывании озимых и яровых зерновых, при посеве пропашных и подсева трав, а также при подсева зерновых в местах гибели озимых при перезимовке. В Бразилии и Аргентине прямой посев применяют на 60 % посевной площади, в США – на 23 %, в России существенно меньше» [15].

Под нулевыми технологиями в большинстве случаев понимают «прямой посев, который производится по необрабатываемому полю с отказом от всех видов механической обработки почвы. Растительные остатки (стерня и измельченная солома), которые сохраняются на поверхности поля, способствуют задержанию снега, сокращению эрозионных процессов, улучшению структуры почвы, защите озимых культур от низких температур, накоплению питательных веществ. Значительно увеличивается популяция дождевых червей и почвенных микроорганизмов. Существенно сокращаются производственные затраты, в том числе и на топливо. Сохраняется окружающая среда [20].

При использовании технологии No-till, посев производится по полю при сохраненных и равномерно распределенных пожнивных остатках. Стерня способствует задержанию снега и накоплению влаги, а измельченная солома дает дополнительное биологическое питание почвенным организмам, препятствует испарению. Особо важная роль в земледелии при данной системе уделяется севооборотам, которые снижают рост сорняков, заболеваемость сельскохозяйственных культур, устраняет проблемы, связанные с насекомыми-вредителями, увеличивая плодородие почвы и потенциальную рентабельность земель.

Так, австрийские ученые Шпигель Х., Дерш Г., Хеш Я., Баумгарте А. считают, что применение новых технологий имеет специфический эффект, связанный с изменением органического состава почвы [29].

Сокращенная обработка почвы (*reduced tillage*) – это любой метод ведения сельского хозяйства, при котором используется меньшее воздействия орудий культивации чем при обычном способе обработке [28, 29].

Термин минимальная обработка (*minimum tillage*) носит обобщающий характер. Это понятие включает в себя все виды почвозащитной обработки за исключением нулевой. В зарубежной литературе также встречаются достаточно разнообразные подходы к определению новых технологий, в большинстве случаев, соизмеримых с состоянием почвы и обусловленных необходимой обработкой почвы. К примеру, в ASAE Standart указано, что существует минимальная обработка почвы [28].

Сокращенная (минимальная) обработка почвы – в рамках этой системы культуры выращиваются с меньшей степенью культивации почвы, чем при традиционной земледелии. Борьба с сорняками осуществляется за счет выпаса скота, применения гербицидов и частичной культивации. Рекомендуются применять сокращенную почвообработку после этапа выпаса скота [4].

В странах СНГ, по мнению Лобачевского Я. П. и Колчина Л. М., под термином «минимальная обработка почвы обычно понимают зональные системы обработки, обеспечивающие минимальное механическое воздействие на почву. Характерные особенности минимальной обработки – отказ от единых рекомендаций, творческий подход, основанный на применении научных достижений и передового практического опыта с учетом местных условий» [14].

Шпилько А. В., Драгайцев В. И, Морозов Н. М., Кабанов П. Н., Миндрин А. С., Цой Л. М. считают, что «в настоящее время разработаны и применяются различные приемы обработки почвы, основанные на уменьшении глубины обработки и изменении способа (без отвала, рыхление и т. п.) воздействия орудия на почву. Эти приемы получили название минимальной обработки почвы. Она направлена на уменьшение интенсивности механических воздействий рабочих органов сельскохозяйственных машин и уплотняющих воздействий на почву ходовых систем и в конечном счете на сохранение плодородия и снижения затрат топливно-энергетических ресурсов» [19].

В современной отечественной и мировой практике к наиболее перспективным экономичным энергосберегающим и одновременно почвозащитным приемам относятся минимальная и нулевая обработки почвы, существенно сокращающие агротехнические операции.

Применяемые в современной практике варианты энергосберегающих технологий во многом различаются в зависимости от системы основной и предпосевной обработки почвы.

Технология зерновых с традиционной обработкой почвы включает около десяти технологических приемов. Осенью после уборки предшественника проводят лушение стерни дисковым луцильником типа ЛДГ на 6–8 см. Затем вносят минеральные удобрения и одновременно проводят вспашку плугом с предплужником на глубину 20–22 см. Весной, при достижении физической спелости почвы, проводят боронование, задачей которого является закрытие влаги и выравнивание поверхности поля. Непосредственно перед посевом почву культивируют на глубину заделки семян. Затем проводят посев на глубину 6–8 см. В фазе кущения против однолетних двудольных и многолетних сорняков посевы обрабатывают гербицидами.

Технология с минимальной обработкой почвы в сравнение с традиционной позволяет уменьшить механические воздействия почвообрабатывающих машин на почву и уплотняющее действие их ходовых систем на нее, сократить количество проходов агрегатов по полю. После уборки предшественника вносят минеральные удобрения. Затем сразу же проводят мелкую (на глубину 6–7 см) обработку дисковым культиватором, который заделывает в почву минеральные удобрения, подрезает и выворачивает сорняки на поверхность почвы, где они усыхают. Весной при достижении физической спелости почвы проводят посев.

Все остальные технологические операции те же, что и при традиционной обработке почвы.

Технология с нулевой обработкой почвы предусматривает прямой посев в почву, предварительно обработанную гербицидами. Однако возможны и другие варианты, когда, например, в весенний период при достижении физической спелости почвы по стерне проводят посев стерневой сеялкой одновременно с внесением стартовой дозы удобрений. Технология также предусматривает обработки посевов гербицидами, а при необходимости – инсектицидами. Убирают урожай, как обычно, комбайнами напрямую.

При нулевой обработке почвы вспашка и культивация отсутствуют, интенсивнее используются средства защиты растений.

Таким образом, технология с традиционной обработкой почвы включает десять основных агротехнических приемов, с минимальной – семь и с нулевой – только пять.

Экспериментальный и производственный опыт показывает, что минимальная обработка почвы в соответствующих условиях обеспечивает практически равный урожай зерновых в сравнении с традиционной вспашкой, она в два раза менее энергоемка (расход горючего на гектар пашни снижается на 10–15 кг), что экономически весьма выгодно, особенно в условиях высоких цен на энергоносители.

Вместе с тем, необходимо отметить, что при минимальной обработке под озимые культуры в засушливые годы урожайность устойчиво повышается (на 1,3–5,4 ц/га по сравнению со вспашкой на 20–22 см).

Основные недостатки минимальной технологии следует считать существенное увеличение засоренности посевов, причем увеличивающееся по мере увеличения срока использования.

Однако негативные аспекты минимальной обработки почвы могут быть устранены при строгом соблюдении научных рекомендаций.

При нулевой обработке почвы необходимо учитывать особенности и свойства почвы, а именно, устойчивость ее к уплотнению, дренированность, содержание гумуса и подвижных форм питательных веществ. Без этого применение такой обработки может представлять определенный риск или даже привести к отрицательным агрономическим, экономическим и экологическим результатам. Применяя нулевую обработку почвы, необходимо предусмотреть более высокие затраты на химические средства защиты растений от сорняков, вредителей и болезней; дополнительные затраты на специальную технику при сохранении традиционной, поскольку обычно не все участки пашни пригодны для нулевой обработки, а также ее повторений каждые 3–4 года; соблюдение более высоких требований по применению средств защиты растений, минеральных удобрений, мелиорантов; трудности с использованием органических удобрений, эффективность которых без заделки в почву очень низкая. Кроме того, не все культуры дают при нулевой обработке высокий урожай.

Учитывая положительные и отрицательные факторы минимальной и нулевой обработки почвы, следует все же подчеркнуть, что в современном земледелии только применение этих приемов позволяет снизить воздействие на почву отрицательных факторов (уплотнение почвы, разрушение структуры, нарушение водного режима).

В системе минимальной и нулевой 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 лушения стерни, основной обработки почвы, грядообразования, нарезки борозд, окучивания и даже уборки картофеля.

## **2. ДИСКОВЫЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ**

Современное направление механизации сельскохозяйственного производства предусматривает создание новых почвообрабатывающих рабочих органов, способных качественно выполнять работу при минимальных затратах энергии и качественной обработке почвы. Так как обработка почвы была и остается решающим фактором, влияющим на эффективность производства продукции растениеводства, то необходимо стремиться к снижению затрат при обработке почвы. Экономия энергии является основной составляющей в отражении себестоимости производимой продукции. Поэтому снижение затрат энергоресурсов является важной задачей при производстве продукции растениеводства.

Механическое действие рабочих органов почвообрабатывающих машин направлено на изменение физико-механических свойств почвы с целью повышения его потенциальной энергии, используемой в дальнейшем растениями. При этом они обеспечивают надлежащее качество обработки почвы, высокую проходимость агрегата на объектах и минимальную энергоемкость выполняемого процесса.

Почвообрабатывающие орудия с дисковыми рабочими органами получили широкое распространение в сельском хозяйстве. Это объясняется тем, что диски обеспечивают интенсивное резание растительных остатков, находящихся на поверхности почвы, имеют низкую забиваемость, обеспечивают интенсивное крошение почвенного пласта и высокую проходимость в условиях наличия препятствий.

При анализе конструкций рабочих органов дисковых борон их можно классифицировать по таким признакам: по типу дисков; по форме отверстия под оси и по форме вырезов дисков.

Классификация рабочих органов дисковых борон.

**По типу дисков:**

- плоские;
- сферические сплошные;
- сферические вырезные;
- сферические с вырезами на режущей кромке;
- сферические с кольцевыми гофрами для усиления;
- сферические со съемными ножами.

**По форме отверстия под ось:**

- круглое;
- квадратное;
- шестигранное;
- многогранное.

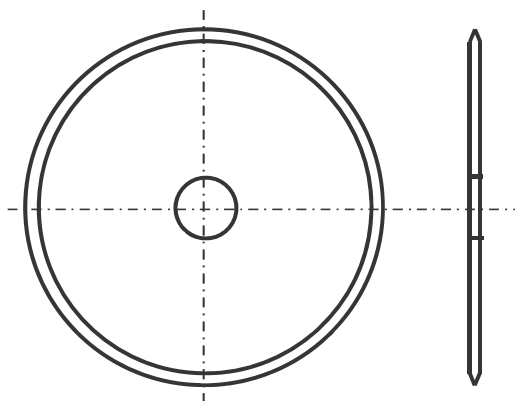
**По форме вырезов:**

- с V-образными вырезами;
- с вырезами в форме дуги окружности;
- со спиралевидными вырезами;
- с конусоидальными вырезами;
- рифленные;
- шестигранные;
- волнистые (циклоида, синусоида);
- комбинированные.

Дисковые рабочие органы не только движутся поступательно вместе с рамой машины или орудия, но и вращаются под действием реакции почвы. Вращательное движение влияет на характер подрезания почвенного пласта рабочей кромкой диска, изменяет траекторию перемещения почвенной массы по поверхности диска, за счет чего дисковые рабочие органы в меньшей мере, чем поступательно движущиеся рабочие органы, забиваются растительными остатками, обеспечивая минимальную энергоемкость процесса [16, 22].

При обработке тяжелых пересохших почв дисковыми рабочими органами крупные глыбы, возникающие в результате обработки таких почв лемешными плугами, не образуются.

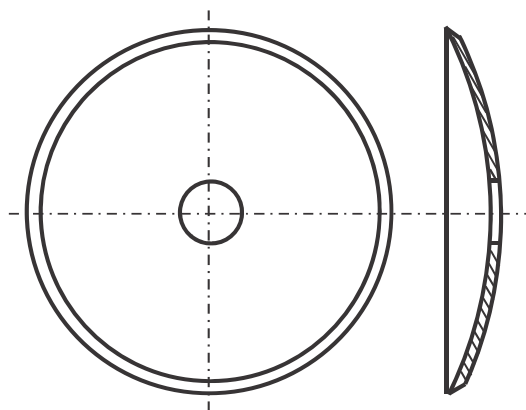
**Плоские диски** находят широкое применение благодаря простоте конструкции, простоте изготовления, запасу прочности. Плоские диски применяют в качестве дисковых ножей на плугах, в луцильниках, предназначенных для обработки почв, подверженных ветровой эрозии, в сеялках (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Плоский диск**

Установка дисковых ножей перед каждым корпусом плуга при обработке старопахотных почв значительно улучшает качество пахоты и устойчивость хода; при обработке связных задернелых почв (целина, луг, осушенный торфяник и т. п.) плужные корпуса без ножей оказываются вообще неработоспособными. Однако в том и другом случае несколько ухудшается заглубляемость плуга (глубина вспашки уменьшается на 2...4 см). Кроме дисков с гладким лезвием, используют рифленые и вырезные диски. Их рекомендуют применять при обработке сильно засоренных и заросших растительностью почв. Установка плоских дисков на луцильниках позволяет обрабатывать почву без обработки пласта с сохранением стерни.

**Сферические диски** являются наиболее распространенным и универсальным типом дисков (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Сферический диск**

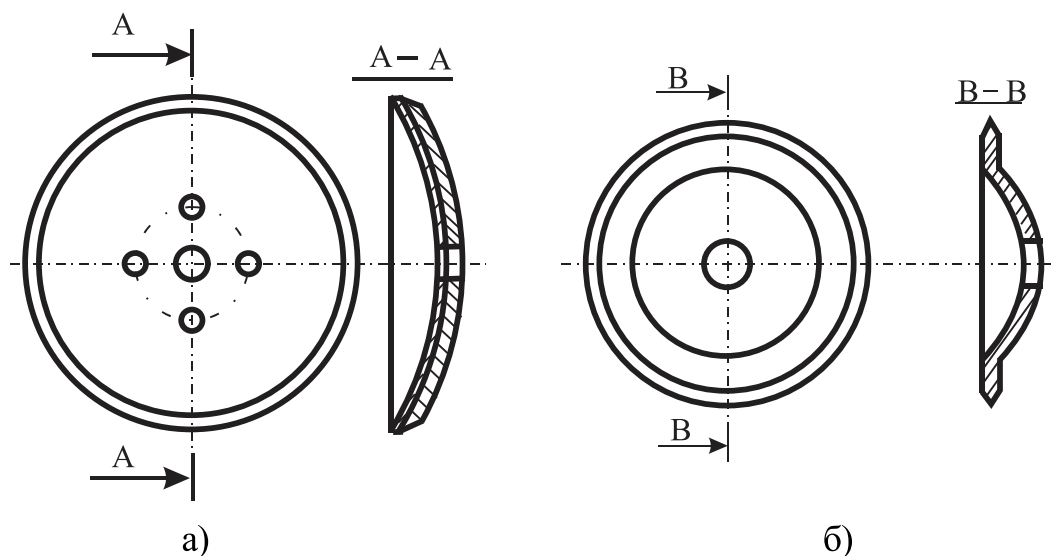


Сферические диски используются в качестве рабочих органов дисковых плугов, луцильников, борон. Дисковые плуги, содержащие сферические диски в качестве рабочих органов, предназначены для обработки тяжелых, сухих почв, почв, пронизанных корнями растений.

Режущая кромка диска, установленного под углом к направлению движения, называемым углом атаки, в процессе работы отрезает полоску почвы и поднимает ее на внутреннюю поверхность диска, в результате чего почва крошится, частично оборачивается и перемещивается. С увеличением угла атаки дисковый рабочий орган глубже погружается в почву, ее крошение возрастает [6, 24].

Диски со сплошным лезвием (рисунки 2, 3а) наиболее полно перерезают растительные остатки, но при определенных условиях (повышенная влажность и глубина обработки почвы) легче забиваются из-за появления явления протаскивания с потерей оборотов.

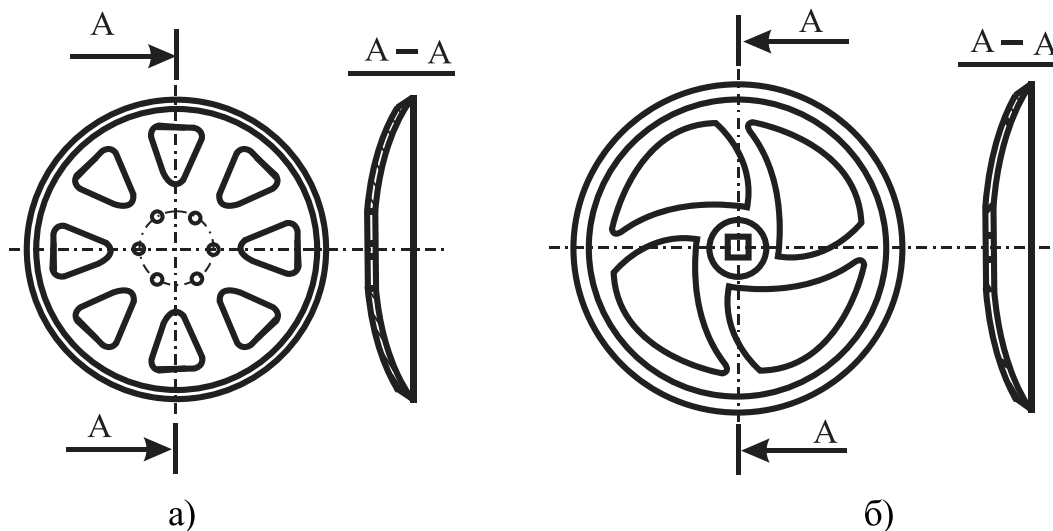
Диски с плоской режущей кромкой (рисунок 3б) снижают затылочное давление задней поверхности диска на борозду, что положительно сказывается на качестве работы, но только при малых углах атаки. Изменение геометрии ведет к усложнению процесса изготовления и некоторому снижению прочности [6].



**Рисунок 3 – Диски со сплошным лезвием:**  
 а – двухслойный, б – с плоской режущей кромкой

**Вырезные диски** даже при относительно небольших диаметрах более надежно захватывают стебли растений и перерезают их или переступают через них, легче заглубляются в почву и более по-

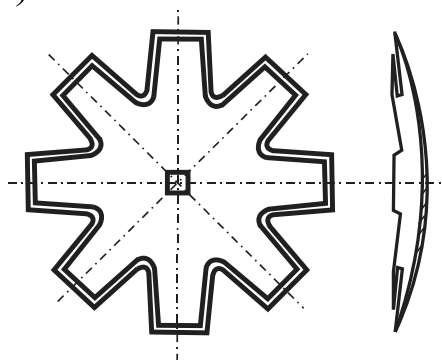
стоянно находятся в зацеплении с плотным дном борозды, что способствует сохранению оборотов диска, следовательно, и исключению явления протаскивания и забивания орудий почвой и растительными остатками. Форма и размеры вырезов дисков бывают разные в зависимости от условий работы (рисунок 4) [2, 18].



**Рисунок 4 – Вырезные диски:**  
а – двухслойный, б – с плоской режущей кромкой

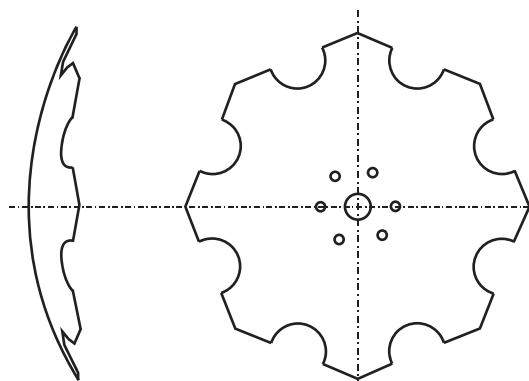
Сферические диски с вырезами на рабочей кромке устанавливают на тяжелых боронах, которые применяют как для первичной обработки тяжелых задернелых почв, так и для разделки связных пластов, поднятых при вспашке болотных и кустарниковоболотных земель. Они интенсивно воздействуют на почву, перерезают корни растений [25].

Диски с вырезами по периферии получили название «ромашка». Первые диски типа «ромашка» устанавливались на боронах батарейного типа БДТ-7, БДТ-3 и др. и имели вырезы трапециевидальной формы (рисунок 5).



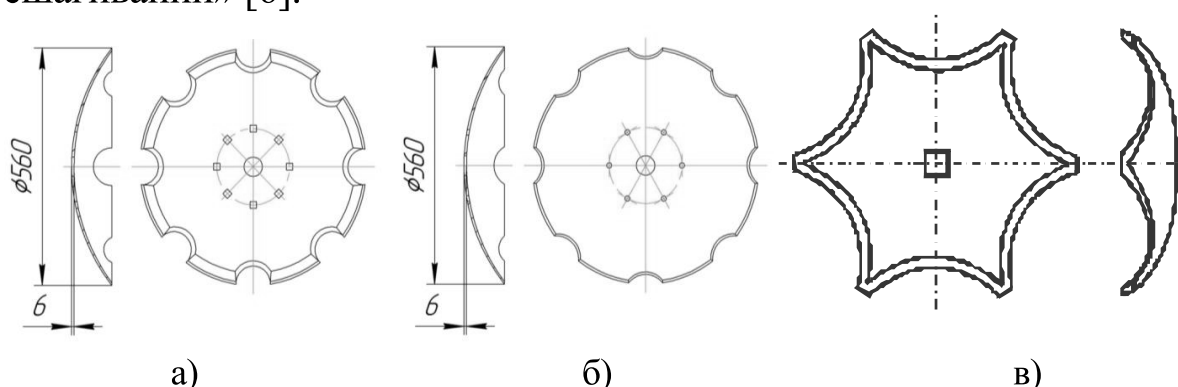
**Рисунок 5 – Диск бороны «ромашка» с трапециевидальными вырезами**

Дальнейшим развитием конструкции диска с трапецидальными вырезами по режущей кромке является корончатый диск (рисунок 6). Его геотермия обеспечивает более глубокое проникновение в почву и улучшает резание растительности за счет увеличения скольжения [8].



**Рисунок 6 – Корончатый диск (БДМ-590-6"СЛ"Н)**

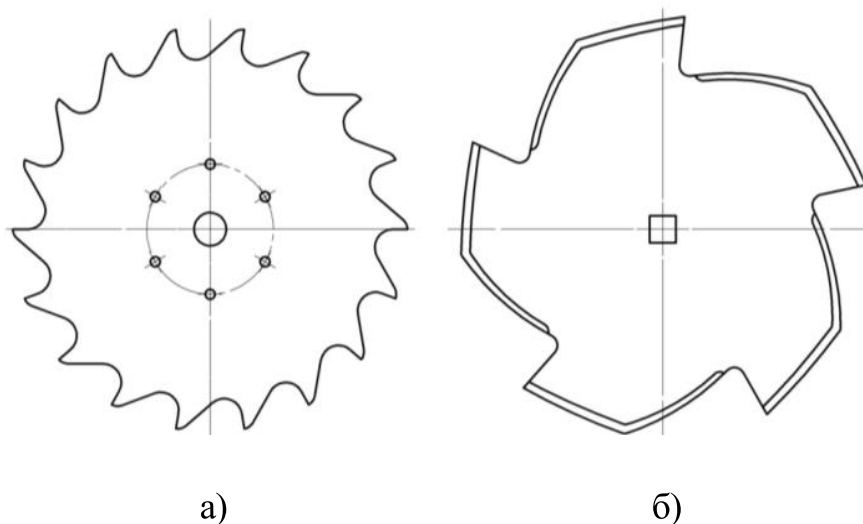
В последствии появились диски с вырезами полукруглой формы разных размеров. Диски с вырезами большего размера с углублением в диск до 30...60 мм (рисунок 7а) предназначены для измельчения растительных остатков и обеспечения более надежного сцепления с почвой. Вырезы на дисках глубиной до 30 мм (рисунок 7б) предназначены для обеспечения более надежного вращения диска [24]. Диски с большим радиусом выреза (рисунок 7в) обеспечивают надежный захват растительных остатков, но их резание осуществляется с малым скольжением, что увеличивает процент «перешагиваний» [6].



**Рисунок 7 – Сферические диски с полукруглыми вырезами по режущей кромке: а – с вырезами глубиной до 60 мм; б – с вырезами глубиной до 30 мм; в – с вырезами большого диаметра**

В целях обеспечения более надежного вращения диска в соответствии с поступательной скоростью агрегата и перерезания стеб-

лей растительности (травянистые растения, молодая древесная поросль и др.) диски должны иметь ассиметричные вырезы, обеспечивающие резание со скольжением (рисунок 8) [1]. Эти диски имеют вырезы, ориентированные в сторону центра диска, причем одна сторона выреза до его вершины выполнена радиально по прямой линии, другая часть выреза, сопрягаясь с радиусом диска, образует линию, обеспечивающую резание со скольжением стеблей растений, попадающих в вырез. Таким образом, наличие конструктивных элементов в виде ассиметричных вырезов на кромке диска позволяет захватить и зафиксировать стебли растительности в почве, обеспечить их резание (рисунок 8 а) [24].

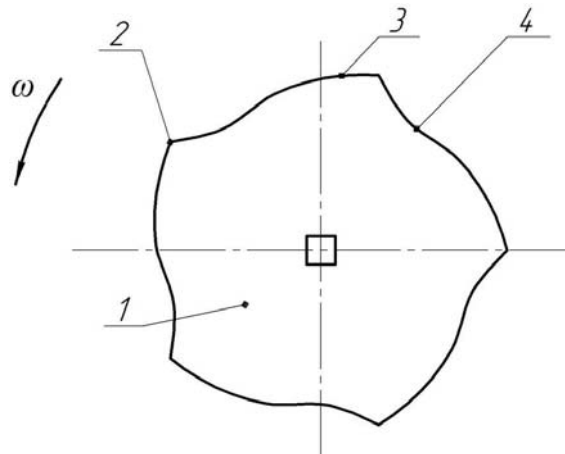


**Рисунок 8 – Сферические диски с ассиметричными вырезами:**  
а – с малыми вырезами; б – серповидные диск ФЛЕО-ФЛЕО

С подобными вырезами большого размера изготавливаются серповидные диски для тяжелой бороны БДТ [5].

Аналогична конструкция дисков «ФЛЕО-ФЛЕО» фирмы «Quivogne» применяемым для обработки почвы на глубину до 20 см и измельчения грубостебельных пожнивных остатков и кустарниковых растений (рисунок 8б).

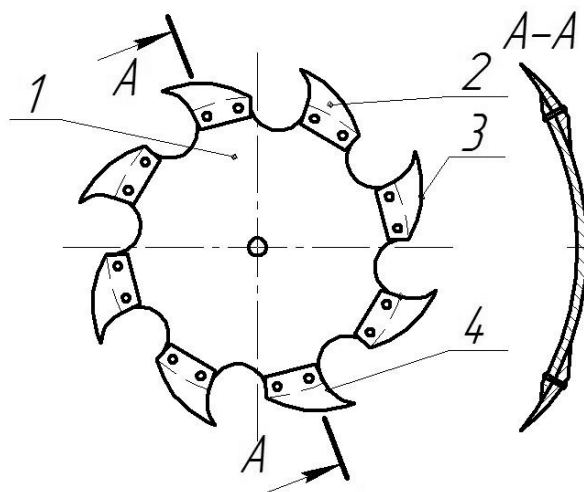
Рабочий орган дисковой бороны (рисунок 9), представляющий собой сферический диск с вырезами на режущей кромке, выполненными по логарифмической спирали, выполнен цельным, что увеличивает запас его прочности [25]. Форма режущей кромки позволяет уменьшить сопротивление резанию почвы, растительных остатков и сократить энергозатраты на обработку почвы.



**Рисунок 9 – Диск с вырезами на режущей кромке  
в виде логарифмической спирали:**

*1* – диск; *2* – вершина зуба; *3* – рабочая часть зуба; *4* – тыльная часть зуба

Дисковой рабочий орган, разработанный во Всесоюзном НИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова [25] (рисунок 10), изготовлен с вырезами и выступами на режущей кромке, а также съемными режущими элементами, имеющими форму криволинейного треугольника. Каждый из режущих элементов закреплен основанием на выступе режущей кромки диска. Благодаря наличию режущих элементов обеспечивается увеличение проникающей и измельчающей способности рабочего органа, тем самым повышается производительность.

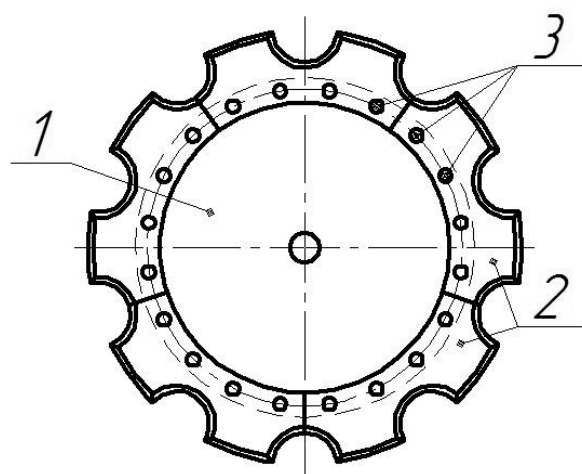


**Рисунок 10 – Дисковый рабочий орган  
со съемными режущими элементами:**

*1* – диск; *2* – съемный режущий элемент; *3* – режущая кромка; *4* – тыльная часть

Диск сферический секторный конструкции В. Г. Боброва и др. [25] (рисунок 11) для увеличения срока службы и качественной об-

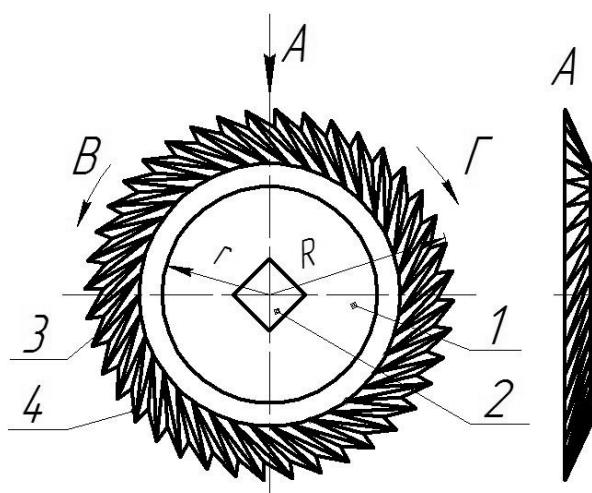
работки почв тяжелого механического состава содержит режущие элементы в виде термообработанных сменных секторов. При износе секторов до уровня диска, они заменяются на новые.



**Рисунок 11 – Дисковый рабочий орган со съёмными режущими элементами:**

*1* – диск; *2* – съёмный режущий элемент; *3* – заклепки

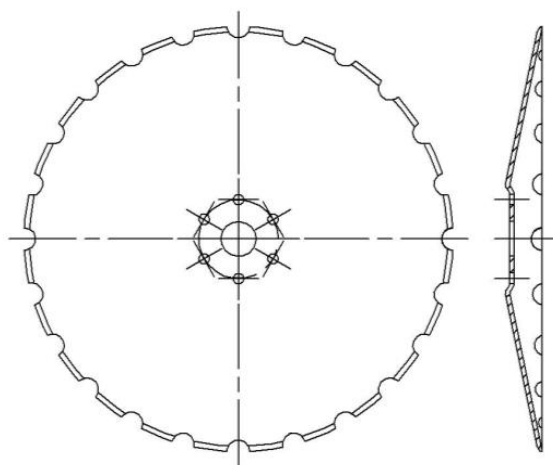
Дисковый почвообрабатывающий рабочий орган с наклонно-зубчатой режущей кромкой, показанный на рисунке 12, облегчает перерезание пожнивных и растительных остатков, обеспечивает стабильность показателей работы в течение всего периода эксплуатации от начала до полного износа. Упрочнение внешней поверхности рифлений износостойким материалом создает эффект самозатачивания в процессе почвообработки. Основной недостаток конструкции – сложность изготовления.



**Рисунок 12 – Дисковый рабочий орган с рифленой режущей кромкой:**

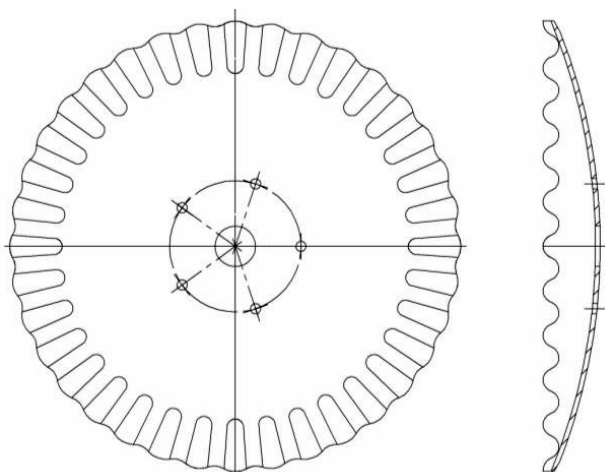
*1* – диск; *2* – отверстие под ось или вал; *3,4* – режущая кромка

Интерес представляют диски конической формы (рисунок 13). У них всегда сохраняется рабочий угол (угол наклона к горизонтали касательной к поверхности диска) при износе. Такие диски легко заглубляются в почву, но плохо крошат почву по мере увеличения глубины ее обработки. Поэтому конические диски в сочетании с другими рабочими органами с повышенными крошащими свойствами показывают хорошие результаты. Диски диаметром 430 мм широко применяются на дисковых боронах Carrier и в комбинированных агрегатах фирмы Vaderstad (Швеция), а так же на боронах Qualidisk фирмы Kverneland Group диаметром 573 мм [24].



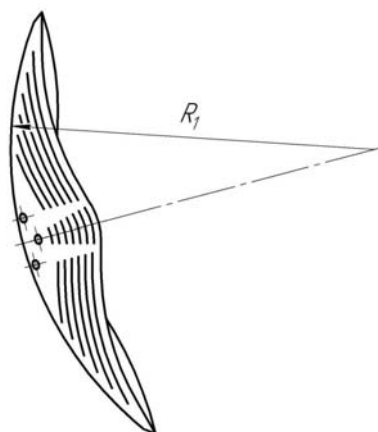
**Рисунок 13 – Диски конической формы**

С целью более интенсивного измельчения пожнивных остатков, крошения почвы и их перемешивания некоторые зарубежные фирмы применяют на дисковых боронах сферические диски с рифленным лезвием (рисунок 14). Диски такого типа выпускают фирмы Krause и Kuhn и под названием А-диски (фирма Vednar Strom).



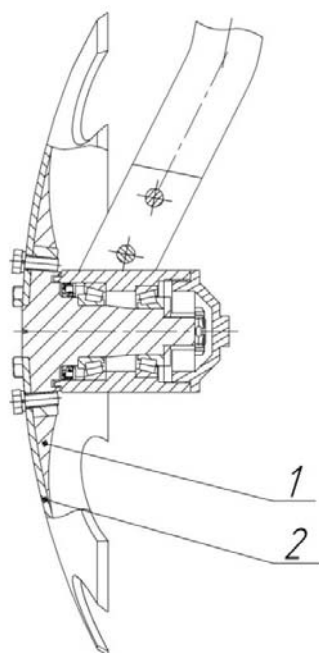
**Рисунок 14 – Сферические диски с рифленным лезвием**

Известна также сферический диск с изменяющимся углом атаки (рисунок 15), периферийная часть поверхности которого выполнена волнистой для обеспечения плавно повторяющихся изменений угла атаки от его исходного значения. Волна диска, начиная с режущей кромки, выполнена убывающей к центру диска с переходом в сферу. Обработка таким рабочим органом должна обеспечить повышение качества обработки почвы при снижении энергоемкости.



**Рисунок 15 – Сферический диск с изменяющимся углом атаки**

Другой вариант снижения затылочного давления выпуклой поверхностью диска на борозду с одновременным повышением степени крошения почвы, это применение дисков с радиусом сферы изменяющимся от лезвия диска к его центру (рисунок 16).



**Рисунок 16 – Сферический диск с изменяющимся радиусом кривизны**  
1 – кольцо; 2 – диск



У такого диска, с внутренней стороны, периферийная часть сферы диска на участке максимального заглубления в почву выполнена по большому радиусу, а далее к центру уменьшается. При этом наружная поверхность сферы выполнена по большому радиусу, что позволяет снизить затылочное давление. Использование подобной конструкции позволяет обеспечить высокие качественные показатели обработки почвы, но в тоже время ведет к усложнению конструкции и увеличению ее веса [24].

Применение дисков подобной конструкции направленно на решение проблемы высокого затылочного давления выпуклой поверхности диска на борозду при малых углах атаки. Однако, при индивидуальном упругом креплении рабочих органов к раме орудия, для обеспечения перекрытия рабочих органов применяют значительные углы атаки в  $20...35^\circ$ , что само по себе снимает эту проблему. Большие углы атаки наиболее свойственны лесным орудиям, так как из-за специфики условий применения не используется расположение рабочих органов более чем в два ряда.

На основе проведенного анализа конструкций дисковых рабочих органов можно сделать вывод, что наиболее подходящими для орудий с индивидуальным упругим креплением рабочих органов к раме, эксплуатируемых в тяжелых условиях каменистых почв и вырубках будут сферические диски. При этом в условиях преобладания травянистой растительности рационально использовать диски со сплошным лезвием и вырезами полукруглой формы глубиной до 30 мм, так они обладают высокой прочностью и простотой конструкции. При необходимости подавления кустарниковой растительности и поросли древесных растений наиболее применимы диски с корончатой формой зуба и диски с ассиметричной формой выреза, так как они обеспечивают наиболее эффективное резание стеблей нежелательной растительности и обеспечивают стабильное вращение сферического диска.

### **3. ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДИСКОВЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ**

Дисковые рабочие органы в процессе работы совершают сложное движение: они вместе с орудием перемещаются поступательно и одновременно вращаются за счет действия реактивных моментов вокруг оси. Вращательное движение изменяет траекторию перемещения почвенной массы по рабочей поверхности диска и за ее пределами, а также влияет на характер резания почвы режущей кромкой дисковых рабочих органов.

Характер деформации и перемещений почвы под действием сферических дисков зависит от размера и кривизны дисков, угла их установки в горизонтальной и вертикальной плоскостях и размеров пласта, вырезаемого каждым диском, а также зависит от скорости поступательного движения машины и свойств почвы. Выбор значений перечисленных величин не может быть произвольным, так как для них по каждой группе дисковых рабочих органов существуют свои выработанные практикой пределы. Отдельные геометрические элементы связаны между собой функциональными зависимостями [5, 9, 10, 16, 21].

Теоретические исследования, касающиеся сферических дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин, были выполнены такими учеными как В. П. Горячкин, Ф. М. Канарев, И. М. Панов, N. Nerli, Г. Н. Синеоков, Х. А. Хачатрян, В. Ф. Стрельбицкий, В. С. Василюнин, П. С. Нартов, E. D. Gordon, P. A. Taylor, E. A. Кочкин и другими.

Одним из основных геометрических параметров диска является его диаметр. Диаметр в зависимости от условий работы следует вы-

бираться наименьшим из допустимых значений, так как с увеличением диаметра диска резко возрастает нагрузка, необходимая для заглабления диска в почву. Диаметр диска зависит также от заданной глубины обработки почвы. Глубина обработки почвы ограничивается высотой вертикального просвета между поверхностью поля и распорными втулками, размещенными между каждой парой смежных дисков (рисунок 17). В этот просвет проходит наползающий на диск почвенный пласт. В случае недостаточной величины просвета пласт упирается в распорную втулку, в результате чего орудие выглубляется. Диаметр диска в этом случае рассчитывается по формуле:

$$D = 2a + d + 2e, \quad (1)$$

где  $a$  – глубина хода диска;  $d$  – диаметр распорной втулки;  $e$  – высота наползания пласта на диск по линии его вертикального диаметра.

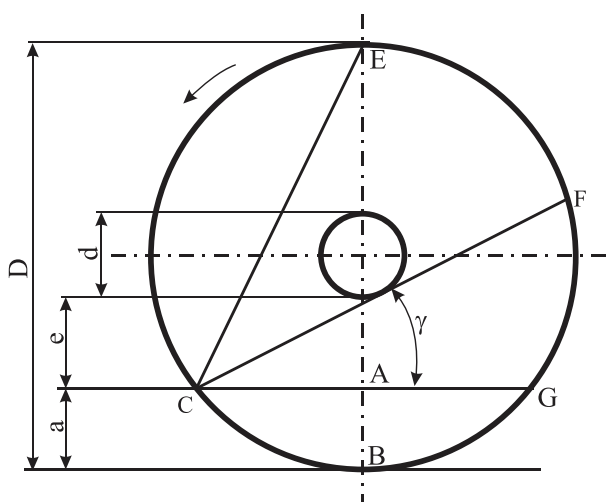
$$e = \frac{D_a}{2} \operatorname{tg} \gamma, \quad (2)$$

где  $D_a$  – длина горизонтальной хорды диска, расположенной на уровне поверхности поля. Из подобия треугольников ВАС и САЕ имеем:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{AC}{AE}, \text{ следовательно } AC = \sqrt{AB \times AE},$$

$$\text{или, что одно и то же } \frac{D_a}{2} = \sqrt{a(D-a)}, \quad (3)$$

$\gamma$  – угол наползания пласта на диск, т. е. угол между линией поверхности поля  $CG$  и линией движения пласта  $CF$ .



**Рисунок 17 – К определению диаметра диска по условию заглабления при батарейном креплении рабочих органов**

С небольшой погрешностью эту линию можно считать прямой. Проведенные многократные измерения величины угла  $\gamma$  при различной установке рабочих органов [3] показали, что угол наползания меняется в больших пределах в зависимости от угла атаки. При проведении Нартовым опытов было подмечено, что угол наползания увеличивается с увеличением глубины обработки почвы, кривизны рабочей поверхности диска и скорости движения агрегата.

Подставив в формулу (1) значения соответствующих величин из (2) и (3), получим следующую зависимость диаметра диска от глубины обработки, диаметра распорной втулки и угла наползания пласта на диск [3]:

$$D = 2a \left( 1 + \frac{d}{2a} + \operatorname{tg}^2 \gamma + \operatorname{tg} \gamma \sqrt{1 + \frac{d}{2a} + \operatorname{tg}^2 \gamma} \right), \quad (4)$$

Проведя расчеты получаем, что диаметр рабочих органов дисковых борон должен быть больше глубины обработки в 3...3,5 раза.

Радиус кривизны рабочей поверхности диска является одним из важнейших параметров, определяющих качество обработки почвы. Чем меньше радиус кривизны, тем диск интенсивнее воздействует на почвенный пласт, лучше его оборачивает и сильнее разрушает.

В методике проектирования дисковых рабочих органов, изложенной Синеоковым Г. Н., в основу расчета радиуса кривизны положен чисто геометрический принцип [10, 21]. Радиус кривизны в этом случае должен иметь такую величину, которая при заданных параметрах диаметра диска и угла атаки обеспечит образование зазора между тыльной стороной режущей кромки диска и стенкой борозды. Радиус кривизны рассчитываем по формуле:

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi}, \quad (5)$$

где  $\varphi$  – половина центрального угла дуги окружности, образуемой в результате сечения диска экваториальной плоскостью.

Угол  $\varphi$  находим из выражения:

$$\varphi = \alpha - i - \varepsilon, \quad (6)$$

где  $i$  – угол заточки (принимается  $i = 15...20^\circ$ );  $\varepsilon$  – задний угол резания, т. е. угол между тыльной стороной режущей кромки диска и стенкой борозды.

Угол  $\varepsilon$  рекомендуется принимать равным  $+3\dots+5^\circ$ . В дисковых боронах допускается отрицательное значение этого угла ( $-5^\circ$ ). Фактически этот угол по мере перемещения режущей кромки по дуге резания резко увеличивается. Поэтому нет необходимости вводить строгое ограничение минимального и максимального значений угла  $\varepsilon$ . Нет также никакого смысла ставить в зависимость от угла  $\varepsilon$  радиус кривизны диска. Желательно, чтобы  $\varepsilon$  был близок к нулю [10, 21].

При определении расстояния вдоль оси батареи между соседними дисками  $b$  следует учитывать габаритные размеры распорных катушек и подшипников, длину батареи, и, как следствие, ее способность приспособляться к неровностям поля, а также наличие на поверхности поля стерни и сорняков, так как от перечисленных факторов зависит возможность набивания (запрессовывания) почвы между дисками. Во избежание заклинивания пласта и отдельных глыб почвы между дисками размер  $b$  должен быть больше глубины хода дисков, т. е.

$$b \geq 1,5a, \quad (7)$$

Однако при выборе значения  $D$  и  $b$  у борон и луцильников следует иметь в виду не только забивание дисков, но и получение дна борозды заданного профиля. Высота гребней  $c$  на дне борозды зависит от диаметра диска, угла установки  $\alpha$  и расстояния между смежными дисками  $b$  (рисунок 18).

$$b \cos \alpha = D_c \sin \alpha, \quad (8)$$

откуда  $D_c = b \operatorname{ctg} \alpha$ .

Но  $D_c$  есть среднее пропорциональное между  $D-c$  и  $c$ , поэтому

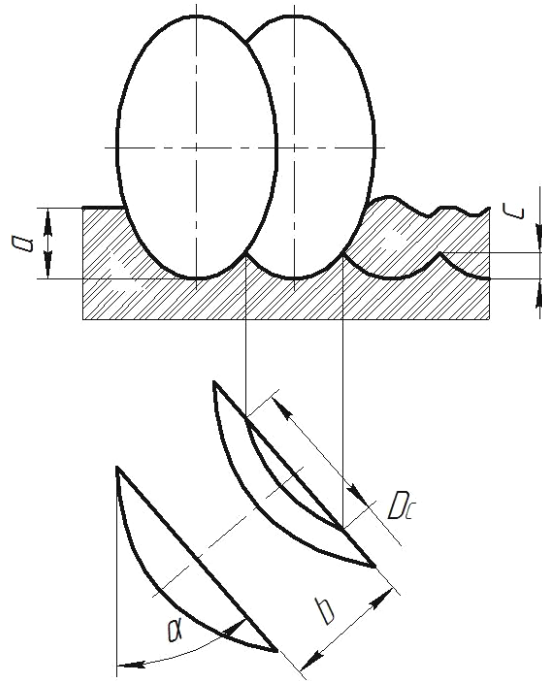
$$D_c = 2\sqrt{c(D-c)}. \quad (9)$$

Решая совместно (8) и (9), получим:

$$b = 2\sqrt{c(D-c)} \operatorname{tg} \alpha. \quad (10)$$

Эта формула устанавливает зависимость между  $b$ ,  $D$ ,  $c$  и  $\alpha$ .

При проектировании часто необходимо определить одну из этих величин по выбранным значениям трех других.



**Рисунок 18 – Профиль дна борозды при обработке дисковой бороной**

Геометрии сферических дисков является решающим фактором обеспечения их работоспособности. При проектировании дисковых орудий, рекомендуемый угол постановки дисков к направлению движения принимают равным  $35...45^\circ$ , угол заточки при условии обеспечения прочности и износоустойчивости должен быть не менее  $10...15^\circ$ , а задний угол –  $3...5^\circ$ .

Движение сферического диска представляет собой сложное перемещение в направлении поступательного движения и вращение вокруг оси. В результате чего траекторию движения его точек представляет собой удлиненную циклоиду.

Энергопотребление и качественные показатели работы почвообрабатывающих орудий со сферическими дисками определяются конструктивными особенностями их рабочих органов и орудия в целом. На перемещение и перемешивание почвы оказывают влияние углы установки, диаметр и радиус кривизны дисков, а также скорость его вращения. Недостаточно хорошо изучен вопрос влияния формы вырезов дисков на качество обработки почвы, сопротивление дисковых борон, и, как следствие, на энергосбережение, что не позволяет в полной мере реализовать те положительные потенциальные возможности, которые заложены в разработанных конструкциях сферических дисков.

#### 4. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСКОВОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

Исследование теоретических основ процесса взаимодействия ротационных рабочих органов с почвой обуславливает необходимость изучения их кинематики и динамики, в значительной степени определяющих важнейшие закономерности, свойственные этому процессу, без знания которых невозможно рациональное конструирование почвообрабатывающих машин и орудий.

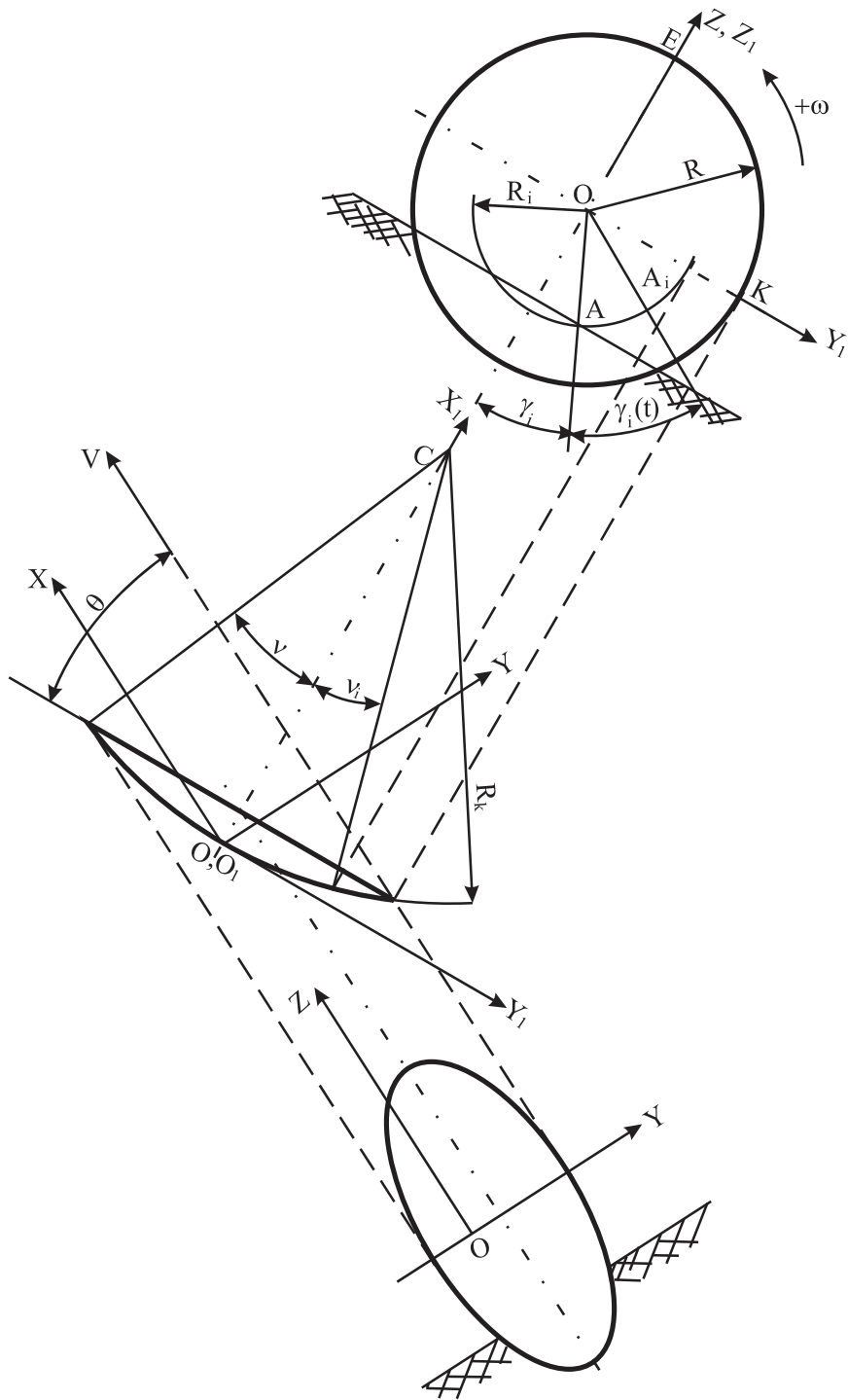
Таковыми исследованиями занимались многие ученые, в них содержатся решения отдельных задач о движении ротационных органов в почве. Но они являются частными, так как предполагают наличие разных ограничений, которым подчинены начальные условия положения точки на поверхности дискового рабочего органа.

По известным уравнениям невозможно определить кинематические характеристики одновременно двух точек рабочей поверхности (например, вершины и впадины зуба) и сравнить их. Не возможно так же определить координаты произвольной точки рабочей поверхности в произвольный момент времени.

В качестве примера рассмотрим дисковый рабочий орган радиусом  $R$  и радиусом кривизны  $R_k$ , установленный под углом атаки  $\theta$ .

На рисунке 19 показана схема для определения кинематических характеристик дискового рабочего органа в неподвижной системе координат  $OXYZ$ .

Величина  $R_i$  характеризует расстояние от оси вращения до рассматриваемой точки  $A$  на поверхности дискового рабочего органа, угол  $\gamma_i$  определяет положение этой точки на диске при  $t = 0$ .



**Рисунок 19 – Схема для определения кинематических характеристик дискового рабочего органа**

Дисковый орган радиусом  $R$  установлен под углом  $\theta$  к направлению движения агрегата. В относительном движении рабочий орган вращается под действием почвы с угловой скоростью  $\omega$ . Переносное движение с агрегатом прямолинейное и равномерное со скоростью  $V_e$ .



Для определения кинематических характеристик дискового рабочего органа начало «О» основной неподвижной прямоугольной декартовой системы координат  $OXYZ$  в исходный момент  $t = 0$  располагаем в центре диска. В подвижной цилиндрической системе координат, у которой основная плоскость совпадает с плоскостью режущей кромки дискового органа, а ось  $X$  – с его осью вращения, положение произвольной точки А рабочего органа определяется тремя координатами:  $R_i, \gamma_i, X_1$ .

За время  $t$  рассматриваемая точка А поверхности диска, вращаясь вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega$  и поступательно двигаясь с агрегатом со скоростью  $V$ , займет в пространстве новое положение с координатами:  $R_i, \gamma_i(t), X_1$ ,

где  $\gamma_i(t) = \gamma_i + \int_0^t \frac{V(t) \cos \theta}{R_i} dt$  угол, определяющий положение точки А в момент времени  $t$ .

Выражая  $X_1$  через параметры сферического диска имеем (рисунок 1):

$$X_1 = R_k - \sqrt{R_k^2 - R_i^2}, \quad (11)$$

где  $R_k$  – радиус сферы дискового органа.

Прямоугольные координаты точки А в подвижной системе координат  $O_1 X_1 Y_1 Z_1$  через цилиндрические координаты определены системой уравнений:

$$\begin{cases} X_1 = R_k - \sqrt{R_k^2 - R_i^2}, \\ Y_1 = R_i \sin \alpha_i(t), \\ Z_1 = -R_i \cos \alpha_i(t). \end{cases} \quad (12)$$

Уравнения движения точки А поверхности рабочего органа с учетом поступательного движения диска (поворот осей  $OX_1$  и  $OY_1$  относительно оси  $OZ$  на угол  $90^\circ - \theta$ ) после преобразований имеют вид:

$$\begin{cases} X = Vt - Y_1 \sin(90^\circ - \theta) + X_1 \cos(90^\circ - \theta), \\ Y = Y_1 \cos(90^\circ - \theta) + X_1 \sin(90^\circ - \theta), \\ Z = Z_1. \end{cases} \quad (13)$$

Или

$$\begin{cases} X = Vt - R_i \sin \gamma_i(t) \cos \theta + \left( R_k - \sqrt{R_k^2 - R_i^2} \right) \sin \theta, \\ Y = R_i \sin \gamma_i(t) \sin \theta + \left( R_k - \sqrt{R_k^2 - R_i^2} \right) \cos \theta, \\ Z = -R_i \cos \gamma_i(t). \end{cases} \quad (14)$$

Система уравнений (14) дает возможность найти координаты любой точки поверхности рабочего органа, в некоторый момент времени в принятой системе координат.

Составляющие скорости воздействия точек поверхности сферического диска на почву определены системой уравнений:

$$\begin{cases} V_x = \frac{dX}{dt} = \dot{V} - R_i \dot{\gamma}_i(t) \cos \gamma_i(t) \cos \theta, \\ V_y = \frac{dy}{dt} = R_i \dot{\gamma}_i(t) \cos \gamma_i(t) \sin \theta, \\ V_z = \frac{dZ}{dt} = R_i \dot{\gamma}_i(t) \sin \gamma_i(t). \end{cases} \quad (15)$$

Модуль абсолютной скорости точки поверхности диска имеет вид:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}. \quad (16)$$

Находим скорость точки рабочей поверхности дискового органа:

$$V = \sqrt{V^2(t) + R_i^2 \dot{\gamma}_i^2(t) - 2V(t)R_i \dot{\gamma}_i(t)V_0 \cos \gamma_i(t) \cos \theta}. \quad (17)$$

Находим ускорение точек рабочей поверхности дискового органа в почве:

$$\begin{cases} W_x = \frac{d^2 X}{dt^2} = \ddot{V} - R_i \ddot{\gamma}_i(t) \cos \gamma_i(t) \cos \theta + R_i \dot{\gamma}_i^2(t) \sin \gamma_i(t) \cos \theta, \\ W_y = \frac{d^2 y}{dt^2} = R_i \ddot{\gamma}_i(t) \cos \gamma_i(t) \sin \theta - R_i \dot{\gamma}_i^2(t) \sin \gamma_i(t) \sin \theta, \\ W_z = \frac{d^2 Z}{dt^2} = R_i \ddot{\gamma}_i(t) \sin \gamma_i(t) + R_i \dot{\gamma}_i^2(t) \cos \gamma_i(t). \end{cases} \quad (18)$$

Выразим  $R_i^2 \dot{\gamma}_i^2(t) = \varphi$   $R_i^2 \ddot{\gamma}_i^2(t) = \omega$ , тогда ускорение точки имеет вид:

$$W = \sqrt{V^2 + \phi^2 + \omega^2 + 2\dot{V}(\omega \sin \gamma_i - \phi \cos \gamma_i) \cos \theta}. \quad (19)$$

Анализ показывает, что модуль скорости воздействия рабочей поверхности дискового органа по мере углубления рассматриваемой точки в почву сначала уменьшается до минимума, далее, при выходе из почвы, снова увеличивается по вогнутой кривой. Ускорение тем больше, чем дальше от оси вращения находится рассматриваемая точка рабочей поверхности.

## 5. КИНЕМАТИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЧВЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ СФЕРИЧЕСКОГО ДИСКА

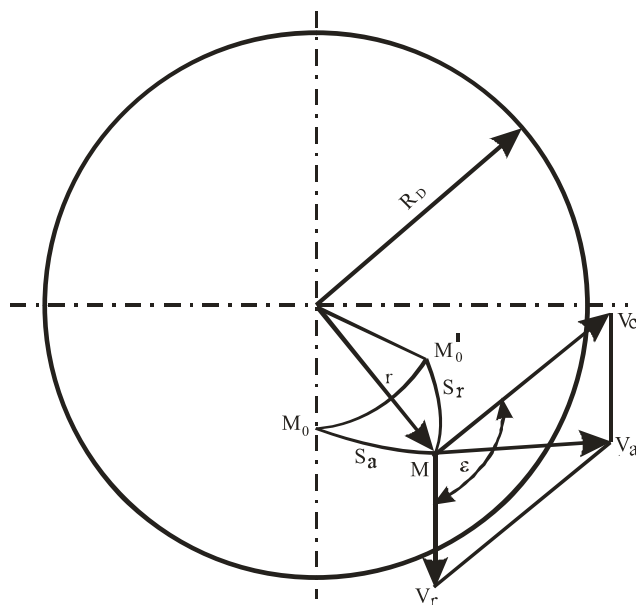
Сферические диски как рабочие органы плугов, борон, лущильников и других почвообрабатывающих машин имеют весьма широкое применение. В процессе работы почва поднимается по рабочей поверхности диска, перемещается по ней и отбрасывается в сторону. Однако эти вопросы в литературе до сих пор не нашли достаточно полного освещения.

Частицы почвы, находящиеся на поверхности диска, совершают сложное движение: переносное вращательное вместе с диском и относительное по его рабочей поверхности. В результате частица, поступающая на поверхность диска в точке  $M_0$ , начиная двигаться по траекториям  $S_a$  в абсолютном и  $S_r$  в относительном (рисунок 20) движениях, через некоторое время окажется в точке  $M$ .

Абсолютная скорость частиц на поверхности диска представляет собой геометрическую сумму переносной  $V_e$  и относительной  $V_r$  скоростей, т. е.

$$V_a = \sqrt{V_e^2 + V_r^2 + 2V_e V_r \cos \varepsilon}, \quad (20)$$

где  $\varepsilon$  – угол между направлением скоростей  $V_e$  и  $V_r$ .



**Рисунок 20 – Схема движения частиц почвы по рабочей поверхности диска**

Переносную скорость определяют скоростью диска  $\omega$  и местом расположения частиц на его поверхности, т. е.

$$V_e = \omega r, \quad (21)$$

где  $r$  – радиальное расстояние от оси вращения диска до рассматриваемой частицы.

$$\text{С учетом } \omega = \frac{V_n \cos \theta}{R_d}, \quad r = R \sin \varphi \quad [21],$$

где  $V_n$  – поступательная скорость диска,  $\theta$  – угол атаки диска,  $R_d$  – радиус диска,  $R$  – радиус сферы диска,  $\varphi$  – угол, определяющий положение частиц относительно оси вращения диска, выражение (21) примет вид:

$$V_e = \frac{R}{R_d} V_n \cos \theta \sin \varphi. \quad (22)$$

Чтобы определить  $V_r$  необходимо составить и решить дифференциальное уравнение относительного движения частиц по диску.

Частица почвы  $M$  (рисунок 21), находящаяся на поверхности диска, может совершать относительное движение по дуге  $OA$  с радиусом  $R$  сферы и по дуге окружности радиусом  $r$ . Однако в связи с тем, что частицы, находящиеся на поверхности диска, постоянно подпираются потоком почвы, непрерывно поступающей на него в ходе поступательного и вращательного движений, можно считать, что они в относительном движении перемещаются только по дуге  $OA$  [21]. В этом случае на частицу  $M$  действует:

- сила тяжести  $P = mg$ ,

где  $m$  – масса частицы;

- центробежная сила инерции, возникающая от вращательного движения диска,

$$P_{ц1} = m\omega^2 r = m\omega^2 R \sin \varphi; \quad (23)$$

- центробежная сила инерции, вызванная относительным движением частицы по дуге  $C$  и радиусом  $R$  сферы диска,

$$P_{ц2} = \frac{mV_{\tau}^2}{R}; \quad (24)$$

- нормальная сила, приложенная к частице со стороны рабочей поверхности диска,

$$N = \frac{mV_{\tau}^2}{R} + mg \sin \varphi \cos \alpha + m\omega^2 R \sin^2 \varphi, \quad (25)$$

где  $\alpha$  – угол поворота диска;

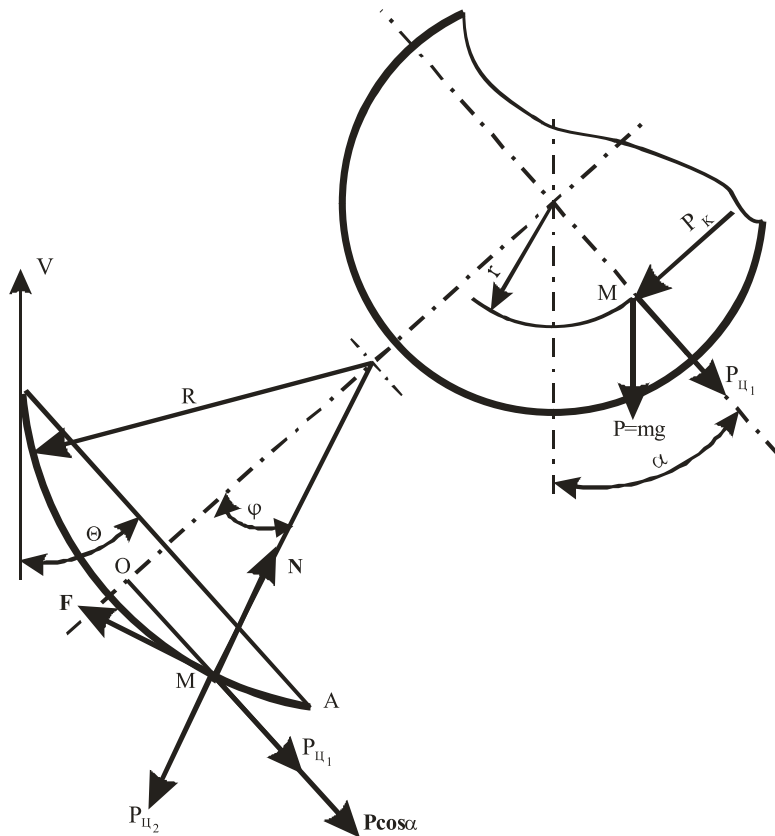
- сила трения,

$$F = fN = \left( \frac{mV_{\tau}^2}{R} + mg \sin \varphi \cos \alpha + m\omega^2 R \sin^2 \varphi \right) f, \quad (26)$$

где  $f$  – коэффициент трения почвы о материал диска;

- сила Кориолиса, возникающая в результате вращательного движения диска с угловой скоростью  $\omega$  и относительного движения частицы по дуге с радиусом  $R$  сферы диска (эта сила уравновешивается силой подпора пласта),

$$P_k = 2mV_{\tau}\omega \cos \varphi. \quad (27)$$



**Рисунок 21 – Схема сил, действующих на частицу почвы**

С учетом сделанных допущений и действующих сил дифференциальное уравнение относительно движения частицы по дуге ОА рабочей поверхности диска имеет вид:

$$R \frac{d\varphi}{dt} + fR\varphi^2 = g \cos \varphi \cos \alpha + \frac{1}{2} \omega^2 R \sin 2\varphi - f(g \sin \varphi \cos \alpha + \omega^2 R \sin^2 \varphi). \quad (28)$$

Решение уравнения (28) с учетом начальных условий ( $f = 0$ ,  $\varphi = \varphi_0$ , и  $\dot{\varphi} = 0$ ) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}^2 = & -e^{2f(\varphi_0-\varphi)} \left[ \frac{4fg}{(1+2f)R} \cos \varphi_0 \cos \alpha + \frac{2g}{R} \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi_0 + \right. \\ & \left. + \frac{\omega^2}{f} \sin 2\varphi_0 - \omega^2 \sin^2 \varphi_0 \right] + \frac{4fg}{(1+2f)R} \cos \varphi \cos \alpha + \\ & + \frac{2g}{R} \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi + \frac{\omega^2}{f} \sin 2\varphi - \omega^2 \sin \varphi. \end{aligned} \quad (29)$$

Зависимость перемещения частиц по рабочей поверхности диска для определения относительной скорости  $V_r$  находим с учетом  $V_r^2 = \dot{\varphi}^2 R^2$ :

$$\begin{aligned}
V_r^2 = & -e^{2f(\varphi_0-\varphi)} \left[ \frac{4fg}{(1+2f)R} \cos \varphi_0 \cos \alpha + 2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi_0 + \right. \\
& \left. + \frac{\omega^2 R^2}{f} \sin 2\varphi_0 - \omega^2 R^2 \sin^2 \varphi_0 \right] + \frac{4fg}{(1+2f)R} \cos \varphi \cos \alpha + \\
& + \left( \frac{4fgR}{1+2f} \right) \cos \varphi \cos \alpha + 2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi + \\
& + \frac{\omega^2 R^2}{f} \sin 2\varphi - \omega^2 R^2 \sin^2 \varphi.
\end{aligned} \tag{30}$$

Подставив в выражение (30) значения  $\omega$ , окончательно получим:

$$\begin{aligned}
V_r^2 = & -e^{2f(\varphi_0-\varphi)} \left[ \frac{4fgR}{(1+2f)} \cos \varphi_0 \cos \alpha + 2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi_0 + \right. \\
& \left. + V_n^2 \frac{R^2}{R_d^2} \cos^2 \theta \left( \frac{\sin 2\varphi_0}{f} - \sin^2 \varphi_0 \right) \right] + \frac{4fgR}{(1+2f)} \cos \varphi \cos \alpha + \\
& + 2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi + V_n^2 \frac{R^2}{R_d^2} \cos^2 \theta \left( \frac{\sin 2\varphi}{f} - \sin^2 \varphi \right).
\end{aligned} \tag{31}$$

Подставив в (20) значение  $V_e$  из (22) и  $V_r$  из (31), а также учтя, что при перемещении частиц в относительном движении только по дуге с радиусом  $R$  сферы диска угол  $\varepsilon = 90^\circ$ , получим:

$$\begin{aligned}
V_a = & \left\{ \left( \frac{R}{R_d} V_n \cos \theta \sin \varphi \right)^2 + \left\{ -e^{2f(\varphi_0-\varphi)} \left[ \frac{4fgR}{(1+2f)} \cos \varphi_0 \cos \alpha \right. \right. \right. \\
& \left. \left. + 2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi_0 + \right. \right. \\
& \left. \left. + \left( \frac{R}{R_d} V_n \cos \theta \right)^2 \left( \frac{\sin 2\varphi}{f} - \sin^2 \varphi \right) \right] + \frac{4fgR}{(1+2f)} \cos \varphi_0 \cos \alpha + \right. \\
& \left. + 2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) \sin \varphi + V_n^2 \frac{R^2}{R_d^2} \cos^2 \theta \left( \frac{\sin 2\varphi}{f} - \sin^2 \varphi \right) \right\}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& +2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{(1+2f)} \right) \sin \varphi_0 + \\
& \left. \left. \left. V_n^2 \frac{R}{R_d} \cos^2 \theta \left( \frac{\sin 2\varphi}{f} - \sin^2 \varphi \right) \right) \right\} \right\}^{\frac{1}{2}}.
\end{aligned} \tag{32}$$

Заменив в (32)  $\varphi$  на  $\arcsin\left(\frac{R_d}{R}\right)$ ,  $\sin \varphi$  на  $\left(\frac{R_d}{R}\right)$  и  $\cos \varphi$  на  $\frac{\sqrt{R^2 - R_d^2}}{R}$

найдем абсолютную скорость частиц почвы в момент схода с диска:

$$\begin{aligned}
V_a = & \left\{ (V_n \cos \theta)^2 + \left[ -e^{2f\left(\varphi_0 - \arcsin \frac{R_d}{R}\right)} \left[ \frac{4fgR}{(1+2f)} \cos \varphi_0 \cos \alpha + 2gR \left( 1 - \frac{4f^2}{(1+2f)} \right) \times \right. \right. \right. \\
& \times \sin \varphi_0 + V_n^2 \left( \frac{R}{R_d} \right)^2 \cos^2 \theta \left( \frac{\sin 2\varphi_0}{f} - \sin^2 \varphi_0 \right) \left. \right] + \frac{4fg\sqrt{R^2 - R_d^2}}{(1+2f)} \cos \alpha + 2gR_d \times \\
& \left. \left. \left. \times \left( 1 - \frac{4f^2}{1+2f} \right) + V_n^2 \left( \frac{R}{R_d} \right)^2 \cos^2 \theta \left[ \frac{2R_d\sqrt{R^2 - R_d^2}}{fR^2} - \left( \frac{R}{R_d} \right)^2 \right] \right] \right\} \right\}^{\frac{1}{2}}.
\end{aligned} \tag{33}$$

Полученные зависимости позволяют определить скорости частиц почвы, находящихся в любой точке рабочей поверхности диска и могут быть использованы при обосновании параметров и схемы размещения рабочих органов дисковых плугов, борон, луцильников и других почвообрабатывающих машин.

## **6. Обоснование технологических параметров дисковых почвообрабатывающих рабочих органов**

Современные дисковые орудия – бороны, луцильники, культиваторы предназначены в основном для поверхностной обработки земель равнинных местностей. Применение этих орудий в сельскохозяйственных целях особо возросло, когда начали широко внедрять новые технологии обработки земель, в том числе минимальную.

Минимальная технология обработки почвы проверена в неорошаемых горных и предгорных зонах Армении, под яровые и озимые зерновые культуры, что дало отличный результат. Из орудий поверхностной обработки почвы – лапчатые культиваторы и дисковые луцильники, бороны – сравнительно хороший результат дала дисковая борона [7, 22, 26].

В результате экспериментальных исследований установлены конструктивные и эксплуатационные недостатки этих борон, возникающие в основном при обработке склонов, начиная с уклона  $5^\circ$  [22].

Из установленных недостатков следует отметить:

- отклонение оси симметрии бороны от продольной оси агрегата;
- неравномерность глубины хода дисков по ширине захвата. При работе верхние по склону диски заглубляются поверхностно, а при заданной глубине 7 см верхние органы выходят из почвы, в следствие чего обработка повторяется несколько раз;
- при малых значениях угла атаки –  $10\text{--}20^\circ$  диски выпуклой частью отталкивают почву. Вследствие чего увеличивается вертикальная составляющая сопротивления, выталкивающая диски из

почвы, уменьшается глубина хода верхних дисков, выходя за пределы поля допуска.

Эти и другие недостатки диктуют провести более глубокое изучение орудий поверхностной обработки почвы, направленных на улучшение технико-эксплуатационных показателей дисковых борон.

В настоящей работе рассмотрены вопросы оптимизации параметров дисковых борон, предназначенных для эксплуатации в горной зоне земледелия.

Эксплуатационные показатели дисковых орудий регулируются двумя параметрами: углом  $\theta$  атаки и нагрузкой  $Q$  на раму. При работе в тяжелых, уплотненных почвах увеличиваются значения  $\theta$  и  $Q$ , что приводит к обеспечению постоянства глубины обработки, улучшению степени подрезания сорняков и разрыхленности почвы.

Рассмотрим воздействие угла атаки диска на технологический процесс обработки почвы.

На рисунке 22 представлены две позиции диска при минимальном значении угла атаки  $\theta_A$  и при значении менее допустимого  $\theta$ .

Согласно рисунку 22 при значении угла атаки, при наименьшем его значении, диск своей выпуклой поверхностью  $AC$  выпирает почву, увеличивая составляющую сопротивления  $R_z$  выводящего его из почвы. Угол атаки при этом будет равен:

$$\sin \theta_A = \frac{AB}{r'}, \quad (34)$$

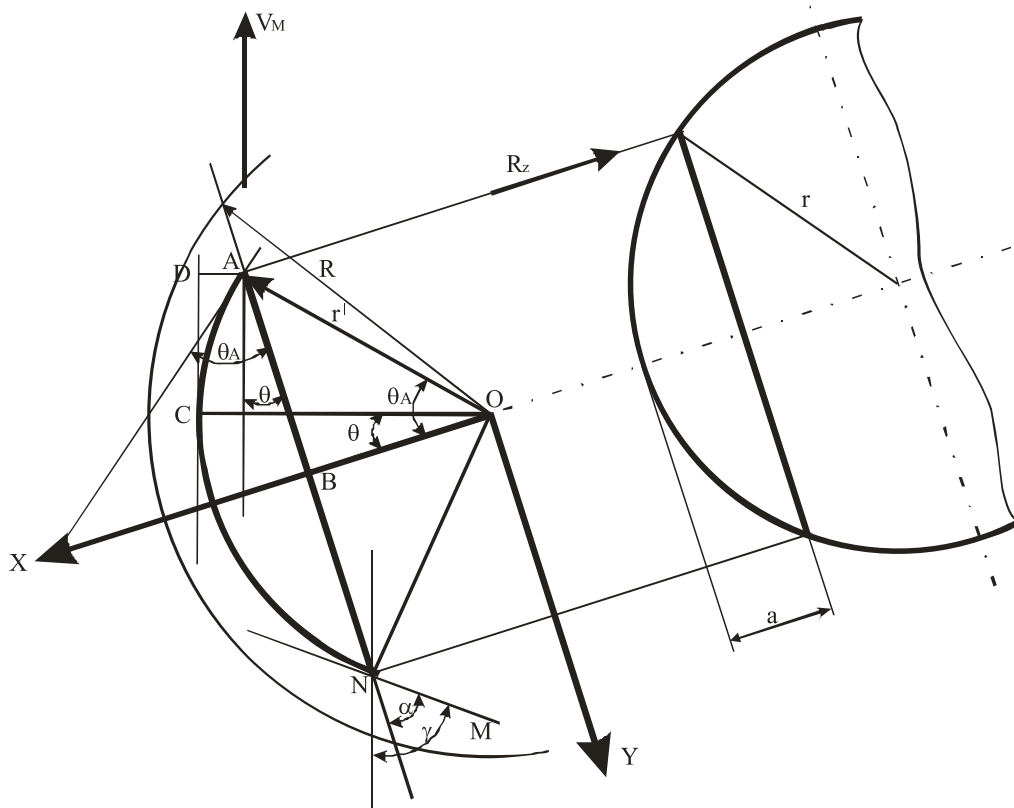
где  $r'$  – радиус сечения, соответствующий глубине хода диска. В диаметральной сечении он соответствует радиусу шара, а  $AB$  – радиусу диска.

Определим допустимое минимальное значение угла атаки, при котором сопротивление выталкивания диска из почвы будет минимальным.

Параметры существующих дисковых борон следующие: диаметр диска –  $2r = 450, 510, 610, 660$  мм, радиус кривой  $R = 520–600$  мм, угол атаки  $\theta = 10–22^\circ$ .

Выше перечисленные параметры приняты согласно ГОСТ 198–59.

Угол захвата диска –  $2\varepsilon$ , который равен половине центрального угла дуги диаметрального сечения принимаем равным  $22–26^\circ$ .



**Рисунок 22 – Схема обоснования параметра угла атаки дисковой борона**

Отметим, что в основном выпускаются диски диаметром 450 мм, радиусом кривой поверхности 520...600 мм, угол атаки  $\theta$  равен  $10\text{--}22^\circ$ , который регулируется значениями  $12, 15, 18$  и  $21^\circ$  до  $\epsilon = 22\text{--}26^\circ$ .

Определим длину катета АВ (рисунок 22).

$$AB = \sqrt{r^2 - (r - a)^2} = \sqrt{2ar - a^2}, \quad r' = \sqrt{R^2 - (r - a)^2},$$

где  $R$  – радиус кривой диска.

Имеем  $r = 22,5$  см,  $R = 52$  см. Принимая  $a = 10$  см, получим  $AB = 187$  мм и  $\sin \theta_A = \frac{187}{520} = 0,36$ ,  $\theta_A = 21^\circ$ , т. е. в точке А угол атаки получается  $\theta_A = 21^\circ$  меньше которого не допускается, в то время как при значении  $\theta_A = 10^\circ$  неизбежен процесс выпирания почвы.

Отметим, что если в горизонтальной местности силы, действующие на секции борона с правой и левой сторон уравновешивают друг друга, то на склоне в действительности из-за разницы этих сил агрегат, отклоняется от заданного направления движения.

Определим величину AD уплотнения почвы (длину вертикали, проведенную из точки А к касательной АС), для которой напишем координаты точки С:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= r' \cos \theta, \\ y_c &= r' \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Поскольку угловой коэффициент касательной, проведенной в точке С равен  $K_C = -\operatorname{ctg} \theta$ , то уравнение прямой, проходящей по этой точке будет:

$$y - r' \sin \theta = -\operatorname{ctg} \theta (x - r' \cos \theta). \quad (36)$$

Длину перпендикуляра вертикали AD определим как расстояние точки А от прямой CD, для которой уравнение (36) представим в следующем виде:

$$x \operatorname{ctg} \theta + y - \frac{r'}{\sin \theta} = 0.$$

Исходя из значений координат точки А,  $x_A = r' \cos \theta_A$ ,  $y_A = r' \sin \theta_A$ , длина прямой AD =  $d$  будет:

$$AD = d = \left| \frac{\operatorname{ctg} \theta \times r' \cos \theta_A + r' \sin \theta_A - \frac{r'}{\sin \theta}}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \theta + 1}} \right|, \text{ или} \quad (37)$$

$$AD = d = \left| r' [\cos(\theta_A - \theta) - 1] \right|.$$

Учитывая параметры дисков бороны БДН-3,0 получим:

$$d = 50,48 [\cos(22 - \theta) - 1].$$

В последнем выражении давая углу атаки  $\theta$  значения  $0-22^\circ$  получим величину  $d$ , соответствующую выпуклой части поверхности диска АС, сминающую почву.

Закономерность изменения кривой  $d = \varphi(\theta)$ , представлена на рисунке 23. Анализ данных этого графика показывает, что меньше чем  $10^\circ$  угол атаки нельзя принимать.

Увеличение угла атаки улучшает спокойную работу диска, при этом масса почвы на дуге АВ может накапливаться, что приведет к прекращению скольжения почвы по поверхности диска. С этой точки зрения худшие условия появятся вокруг точки N, от того, что

условие скольжения почвы  $\gamma < 90 - \varphi$  нарушается (рисунок 22). Определим зависимость изменения угла  $\gamma$  от величины угла атаки  $\theta$  и установим допустимую максимальную величину допустимого  $\theta_{\max}$ , после которого вращение диска прекращается. В точке перегиба  $N$  угол, составленный касательной  $NM$  с осью  $X$  будет  $\alpha$ .

$$\text{По рисунку 22 } \operatorname{tg} \alpha = \frac{BN}{BO}, \quad BN = \sqrt{2ar - a^2}, \quad BO = \sqrt{r'^2 - 2ar + a^2},$$

тогда:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{2ar - a^2}}{\sqrt{r'^2 - 2ar + a^2}}. \quad (38)$$

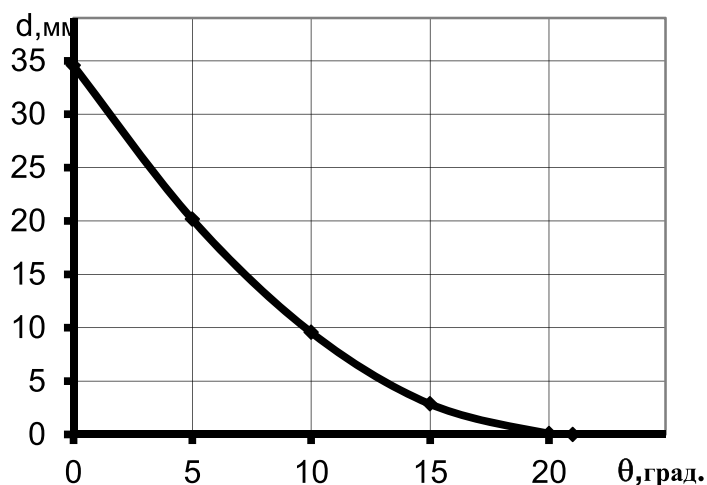
Согласно рисунку 22  $\alpha = \gamma - \theta$  и кроме этого учитывая выражение  $\gamma < 90 - \varphi$  условие скольжения почвы по поверхности диска получим:

$$\theta < 90^\circ - \operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt{2ar - a^2}}{\sqrt{r'^2 - 2ar + a^2}} \right) - \varphi. \quad (39)$$

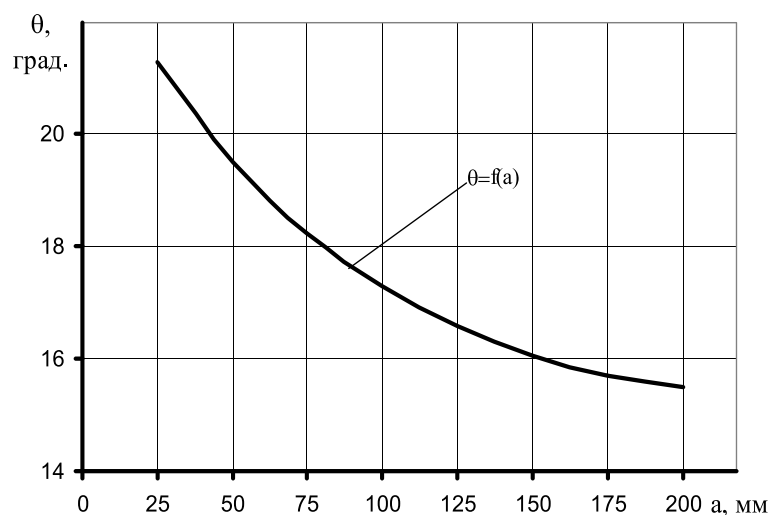
Имеем:  $r' = 505$  мм,  $r = 225$  мм, угол трения почвы о поверхность диска  $\varphi = 25$ , тогда выражение (39) перепишем в виде,

$$\theta < 90^\circ - \operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt{450a - a^2}}{\sqrt{505^2 - 450a + a^2}} \right) - 25^\circ. \quad (40)$$

Последнее выражение отражает зависимость оптимального значения угла атаки диска (батареи бороны) от глубины обработки почвы  $\theta = \varphi(a)$ , графический вид которой представлен на рисунке 24.



**Рисунок 23 – Зависимость  $d$  от угла атаки  $\theta$**



**Рисунок 24 – Изменение угла атаки от глубины хода**

Полученные расчетные данные, представленные на рисунке 24, позволяют с достаточной точностью выбрать оптимальную величину угла атаки, обеспечивающую заданное технологическое качество поверхностной обработки почвы, т. е. глубины обработки.

## **7. Условия защемления растительных остатков между лезвием диска и поверхностью почвы**

Сферические диски являются основными рабочими органами дисковых плугов, луцильников и борон. Дисковые рабочие органы незаменимы, особенно при мелком лущении стерни зерновых культур. При оптимальных параметрах дисковые батареи меньше забиваются сорной растительностью, стерней и другими волокнистыми материалами, благодаря чему после внедрения в производство технологии минимальной обработки почвы, в основном применяются дисковые орудия- луцильники и бороны.

Для минимальной обработки почвы под зерновые в Армении также проверялась технологическая эффективность работы дисковых борон.

К сожалению из-за недостаточной обоснованности параметров дисков и как следствие параметров батарей, иногда изменив глубину хода диска или угол его атаки, резко ухудшается технологическое качество рыхления, особенно стерневого поля, батареи забиваются стерневыми остатками.

Заметим, что 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 –  $4-6$ ) [21].

Некоторые авторы получили аналитические выражения для обоснования диаметра диска. К сожалению, при рассмотрении взаимодействия лезвия диска и волокнистого материала авторы этих работ, в продольно-вертикальной плоскости диск рассмотрели 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  $\theta$  – угол атаки,  $D$  – диаметр диска.

Суть решения настоящей задачи заключается в том, чтобы с учетом величин глубины обработки ( $a$ ) и угла атаки ( $\theta$ ), выбрать такой диаметр диска, при котором материал в створке диск-почва либо перерезался, либо вдавливался в глубь почвы.

При встрече 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, которой противодействует результирующая сила трения  $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ , следовательно искомое условие будет:

$$N \leq F_1 + F_2 \cos\beta \quad (41)$$

где  $\bar{F}_1$  – сила трения материала о почву;  $\bar{F}_2$  – сила трения материала о лезвие диска.

Согласно схеме рисунок 25 можем написать

$$F_1 = N_1 \operatorname{tg}\varphi_1, \quad F_2 = N_2 \operatorname{tg}\varphi_2,$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – соответственно углы трения материала о почву и о лезвие диска.

$$\text{Имеем также: } N_1 = N \operatorname{tg}\alpha, \quad N_2 = \frac{N}{\cos\alpha}.$$

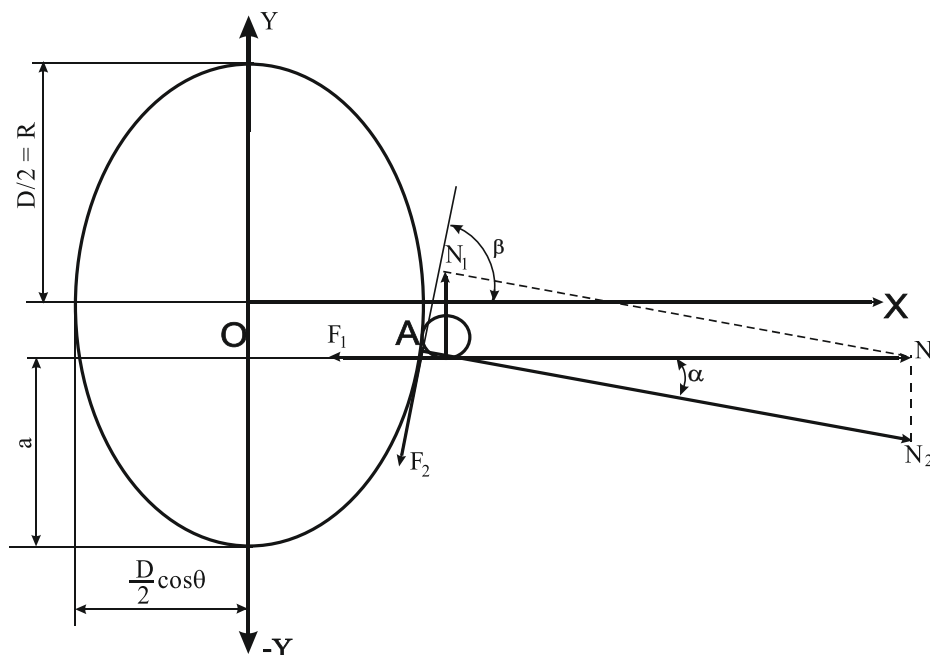
Подставляя полученные значения  $N_1$  и  $N_2$  в уравнении (41) получим:

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

$$\operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\varphi_1 + \frac{\operatorname{tg}\varphi_2 \cos\beta}{\cos\alpha} \geq 1. \quad (42)$$

Углы  $\beta$  и  $\alpha$  взаимосвязаны зависимостью  $\alpha + \beta = 90^\circ$  или  $\alpha = 90 - \beta$ , тогда из (42) получим:

$$\operatorname{ctg}\beta \operatorname{tg}\varphi_1 + \operatorname{tg}\varphi_2 \operatorname{ctg}\beta \geq 1. \quad (43)$$



**Рисунок 25 – Расчетная схема обоснования диаметра диска**

Определим величину угла  $\beta$  в зависимости от параметров  $\alpha$ ,  $R$ ,  $\theta$ . Угол  $\beta$  есть угол, составленный касательной эллипса с осью  $OX$ .

Уравнение эллипса по рисунку 25 будет:

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

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

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{dy}{dx} = \frac{-2x}{2\sqrt{R^2 \cos^2 \theta - x^2} \cos \theta}. \quad (44)$$

В точке  $A$   $y = -(R - a)$ , тогда получим:  $x = \pm \cos \theta \sqrt{2Ra - a^2}$  и

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sqrt{2Ra - a^2}}{R - a} \cos \theta. \quad (45)$$

Подставляя значение  $\beta$  в уравнение (43) получим:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 + \operatorname{tg} \varphi_2 \geq \frac{\sqrt{2Ra - a^2}}{(R - a) \cos \theta}. \quad (46)$$

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

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

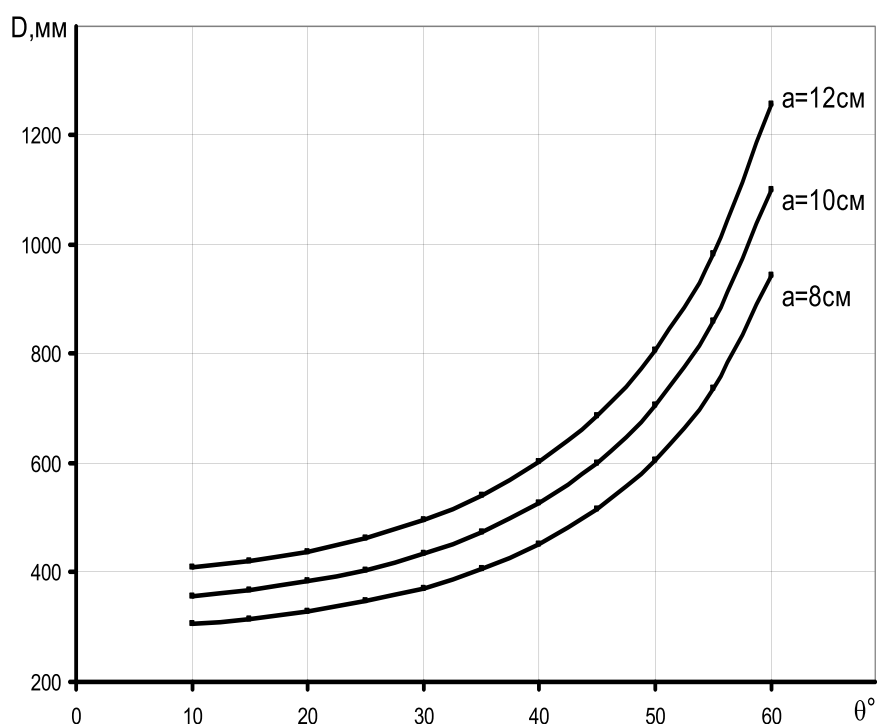
$$AR^2 - 2aBR + a^2B = 0.$$

Решая последнее уравнение, получим:

$$R \geq \frac{aB \pm \sqrt{a^2 B^2 - Aa^2 B}}{A}, \text{ или}$$

$$R \geq \frac{a}{f^2 \cos^2 \theta} \left( 1 + f^2 \cos^2 \theta \pm \sqrt{1 + f^2 \cos^2 \theta} \right). \quad (47)$$

Последнее выражение отражает зависимость оптимального значения диаметра диска от угла атаки диска, глубины обработки почвы, графический вид которой представлен на рисунке 26.



**Рисунок 26 – Зависимость диаметра диска от угла атаки**

Рабочие органы современных дисковых почвообрабатывающих машин характеризуются следующими параметрами (таблица 1).

**Таблица 1 – Оптимальные параметры дисков основных дисковых почвообрабатывающих машин**

Тип орудия		Диаметр дисков, мм		Угол атаки, град	Глубина хода, см	Примечание
		действительная величина	расчетная величина			
Плуги	Тяжелые прицепные	610–810	444–880	40–50	40	–
	Навесные	580–710	330–529	40–50	30	–

**Продолжение таблицы 1**

Луцильники, культиваторы		450	532–720	0–35	6–15	Применяются как односледные бороны
		510–610	324–816	0–45	6–15	–
Бороны	Навесная	450–500	288–777	0–25	6–10	Для измельчения задерненных пластов и глыб
		БДН 450	420–796	10–22	6–10	
	Садовая	560	498–545	15–25	14	–
	Тяжелая	560	575–732	15–25	20–25	–

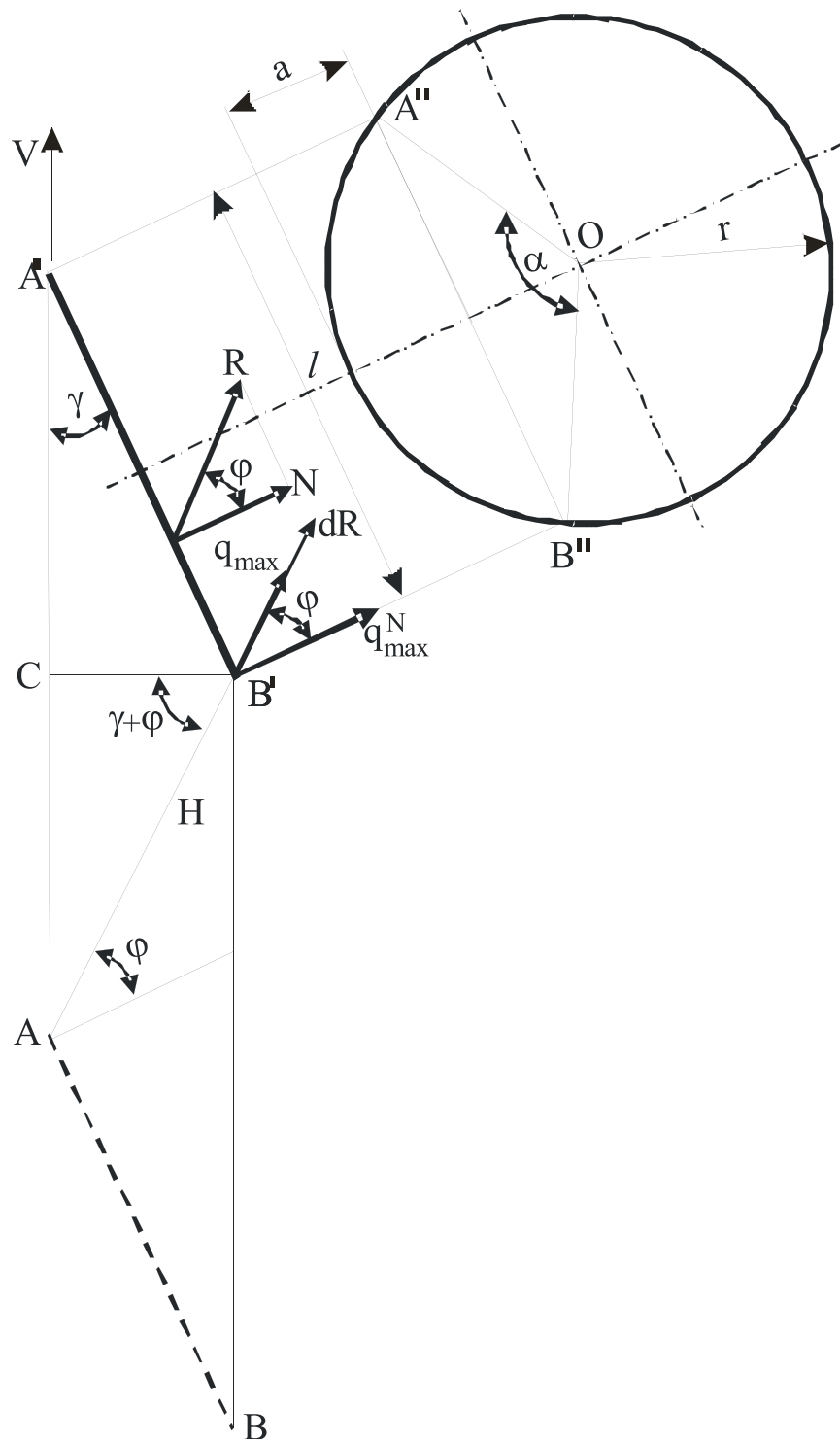
Параметры современных сферических дисков дисковых борон обоснованы для одной зоны стран СНГ [29], поэтому в ряде зон они не обеспечивают должный технологический эффект. Полученная функциональная зависимость (47) показывает, что при расчете оптимальной величины диаметра диска следует учитывать глубину хода, угол атаки батареи и коэффициент трения корней с лезвием диска.

## **8. Определение место равнодействующей реакции на поверхности плоских почвообрабатывающих дисков**

Разработка конструкции и обоснования параметров приспособлений для предотвращения сползания мобильных сельскохозяйственных агрегатов, улучшения их управляемости при работе на склонах занимались многие исследователи [7, 21]. В то же время много вопросов остались не изученными, а при разработке ряда вопросов сделаны грубые допущения.

Для улучшения управляемости мобильных агрегатов малой механизации доказана целесообразность применения плоских дисков [21]. К сожалению, в этих работах методика определения места противодействующей реакции (принимается на вертикальной оси симметрии) и величины уплотнений почвы (принимается, что почва вдавливаются в направлении, перпендикулярной плоскости диска) неверна. Такая методика верна, если гладкий штамп будет вдавливаться вертикально вниз, тогда действительно сила сопротивления вдавливанию штампа-деформатора будет прямо пропорциональна абсолютному перемещению (вдавливанию) почвенных частиц, равному глубине хода штампа.

При наклонном перемещении деформатора АВ под углом  $\gamma$ , почвенные частицы, находящиеся на линии АА', будут перемещаться на абсолютную величину, равную АВ' (рисунок 27). Определим эту величину.



**Рисунок 27 – Схема к определению величины равнодействующей реакции  $R$  на диске**

По рисунку 27 можем написать:  $AB' = \frac{B'C}{\cos(\gamma + \varphi)}$ .

Учитывая, что  $B'C = A'B' \sin \gamma = l \sin \gamma$  получим.

$$AB' = \frac{l \sin \gamma}{\cos(\gamma + \varphi)}. \quad (48)$$

Как видно, последнее выражение не зависит от глубины хода диска ( $a$ ) и радиуса ( $r$ ).

Вдавливаемая в почву часть диска представляет собой сегмент, хорда которого по известной формуле имеем [2]:

$$l = 2\sqrt{2ar - a^2}, \quad (49)$$

где  $a$  – глубина хода диска,  $l$  – хорда.

Таким образом обозначив величину вдавливания почвы  $AB'$  через  $H$  получим:

$$H = 2\sqrt{2ar - a^2} \times \frac{\sin \gamma}{\cos(\gamma + \varphi)}. \quad (50)$$

Зависимость сопротивления почвы  $q$  от величины вдавливания почвенных частиц  $H$  определяем по формуле Кацигина В. В. [11], имеющий следующий вид:

$$q = P_0 th \frac{K}{P_0} H,$$

где  $P_0$  – предел несущей способности почвы;  $K$  – коэффициент объемного смятия почвы, кгс/см<sup>2</sup>.

Величина нормальной составляющей реакции почвы можем определить как произведение площади сегмента  $S_c$  на среднее удельное сопротивление почвы  $q = \frac{q_{\max}}{2}$ , тогда

$$q = \frac{P_0}{2} th \frac{K}{P_0} H_{\max}, \quad (51)$$

а нормальное давление будет равно:

$$N = S_c \frac{P_0}{2} th \left( \frac{K}{P_0} \times H_{\max} \right) \cos \varphi, \quad (52)$$

где  $S_c$  – площади сегмента

$$S_c = \frac{1}{2} [lr - l(r - a)], \quad (53)$$

где  $l$  – длина дуги  $A''B''$ .

В последнем выражении параметры  $l$  и  $\alpha$  выразим через  $r$  и  $a$ .

По рисунку 27 имеем  $l = r\alpha$ ,  $\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{r-a}{r}$ , или  $\alpha = 2 \arccos \frac{r-a}{r}$ ,

тогда:

$$S_c = \frac{1}{2} \left[ r^2 2 \arccos \frac{r-a}{r} - 2\sqrt{2ar-a^2} (r-a) \right] \text{ или}$$

$$S_c = r^2 \arccos \frac{r-a}{r} - (r-a)\sqrt{2ar-a^2}. \quad (54)$$

Поставляя уравнение (54) в формулу (51) находим нормальной составляющей реакции почвы:

$$N = \left( r^2 \arccos \frac{r-a}{r} - (r-a)\sqrt{2ar-a^2} \right) \frac{P_0}{2} th \times$$

$$\times \left( \frac{K}{P_0} 2\sqrt{2ar-a^2} \frac{\sin \gamma}{\cos(\gamma+\varphi)} \right) \cos \varphi. \quad (55)$$

Таким образом, имея в виду, что  $R = \frac{N}{\cos \varphi}$  и с учетом выражения (48) получим:

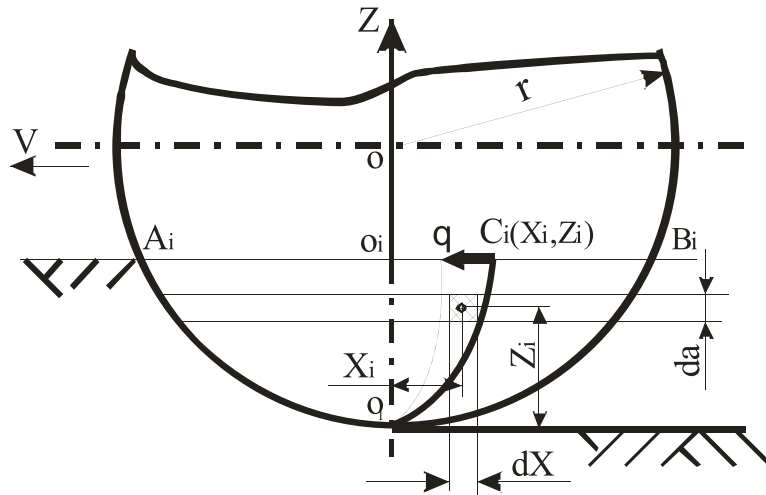
$$R = \left( r^2 \arccos \frac{r-a}{r} - (r-a)\sqrt{2ar-a^2} \right) \frac{P_0}{2} th \times$$

$$\times \left( \frac{K}{P_0} 2\sqrt{2ar-a^2} \frac{\sin \gamma}{\cos(\gamma+\varphi)} \right). \quad (56)$$

Для определения места действия реакции  $R$  на диске поступаем следующим образом.

При движении диска в направлении указанном на рисунке 28, каждой полосе шириной  $da$  результирующая элементарных давлений находится на расстоянии  $\frac{2}{3}l$ , считая от  $O_1A_i$  или  $\frac{2}{3}l = \frac{4}{3}\sqrt{2ra-a^2}$ .





**Рисунок 28 – Схема к определению места равнодействующей реакции  $R$  на поверхности диска**

Геометрическое место точки на соответствующей хорде  $a_i$  будет представлять собою кривая  $O_1C_i$ . Естественно, что увеличение давления в точках, равнодействующих по высоте диска в зависимости от  $a$  не будет прямолинейной. Определим эту зависимость.

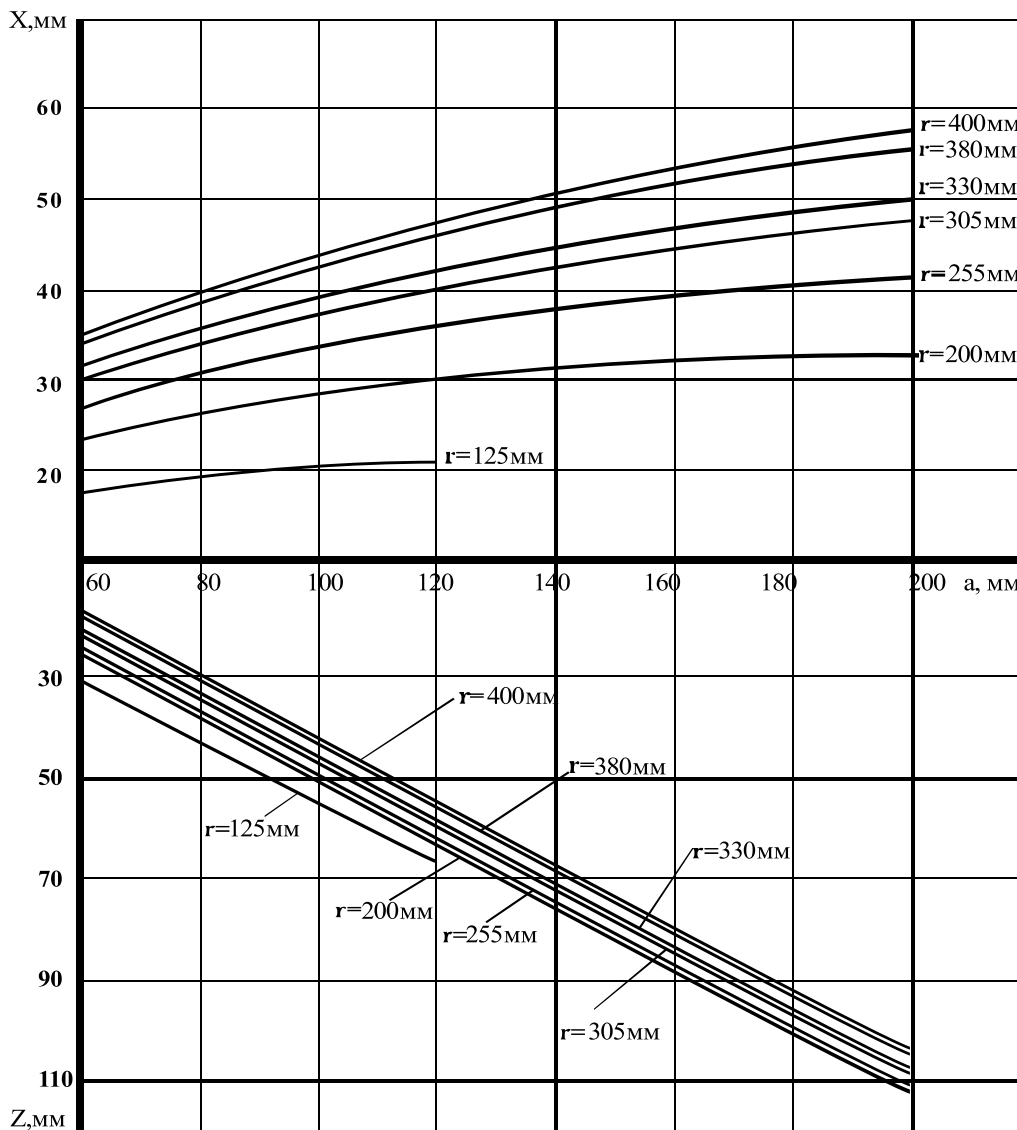
$$\text{Имеем } l = 2\sqrt{2ra - a^2}, \text{ координата } BiCi = \frac{1}{3}l = \frac{2}{3}\sqrt{2ra - a^2},$$

$$\text{поэтому } X_i = O_1C_i = \frac{1}{6}\sqrt{2ra - a^2} \quad (57)$$

Координат  $Z$ , точки применения равнодействующей реакции  $R$  определяем исходя из рисунка 27 по общеизвестной методике определения места тяжести плоской фигуры:

$$Z = \frac{2a(2r - a)\sqrt{2ar^2 - a^2}}{3 \left[ (r - a)\sqrt{2ar - a^2} - r^2 ar \cos \frac{r - a}{r} \right]}. \quad (58)$$

Построим номограмму для определения координат точки действия равнодействующей реакции  $R$  на поверхности диска (рисунок 29).



**Рисунок 29 – Номограмма для определения координат точки действия равнодействующей реакции  $R$  на поверхности диска, зависящей от глубины обработки и радиуса диска**

Анализ данных номограммы показывает, что при увеличении глубины обработки координаты ( $X$  и  $Z$ ) точки применения равнодействующей реакции  $R$  увеличивается, а при больших радиусах диска координат  $X$  увеличивается, а  $Z$  уменьшается

## 9. Влияние установочных параметров сферических дисков на качество обработки почвы.

В последние годы ввиду экономической эффективности, почвозащитных и энергосберегающих особенностей минимальная и нулевая обработка почвы приобретает широкую популярность. Для минимальной обработки почвы применяют дисковые бороны, поскольку дисковые рабочие органы меньше подвержены забиванию сорняками, соломой и другими волокнистыми материалами, чем поступательно движущиеся рабочие органы.

К сожалению, из-за недостаточной обоснованности параметров дисков, и как следствие параметров батарей, иногда изменив глубину хода диска или угол его атаки, резко ухудшается технологическое качество рыхления, особенно стерневого поля, где батареи забиваются стерневыми остатками.

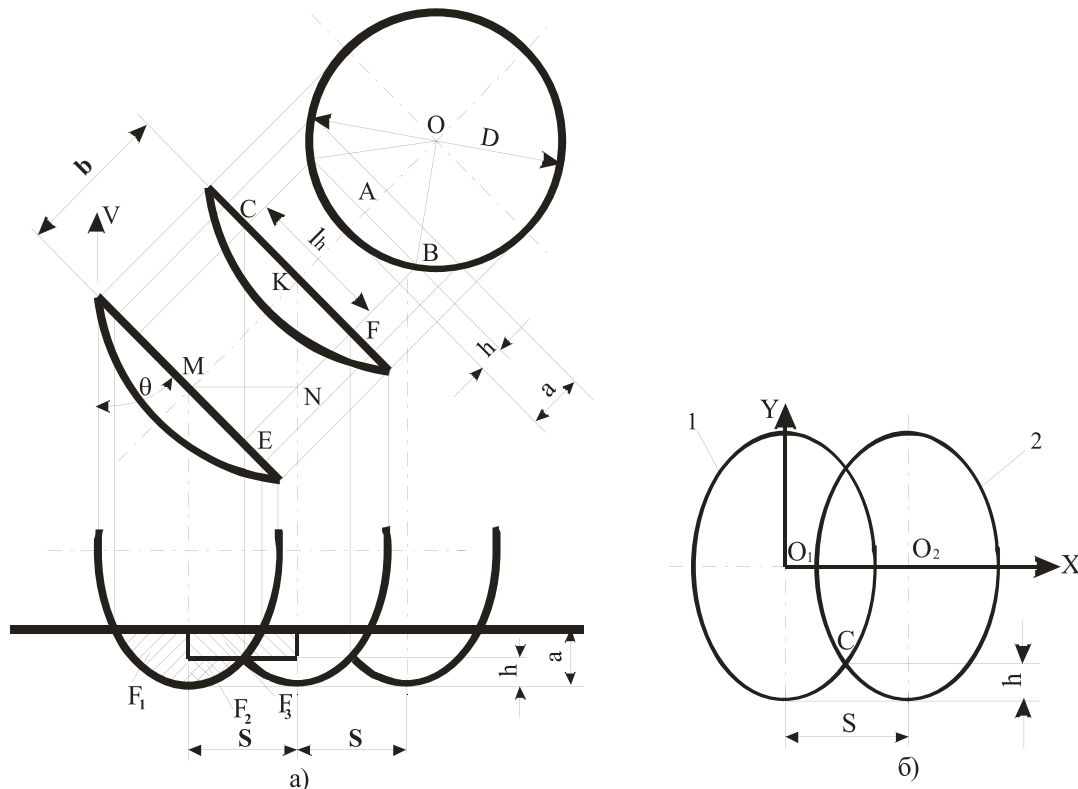
В процессе работы каждый диск дисковой бороны вырезает в почве пласт (стружку), образуя желобчатое дно борозды (рисунок 30). Между желобами образуются гребни высотой  $h$ . По высоте этих гребней судят о качестве обработки почвы. Размеры гребней зависят от диаметра диска  $D$ , расстояния между дисками  $b$  и угла атаки  $\theta$ .

Иногда в исходных требованиях к рыхлителю оговаривается допускаемая высота гребня, но отсутствует допускаемое соотношение обработанной и необработанной площадей при рыхлении почвы. Болгарским исследователем установлено, что площадь обработанного рыхлителем пласта почвы в поперечном сечении должна составлять не менее 75 %. Поэтому в качестве оценочного критерия  $\eta$ , при определении расстояния между рабочими органами дисковой

бороны, целесообразно принять степень (полноту) разрыхленности пласта почвы, определяемую отношением обработанной  $F$  и общей  $F_{\Sigma}$  площадей, выраженное в процентах:

$$\eta = \frac{F}{F_{\Sigma}} \times 100 \% \geq 75 \% . \quad (59)$$

Очевидно, что площади  $F$  и  $F_{\Sigma}$  – зависят от угла атаки  $\theta$ , глубины обработки  $a$  и расстояния между дисками  $b$ , т. е.  $F$  и  $F_{\Sigma} = f(\theta, a, b)$  (рисунок 30).



**Рисунок 30 – Установочные параметры сферических дисков:**  
 а – схема поперечного сечения пласта; б – схема к определению высоты гребней на дне борозды

Определим значения  $F$  и  $F_{\Sigma}$  по рисунку 30а.

Площадь поперечного сечения обрабатываемого пласта почвы определяется выражением:

$$F = 2F_1 + (n-1)2F_2 + (n-1)F_3. \quad (60)$$

Общая площадь поперечного сечения пласта определяется по формуле:

$$F_{\Sigma} = (n-1)Sa + 2F_1. \quad (61)$$

Составляющие площадей  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  входящих в уравнениях (60) и (61) определяются по следующими зависимостям:

$$F_1 = \frac{1}{2} \left[ \left( a - \frac{D}{2} \right) \sqrt{Da - a^2} + \frac{D^2}{4} \arcsin \left( \frac{2a}{D} - 1 \right) - \frac{D^2}{4} \arcsin(-1) \right] \sin \theta, \quad (62)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \left[ \left( h - \frac{D}{2} \right) \sqrt{Dh - h^2} + \frac{D^2}{4} \arcsin \left( \frac{2h}{D} - 1 \right) - \frac{D^2}{4} \arcsin(-1) \right] \sin \theta, \quad (63)$$

$$F_3 = S(a - h), \quad (64)$$

где  $S$  – расстояние между следами соседних дисков,  $n$  – количество дисков,  $a$  – глубина обработки,  $h$  – высота гребней на дне борозды,  $\theta$  – угол атаки.

Подставив полученные значения  $F$  и  $F_{\Sigma}$  в уравнение (59) с учетом (62–64), а также, что  $S = b \cos \theta$  (по рисунку 30), после некоторых математических преобразований получим:

$$\eta = \frac{(n-1) \left[ (a-h) b c t g \theta + \left( h - \frac{D}{2} \right) \sqrt{Dh - h^2} + \frac{D^2}{4} \arcsin \left( \frac{2h}{D} - 1 \right) \right] + \left( a - \frac{D}{2} \right) \sqrt{Da - a^2} + \frac{D^2}{4} \arcsin \left( \frac{2a}{D} - 1 \right) - n \frac{D^2}{4} \arcsin(-1)}{(n-1) a b c t g \theta + \frac{D^2}{4} \left[ \arcsin \left( \frac{2a}{D} - 1 \right) - n \frac{D^2}{4} \arcsin(-1) \right] + \frac{D^2}{4} \arcsin \left( \frac{2a}{D} - 1 \right) - n \frac{D^2}{4} \arcsin(-1)} \times 100 \%. \quad (65)$$

Определим высоту гребней на дне борозды  $h$  из условия пересечения двух эллипсов (рисунок 30,б). Следы центров этих эллипсов расположены на расстоянии  $S$ . Уравнение двух эллипсов по полуосям  $R_1 \sin \theta$ ;  $R_1$  и  $R_2 \sin \theta$ ;  $R_2$  представим в виде:

$$\frac{X_1^2}{R_1^2 \sin^2 \theta} + \frac{Y_1^2}{R_1^2} = 1, \quad \frac{X_2^2}{R_2^2 \sin^2 \theta} + \frac{Y_2^2}{R_2^2} = 1. \quad (66)$$

Так как  $R_1 = R_2$ , в точке  $C$ ,  $Y_1 = Y_2 = Y$  (точка пересечения),  $X_2 = S - X_1$  (рисунок 30 б), то  $X_1^2 + Y^2 \sin^2 \theta = (S - X_1)^2 + Y^2 \sin^2 \theta$ ,

откуда  $X_1 = \frac{S}{2}$ ,  $X_2 = S - X_1 = \frac{S}{2} = X_1$ , т. е.  $X_1 = X_2$ .

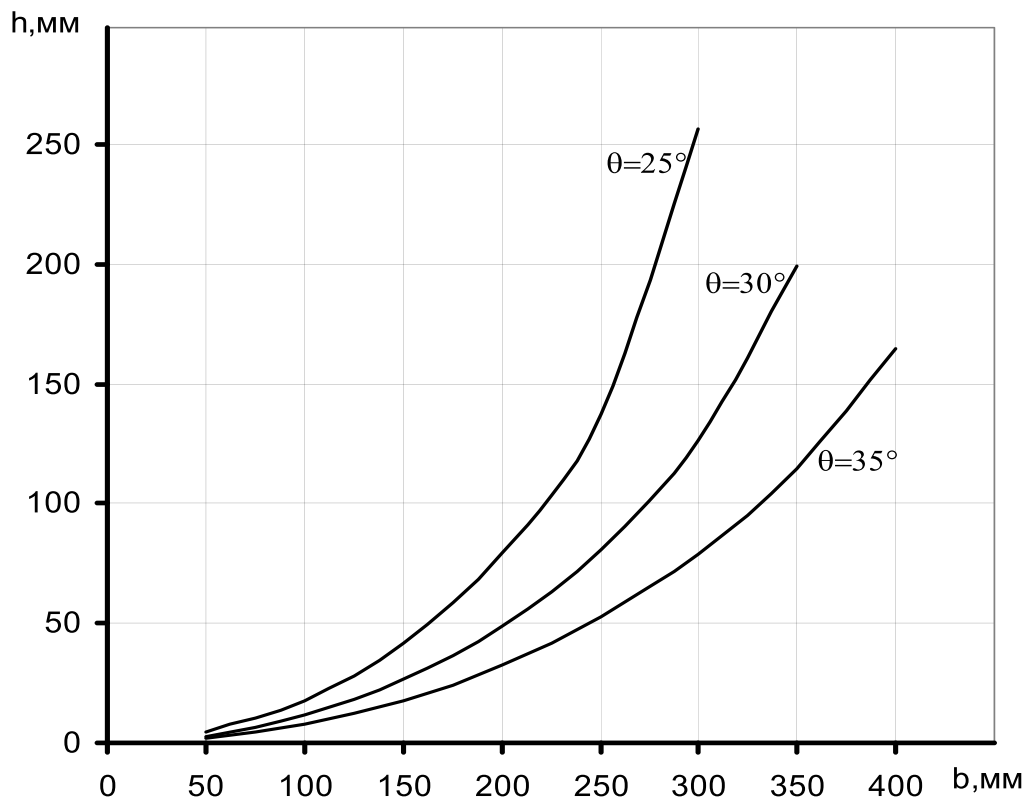
После подстановки значение  $X$  в одном из уравнении (66) находим значение  $Y$  для точки  $C$ :

$$Y^2 = R^2 - \frac{S^2}{4\sin^2\theta}, \text{ или } Y = \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - \frac{S^2}{\sin^2\theta}}. \quad (67)$$

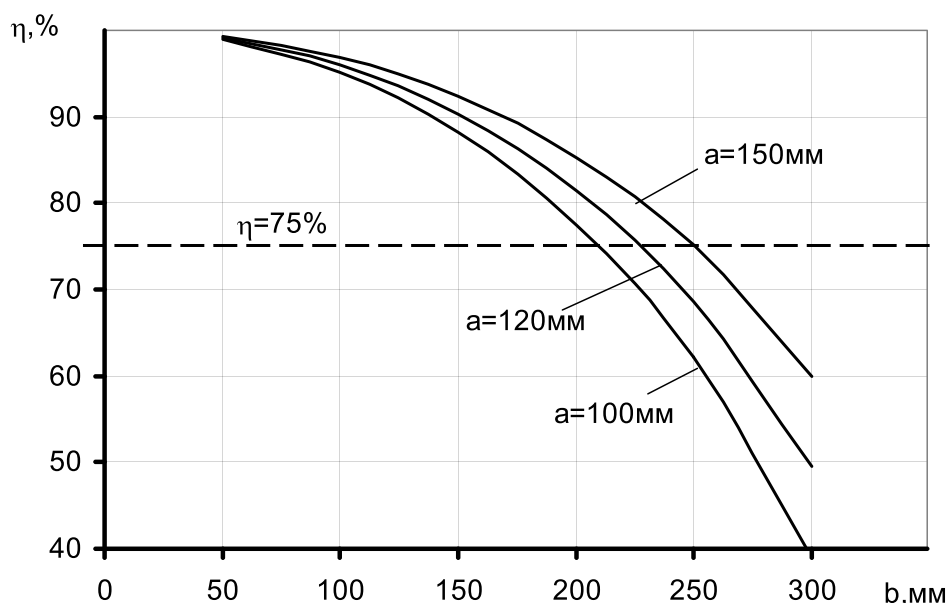
Учитывая, что высоту гребней  $h = \frac{D}{2} - Y$  и  $S = b \cos\theta$  (рисунок 30 б), получим

$$h = \frac{1}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - b^2 \operatorname{ctg}^2\theta}\right). \quad (68)$$

По этой формуле построена зависимость изменение высоты гребня  $h$  от величины  $b$  при различных углов атаки  $\theta$ , для дисковой борони БДН – 1,5 (рисунок 31), из которого видно, что увеличение расстояния между дисками приводит к увеличению высоты гребней на дне борозды, т. е. к ухудшению ровности профиля дна борозды, а увеличение значения угла атаки  $\theta$  улучшает ровность профиля дна борозды.



**Рисунок 31 – Изменение высоты гребней  $h$  в зависимости от расстояния между дисками  $b$ , при  $D = 660$  мм,  $a = 100$  мм**



**Рисунок 32 – Зависимость степени разрыхленности почвы  $\eta$  от расстояния между дисками  $b$**

Полученная формула (65) выражает степень разрыхленности пласта почвы  $\eta$ , с помощью которого можно определить такую расстояния между рабочими органами дискового рыхлителя  $b$ , обеспечивающее качественную обработку почвы ( $\eta \geq 75\%$ ), при заданном глубины обработки.

Определены влияние входящих в формулу (65) величин на расстояние между рабочими органами  $b$ , путем изменения одного из параметров при неизменных остальных.

Подставив значения параметров дисковой борони БДН – 1,5 в формулу (65), графоаналитическим способом определено расстояние между рабочими органами  $b$  (рисунок 32). Как видно из графиков, пласт почвы рыхлится в достаточной степени  $\eta \geq 75\%$ : для глубина обработки  $a = 100$  мм при  $b \leq 208$  мм, для глубина обработки  $a = 120$  мм при  $b \leq 260$  мм, а для глубина обработки  $a = 150$  мм при  $b \leq 315$  мм.

Полученные аналитические зависимости позволяют с достаточной точностью выбирать оптимальную величину расстояния между дисками, обеспечивающую высокое технологическое качество обработки почвы.

Глубина рыхления пласта  $a$  оказывает большое влияние на выбор расстояния между рабочими органами  $b$ , причем больше глубина, тем дальше друг от друга можно располагать рабочие органы.

## **10. Разработка и обоснование параметров универсального рабочего органа обработки склонов с минимальной технологией**

Одним из эффективных путей повышения производительности производственных процессов в горном земледелии является снижение энергозатрат. По этому поиск путей по снижению расхода энергии основных технологических процессов обработки почвы продолжает оставаться основной проблемой в горном земледелии.

Исследованиями установлено, что одним из эффективных путей решения данной проблемы является минимальная технология почвообрабатывающими машинами с дисковыми рабочими органами, используя культиваторы и бороны.

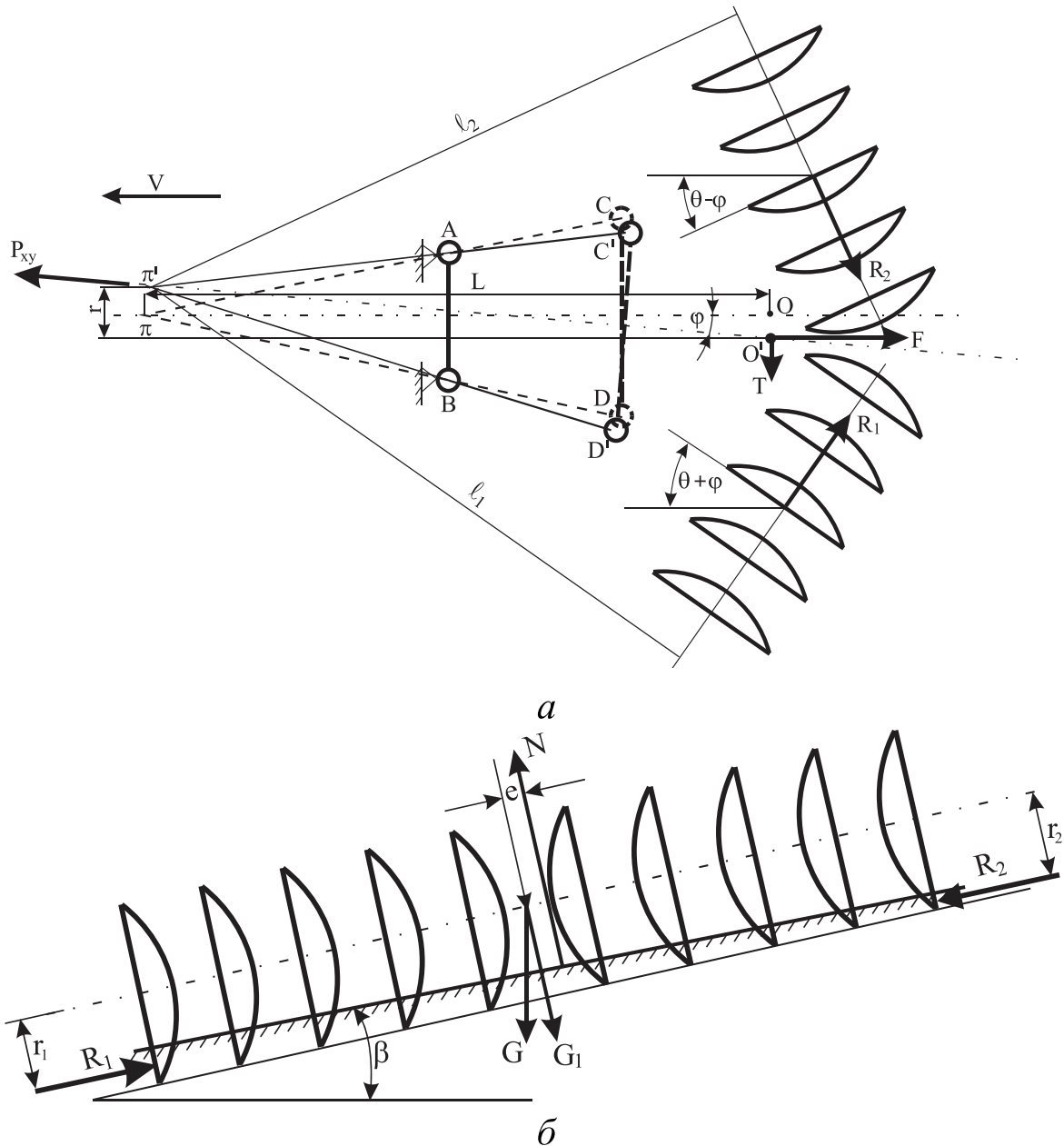
Если на равнинах обработка почвы существующими почвообрабатывающими машинами в основном обеспечивает достаточное технологическое качество, то при обработке ими склонов не удовлетворяются агротехнические требования, предъявляемые минимальной обработке почвы, что приводит к уменьшению плодородия, увеличивает опасность эрозии почвы.

Обработка склонов дисковыми орудиями сопровождается неустойчивостью динамических и технологических параметров агрегата. Основной причиной этой неустойчивости является перераспределения веса агрегата работающего на склоне.

Силы действующие на дисковой орудие работающий на склоне показаны на рисунке 33. Здесь реактивные сопротивления почвы, действующие на сферические диски, не могут быть приведены к одной равнодействующей, поэтому они представлены силами  $R_1$  и  $R_2$ , действующими параллельно оси вращения дисков и



приложенными в центре тяжести сегментов, погруженных в почву частей дисков,  $F$  – приложенной в центре тяжести и действующей в противоположную сторону абсолютной скорости движения орудия,  $T$  – боковая сила приложенной в центре тяжести орудия и направленная вниз по уклону,  $P_{xy}$  – тяговая сила (рисунок 33а).



**Рисунок 33 – Перемещение дискового агрегата работающий на склоне:**  
 а – в плоскости параллельной поверхности поля; б – в плоскости перпендукулярной поверхности поля

Под действием боковой силы  $T$ , орудие стремится вращаться вокруг мгновенного центра ( $\pi$ ) и отклоняется от заданного направления движения по некоторой угла  $\varphi$ . Тогда угол установки дисков

батареи находящихся по верхней стороне склона увеличится и составит  $\theta + \varphi$ , а батареи находящихся на нижней стороне склона, наоборот, уменьшится и составит  $\theta - \varphi$  (рисунок 33а).

Известно, что сопротивление дисковых орудий, следовательно, и силы  $R_1, R_2$ , действующие вдоль оси вращения дисков, зависит от многих факторов, одним из которых является угол атаки дисков [22, 27]. На величину сил  $R_1$  и  $R_2$ , влияют также неравномерность за-глубления дисков и изменения ширины захвата орудия.

Вследствие перераспределения веса орудий, диски, движущиеся по нижней стороне склона, заглубляются больше. На неравномерность хода дисков значительно влияет также изменение угла атаки дисков. С увеличением угла атаки до некоторых пределов диски стремятся заглубляться, увеличивая глубину обработки почвы [22, 27].

Все это ведет к тому, что при работе на поперечном склоне сила  $R_1$  и получается значительно больше  $R_2$ .

Для равновесия орудий в плоскости параллельной поверхности поля момент всех сил относительно мгновенного центра вращения ( $\pi$ ) должен равняться нулю.

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} (ML^2 + I) + Fr - TL \cos \varphi + R_1 l_1 - R_2 l_2 = 0, \quad (69)$$

где  $M$  – масса орудия;  $I$  – момент инерции орудия относительно оси нормальной к поверхности поля и проходящей через центр тяжести;  $T$  – боковая сила, можно принять  $T = G \sin \beta$ ;  $\beta$  – угол склона;  $L$  – расстояние центра тяжести орудия от мгновенного центра вращения ( $\pi$ ),  $l_1, l_2$  и  $r$  – плечо сил  $R_1, R_2$  и  $F$  соответственно.

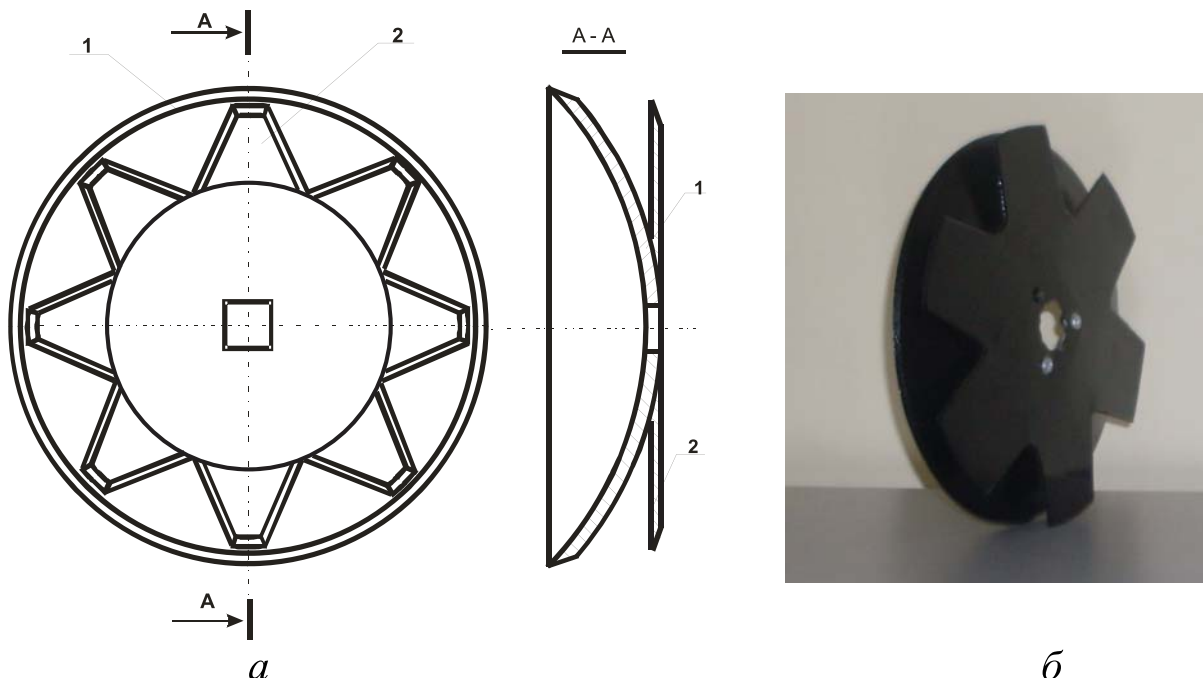
Для исследования равновесия дисковых почвообрабатывающих орудий в перпендикулярной относительно поверхности поля плоскости предположим, что угол атаки дисков равняется нулю и орудие не имеет перекоса. Тогда батареи находящихся в верхней и нижней стороне склона будут находиться на одной линии (рисунок 33 б): Условно предположим, что осевые силы  $R_1$  и  $R_2$  продолжают действовать на орудие. Кроме них в центре тяжести орудия, по нормали поверхности поля, действует составляющая силы тяжести  $G_1 = G \cos \beta$  и сила реакции дна борозды  $N$ , который вследствие неравномерности обработки отклонена на величину  $e$  (рисунок 33 б).

Уравнение равновесия орудия в вертикальной плоскости поля по рисунку 33 б будет:

$$R_2 r_2 + Ne = R_1 r_1. \quad (70)$$

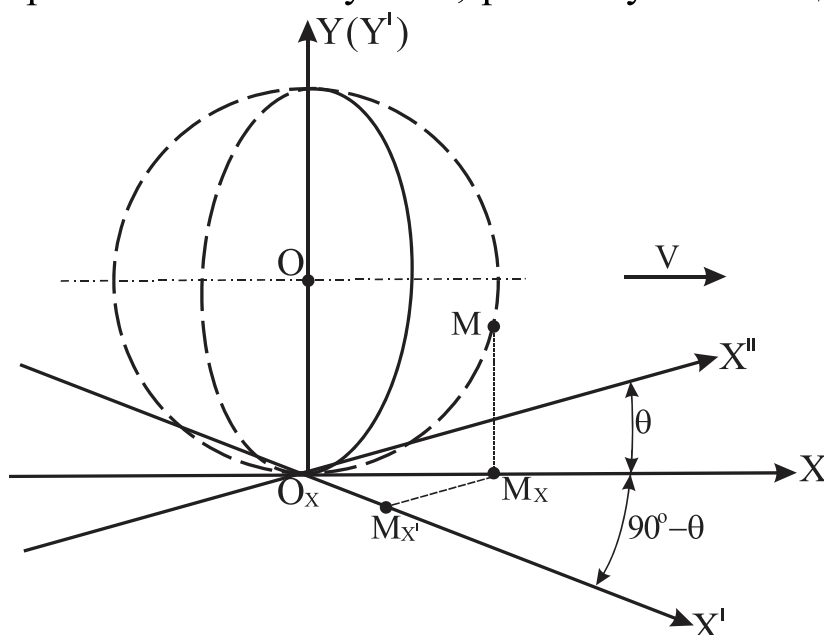
При  $\theta \neq 0$ , то силы  $R_1$  и  $R_2$  не будут находиться в одной плоскости, и моменты  $R_2 r_2$  и  $R_1 r_1$  в отдельности будут способствовать большему заглублению передних дисков. Это заглубление увеличивается с увеличением угла атаки дисков.

Для устранения перечисленных недостатков разработан универсальный рабочий орган минимальной обработки почвы, который представляет собой на сферическом диске (1) сваренный с сегментическими зубьями плоский диск (2) (рисунок 34). При обработке почвы с разработанным сферическим рабочим органом уменьшается величины перекрытия желоби, обеспечивается рыхление гребней образованного между желобами, чем и обеспечивается высокое технологическое качество обработки почвы и устойчивость хода агрегата. Предъявляемый рабочий орган дает возможность сократить число дисков в батарее и уменьшить тяговое сопротивление агрегата при одинаковом ширине захвата.



**Рисунок 34 – Универсальный рабочий орган минимальной обработки почвы:** а – конструктивная схема, б – общий вид; 1 – сферический диск; 2 – плоский диск с сегментическими зубьями

На рисунке 35 представлено – диск, как окружность радиусом  $r$ , перпендикулярное на плоскости поля, который по направлению движения агрегата составляет угол  $\theta$ , равным углу атаки диска.



**Рисунок 35 – Схема для исследования рабочего положения диска**

Возьмем произвольную точку окружности  $M$ , тогда  $M_x$  – ее проекция на ось  $X$ , и  $M_{x'}$  – проекция точки  $M_{x'}$  на ось  $x'$  (рисунок 35).

Запишем уравнение окружности в параметрическом виде

$$\begin{cases} X = r \cos \omega t, \\ Y = r(1 - \sin \omega t), \end{cases} \quad (71)$$

где  $\omega t$  – угловой коэффициент любой точки  $M$  в параметрическом виде,

Выразим координаты точки  $M_{x'}$  по рисунку 35:

$$X' = O_x M_{x'} = O_x M_x \cos(90^\circ - \theta) = X \sin \theta. \quad (72)$$

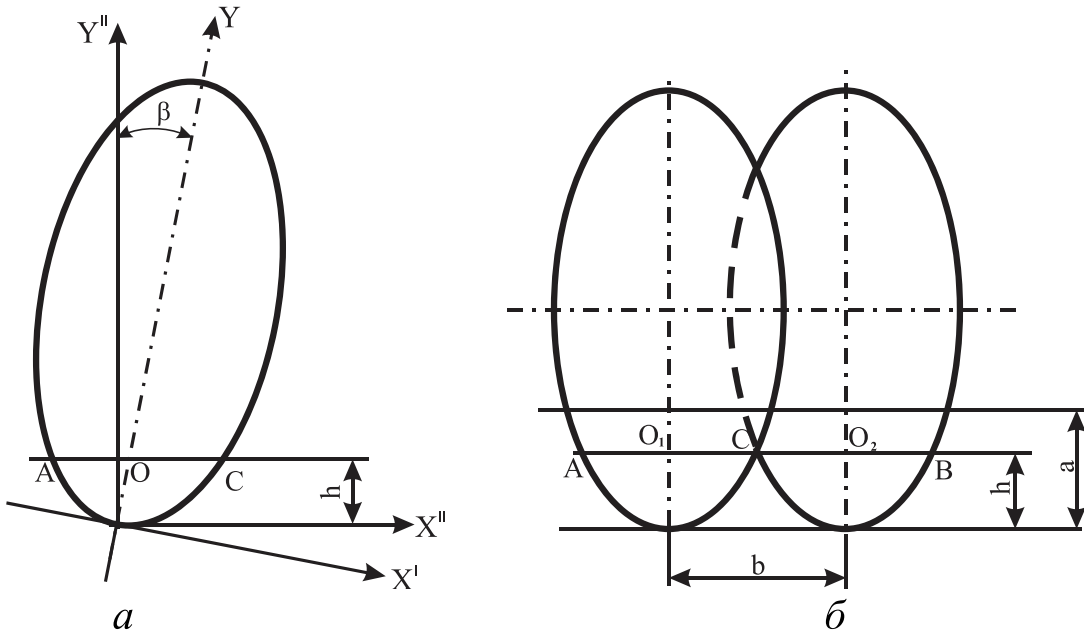
Перепишем формулу (3) с учетом выражение (4):

$$\begin{cases} X' = r \sin \theta \cos \omega t, \\ Y = r(1 - \sin \omega t). \end{cases} \quad (73)$$

При работе на склоне диск отклоняется под углом  $\beta$  к вертикали (рисунок 36).

В целях приведения эллипса к общей системе координат  $X''Y''$  проведем соответствующее преобразование уравнения (73):

$$\begin{cases} X'' = r(1 - \sin \omega t) \sin \beta + r \sin \theta \cos \omega t \cos \beta, \\ Y'' = r(1 - \sin \omega t) \cos \beta - r \sin \theta \cos \omega t \sin \beta: \end{cases} \quad (74)$$



**Рисунок 36 – Схема к определению междискового расстояния**

Определим междисковое расстояние на ось батареи исходя из высоты гребня на дне борозды (рисунок 36 б):

$$b = O_1 O_2 = \frac{AC}{2} + \frac{CB}{2}. \quad (75)$$

Точка пересечения двух дисков находится на расстоянии  $h$  от поверхности. Из рисунка 36 а видно, что  $Y'' = h$  прямая пересекает эллипс в точках  $A$  и  $C$ , расстояние между которыми и есть искомая ширина захвата  $b$ :

$$b = AC = \sqrt{(X_C - X_A)^2 - (Y_C - Y_A)^2}. \quad (76)$$

Подставляя  $Y'' = h$  уравнение во второе из уравнений (74) и решая его, найдем координаты точек  $A$  и  $C$ :

$$h = r(1 - \sin \omega t) \cos \beta - r \sin \theta \cos \omega t \sin \beta, \quad (77)$$

или

$$r \cos \beta - r \cos \beta \sin \omega t - r \sin \theta \sin \beta \cos \omega t = h \quad (78)$$

Обозначим  $r \sin \theta \sin \beta = m$  и  $r \cos \beta = n$ , тогда уравнение (78) примет вид:

$$-n \sin \omega t - m \cos \omega t + n - h = 0. \quad (79)$$

После соответствующих тригонометрических преобразований уравнения (79) получим значения параметра  $\omega t$ :

$$\omega t_{1,2} = 2 \arctg \frac{n \pm \sqrt{m^2 - h^2 + 2nh}}{m + n - h}. \quad (80)$$

Подставляя координаты точек  $A$  и  $C$ , найденные с помощью уравнений (74) и (80), в формулу (76), находим ширину за хвата диска  $b$ . Например, если радиус диска  $r = 255$  мм, угол атаки  $\theta = 22^\circ$ , глубина обработки  $a = 100$  мм, то расчетное значение междисковое расстояние на ось батареи составляет  $b = 118,4$  мм.

Для оптимизации конструктивных и технологических параметров разработанного рабочего органа изготовлено экспериментальный образец и осуществлено научно-экспериментальное исследование с использованием методов планирования экспериментов по симметричному композиционному плану типа Вк (звездные точки равны  $\pm 1$ ) [23]. В качестве переменных факторов ( $X$ ) приняты расстояния между дисками в батарее ( $b$ ) и угол атаки ( $\theta$ ), а в качестве параметра оптимизации ( $Y$ ) степени разрыхленности почвы ( $\eta$ , %).

Уровни факторов (таблица 2) выбраны «стандартным образом» т. е. так, чтобы их оптимальные значения попадали в центр варьирования.

**Таблица – 2 Факторы, интервалы и уровни варьирования**

Интервал варьирования и уровни факторов	Исследуемые факторы	
	расстояния между дисками в батарее $b$ , мм	угол атаки, $\square^\circ$
Кодовое обозначение	$x_1$	$x_2$
Нулевой уровень $x_i = 0$	150	20
Интервал варьирования $\square x_i$	30	5
Нижний уровень $x_{\min} = -1$	120	15
Верхний уровень $x_{\max} = +1$	180	25

Для определения зависимости изменения степени разрыхленности почвы ( $\eta$ ) от расстояния между дисками в батарее ( $b$ ) и угла атаки ( $\theta$ ) составлено матрица планирования эксперимента (таблица 3).

Эксперимент проведен рандомизировано во времени, то есть в случайной последовательности для исключения влияния систематических ошибок, вызванных внешними факторами.

**Таблица 3 – Матрица планирования эксперимента по определению степени разрыхленности почвы от расстояния между дисками в батарее ( $b$ ) и угла атаки ( $\theta$ )**

Натуральные значения факторов		Кодированные значения факторов		Отклик, $\eta$ , %
$b$ , мм	$\theta^\circ$	$X_1$	$X_2$	
180	25	1	1	40,2
120	25	-1	1	66,1
180	15	1	-1	72,7
120	15	-1	-1	84,2
180	20	1	0	64,2
120	20	-1	0	78,2
150	25	0	1	57,3
150	15	0	-1	81,3
150	20	0	0	72,8

В результате математической обработки экспериментальных данных определены коэффициенты, и получено следующее уравнение регрессии 2-го порядка, для определения степени разрыхленности почвы:

$$\eta(X) = 73,68 - 8,57X_1 - 12,43X_2 - 3,6X_1X_2 - 2,93X_1^2 - 4,77X_2^2. \quad (81)$$

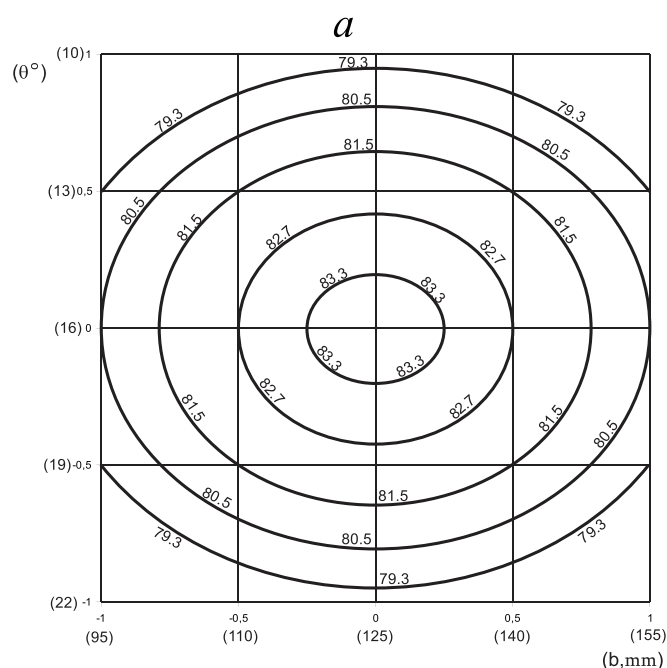
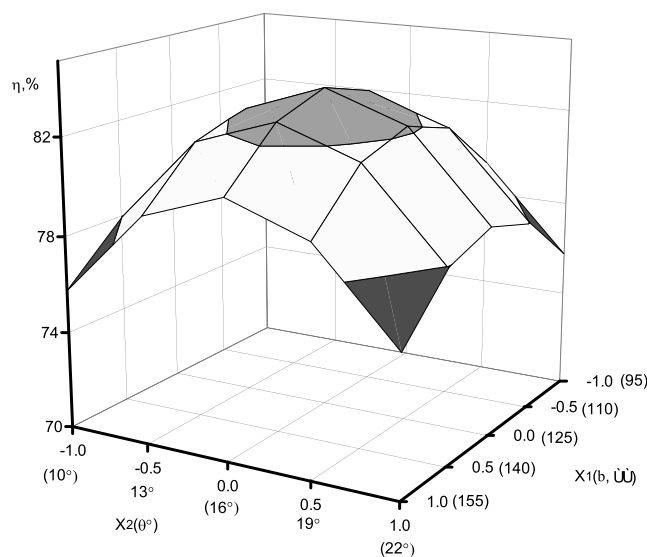
Полученные коэффициенты проверены по критерию Стьюдента, а уравнение (81) – по критерию Фишера [4, 5].

Дифференцируя уравнение, по каждой из переменных и приравнявая производные нулю, получаем систему линейных уравнений. Решив систему линейных уравнений, находим координаты центра отклика в кодированных значениях,  $X_1 = -0,833$  и  $X_2 = -0,801$ . Найденные значения подставляем в исходное уравнение (81) находим значение оптимальной величины степени разрыхленности почвы  $\eta_s = 83,45$  %.

Для анализа факторов после канонического преобразования получаем уравнение

$$\eta = 83,45 - 2,93X_1^2 - 4,44X_2^2. \quad (82)$$

Согласно уравнению (82) поверхность отклика степени разрыхленности почвы от расстояния между дисками в батарее ( $b$ ) и угла атаки ( $\theta$ ) поверхность отклика в изолиниях и графики имеют следующие виды (рисунок 37).



*б*

**Рисунок 37 – Поверхности зависимости степени разрыхленности почвы от расстояния между дисками в батарее ( $b$ ) и угла атаки ( $\theta$ ):**

*a* – поверхности отклика; *б* – двумерное сечение



Анализ графиков (рисунок 37) построенных по данным уравнения регрессии (82) показывает, что передвижение факторов от центра на любую сторону приводит к уменьшению параметра оптимизации (степень разрыхленности почвы).

Переход координаты центра поверхности отклика ( $X_1 = -0,833$  и  $X_2 = -0,801$ ) к действительным. Получены оптимальные значения параметров, расстояния между дисками в батарее –  $b = 125$  мм и угол атаки дисков –  $\theta = 16^\circ$ .

Экспериментальными исследованиями с предложенным универсальным рабочим органом минимальной обработки почвы установлено, что максимальная разрыхленность почвы – 83,4 % обеспечивается при значениях угла атаки  $16^\circ$  и расстояния между дисками на оси батарее 125 мм.

Применение предложенного универсального рабочего органа для минимальной обработки склонов приводит к уменьшению величины перекрытия желоба, обеспечивается рыхление гребней образованного между желобами, чем и обеспечивается высокое технологическое качество обработки почвы и устойчивость хода агрегата.

## Список литературы

1. **Бартенев И. М., Драпалюк М. В., Шабанов М. Л.** Система машин для лесного хозяйства и защитного лесоразведения. Учебное пособие. Воронеж, ВГЛТА, 2010. 215 с.
2. **Бартенев И. М., Лысыч М. Н., Захаров П. В.** Культиватор для ухода за культурами на вырубках // Лесное хозяйство. М. : 2011. № 1. С. 45–46.
3. **Базикян Н. А., Тонапетян П. А., Есоян А. М., Аракелян А. А.** – Дисковой рабочий орган Агенство интеллектуальной собственности РА. Патент 195U, 25.05.2010.
4. **Берг П.** Почвозащитное земледелие. Руководство. Ассоциация почвозащитного земледелия Виммеры. С. Horsham, VIC 3402, с.44.
5. **Босой Е. С.** Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин. М. : Машиностроение, 1978. 568 с.
6. **Брагинец Н. В.** Анализ конструкций дисковых рабочих органов и теоретическое обоснование повышения эффективности процесса обработки почвы за счет использования более совершенных рабочих органов [Электронный ресурс]. URL: [http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik\\_111/statia\\_13.pdf](http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_111/statia_13.pdf) Загл. с экрана.
7. **Григорян Ш. М., Хачатрян А. Ц., Минасян Р. С.** Земледельческая механика (на армянском языке). Ереван, 1998. 319 с.
8. Диски [Электронный ресурс]. URL: <http://www.belagromash.ru/ru/zapasnie-chasti/diski.html>.
9. **Зайка П. М.** Теория сельскохозяйственных машин. Харьков : 2001. 444 с.
10. **Канарев Ф. М.** Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. М. : Машиностроение, 1983. 142 с.
11. **Кацыгин В. В.** О закономерности сопротивления почвы сжатию Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1962. № 4. С. 28–31.
12. **Кушнарев А. С., Погорелый В. В.** Методические предпосылки выбора способа обработки почвы // Техника в АПК. 2008. № 1. С. 17–21.
13. **Кушнарев А.** Новый взгляд на обработку почвы // Технико-технологические аспекты развития и испытания новой техники и технологий для сельского хозяйства Украины. Сборник научных

трудов. 2009. № 17(27) [Электронный ресурс]. URL: [http://www.nbuu.gov.ua/Portal/Chem\\_Biol/Ttar/2009\\_13\\_2.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/Portal/Chem_Biol/Ttar/2009_13_2.pdf).

14. **Лобачевский Я. П., Колчина Л. М.** Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин. М. :ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 116 с.

15. **Маслов Г., Небавский В.** Нулевая обработка – экономия затрат // Сельский механизатор. 2004. № 3. С. 34.

16. **Нартов П. С.** Дисковые почвообрабатывающие орудия. Воронеж : ВГУ, 1972. 182 с.

17. Обработка почвы (энергосберегающие технологии и технические средства). Рекомендации. М. :ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 104 с.

18. **Попов И. В., Бартнев И. М.** Влияние геометрических параметров универсального почвообрабатывающего орудия на его эффективность // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4. № 2. С. 197–203.

19. Роль современных технологий в устойчивом развитии АПК. Материалы рабочей группы по вопросам устойчивого развития АПК РФ-2004 // Техника и оборудование для села. 2005. № 1. С. 6–8.

20. **Румянцев А. В., Орлова Л. В., Кузьмин В. Н.** Опыт внедрения ресурсосберегающих технологий производства зерна в Самарской области. М. :ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 64 с.

21. **Синеоков Г. Н., Панов И. М.** Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М. : Машиностроение, 1987. 328 с.

22. **Синеоков Г. Н.** Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин: (теория и расчет). М. : Машгиз, 1949. 86 с.

23. **Спирин Н. А., Лавров В. В.** Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург : 2004. 257 с.

24. **Трубилин Е. И., Сохт К. А., Коновалов В. И., Данюкова О. В.** Рабочие органы дисковых борон и луцильников. Научный журнал КубГАУ. Краснодар : 2013. № 91(07). С. 752–771.

25. **Турбин Б. Г., Лурье А. Б., Григорьев С. М.** Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение, 1967. 583 с.

26. **Тонапетян П. А., Есоян А. М., Аракелян А. А.** Обоснование параметров дисковых рабочих органов // Известия аграрной

науки. Грузия. Тбилиси. 2009. Т 7. С. 71–73.

27. **Хачатрян Х. А.** Работа почвообрабатывающих орудий в условиях горного рельефа. Ереван : Армгосиздат, 1963. 260 с.

28. Asae Standards, 45 edition, 1998, S 327.2 Terminology and definitions for Agrikultural chemical application. Standards Engineering Practices Data (Asabe Standards (American Society of Agricultural Engineers)), St Joseph, MI: ASAE. pp. 171–174.

29. Tillage effects on soil organic carbon and nutrient availability in a long-term field experiment in Austri (Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf organische Substanz und verfügbare Nährstoffe im Boden in einem Langzeitversuch in Österreich) H. Spiegel, G. Dersch, J. Hösch and A. Baumgarte. die Zeitschrift Die Bodenkultur 58 (1–4) 2007.

*Учебное издание*

**Тонапетян Паргев Арамаисович  
Карапетян Мартик Аршалуйсович**

**ДИСКОВЫЕ  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ  
РАБОЧИЕ ОРГАНЫ**

Учебное пособие

Издается в авторской редакции  
Оригинал-макет *Марина Бурак*  
Дизайн обложки *Полина Шапошникова*

Подписано в печать 16.03.2022. Формат 60х90/16  
Усл.-печ. л. 4,8. Тираж 300 экз. Заказ № 30

ООО «Мегаполис»  
[www.m-megapolis.ru](http://www.m-megapolis.ru)  
Тел.: 8 (495) 643-28-71  
E-mail: [zakaz@m-megapolis.ru](mailto:zakaz@m-megapolis.ru)  
127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 23А

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»  
Тел.: +7 (499) 322-38-31  
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5