

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДИСКОВОГО РЫХЛИТЕЛЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС НАРЕЗКИ БОРОЗД ПРИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ

С. Н. Долматов, Н. В. Сухенко

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский Рабочий», 31
E-mail: pipinaskus@mail.ru

Современная ситуация в области устойчивого лесопользования в России характеризуется проблемой восстановления, охраны и защиты лесов. Несмотря на значительные объёмы работ по сохранению подроста в процессе рубок главного пользования, проведению мероприятий содействия лесовосстановлению, существует устойчивая тенденция отставания темпов восстановления лесных насаждений на фоне значительного увеличения площадей вырубок и гарей. Современные технологии лесных культур могут стать эффективным драйвером роста продуктивности лесов России. Для реализации таких технологий требуется оперативная и качественная подготовка почвы в интересах последующего лесовосстановления.

Исследование направлено на решение задачи лесовосстановления в условиях вырубок. Проведен анализ конструкции дисковых рыхлителей, предназначенных для подготовки почвы в процессе работ по лесовосстановлению. Проанализированы факторы, оказывающие существенное влияние на эффективность работы плугов-рыхлителей с дисковым рабочим органом. В ходе работы определялись закономерности, влияющие на кинематические соотношения при обработке лесных почв дисковыми рыхлителями. Был установлен принципиальный характер движения пласта по поверхности рабочего органа дискового рыхлителя. На основании анализа процесса образования борозд при обработке почвы дисковым рыхлителем, даны рекомендации по выбору линейных и угловых параметров рабочего органа. На основе анализа сформулированы требования к дисковым плугам-рыхлителям, которые смогут эффективно осуществлять основную подготовку почвы в условиях вырубок, в разнообразных почвенно-климатических условиях России. Материалы исследований, рекомендованные линейные и угловые параметры рабочих органов могут быть использованы при проектировании и усовершенствовании лесных рыхлителей с дисковыми рабочими органами.

Ключевые слова: лесовосстановление, дисковые рыхлители, плуги, анализ, рабочий орган, кинематика пласта.

Conifers of the boreal area. 2022, Vol. XL, No. 6, P. 529–537

INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE WORKING BODY OF THE DISC RIPPER ON THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CUTTING FURROWS DURING REFORESTATION

S. N. Dolmatov, N. V. Sukhenko

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: pipinaskus@mail.ru

The current situation in the field of sustainable forest management in Russia is characterized by the problem of restoration, conservation and protection of forests. Despite the significant amount of work to preserve the undergrowth in the process of felling the main use, carrying out activities to promote reforestation, there is a steady trend of lagging behind the rate of restoration of forest plantations against the background of a significant increase in the areas of felling and burnt areas. Modern technologies of forest crops can become an effective driver of growth in the productivity of Russian forests. The implementation of such technologies requires prompt and high-quality soil preparation in the interests of subsequent reforestation. The study is aimed at solving the problem of reforestation in the conditions of clearings. The analysis of the design of disc rippers designed for soil preparation in the process of reforestation was carried out. The factors that have a significant impact on the efficiency of the plow-rippers with a disk working body are analyzed. In the course of the work, regularities were determined that affect the kinematic relationships during the processing of forest soils with disc rippers. The fundamental nature of the formation movement on the surface of the working body of the disk ripper was established. Based on the analysis of the process of furrow formation during soil cultivation with a disk cultivator, recommendations are given on the choice of linear and angular parameters of the working body. Based on the analysis, the requirements for disc cultivator plows are formulated, which will be able to effectively carry out basic soil preparation in clearing conditions, in a variety of soil and climatic

conditions in Russia. Research materials, recommended linear and angular parameters of the working bodies can be used in the design and improvement of forest rippers with disk working bodies.

Keywords: reforestation, disc rippers, plows, analysis, working body, formation kinematics.

ВВЕДЕНИЕ

Леса России, занимая одну пятую часть площади лесов мира и являясь одним из возобновляемых природных ресурсов, удовлетворяют множественные потребности экономики и общества в лесных ресурсах, выполняют важнейшие средообразующие, средозащитные и иные полезные функции. Однако в настоящее время проблемы сохранения и использования лесов сложны и многогранны.

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года одной из основных проблем, сдерживающих развитие лесного комплекса, называет недостаточную эффективность лесовосстановления. Сократившись почти в 2 раза за последние 20 лет, ежегодные объемы лесовосстановления стабилизировались на уровне 800–900 тыс. гектаров. Из-за несоблюдения агротехники выращивания созданных лесных культур отмечается их высокая гибель в период до перевода в покрытую лесом площадь. Потребность созданных лесных культур в агротехнических уходах удовлетворяется только наполовину. При этом арендаторы лесных участков недостаточно заинтересованы в воспроизводстве лесов, эффективном использовании лесосеки и развитии лесной инфраструктуры.

В Российской Федерации происходит неблагоприятный для лесной промышленности процесс замещения хвойных пород лиственными, связанный с низкой обеспеченностью рубками, проводимыми в целях ухода за лесными насаждениями. При этом остается невысокой (в среднем 22 %) по сравнению с зарубежными странами доля искусственного лесовосстановления в общем его объеме. Преобладающим способом лесовосстановления является содействие естественному восстановлению. Искусственно создаваемые лесные насаждения требуют агротехнических уходов. При этом потребность в агротехнических уходах

удовлетворяется только на 60 %. Из-за несоблюдения агротехники выращивания созданных лесных культур отмечается их гибель в период до перевода в покрытую лесом площадь [1].

Преобладающая часть лесов произрастает на подверженных сильному задернению почвах, где мероприятия по лесовозобновлению не приносят успеха без эффективной подготовки. Недостаточная обработка почвы – это одна из тех значительных проблем, причиной которых является отчасти отсутствие подходящей техники и отчасти отсутствие необходимого финансирования. Разработанный в России широкий ассортимент различных видов оборудования для обработки почв (в т. ч. создания микроповышений) по всей видимости не применяется в полном объеме.

В России ведется довольно много исследований, посвященных вопросам обработки почвы (Писаренко и Мерзленко, 1990, Калининченко и др., 1991, Волков, 1998, Мелехов, 2002, Соколов, 2006) [2–6]. Особенную роль приобретают исследования повышения проходимости и прочности почвообрабатывающих орудий, эксплуатируемых в условиях лесовосстановления на нераскорчеванных участках. К таким орудиям относятся рыхлители с дисковыми рабочими органами, в конструкции которых применяются как пассивные, так и активные рабочие органы. Применение рыхлителей с дисковыми рабочими органами при лесовосстановлении без корчевки пней актуально для выполнения природоохранных требований, а также экономически эффективно [7]. Эксперименты, проведенные компанией «Бракке Форест», указывают на большую разницу в результатах в зависимости от того, где и как высаживать саженцы. Эксперименты свидетельствуют, что глубина и место посадки, тип почвы имеют решающее значение для выживания и развития саженца. Весьма эффективным признаны фрезерные рыхлители линейки Bracke (рис. 1) [8].



Рис. 1. Фрезерный рабочий орган установки Bracke T26 и результат формовки посадочных мест:

Т – с перевернутым дёрном; Н – холмики из минеральной почвы на перевернутом дёрне; М – холмики из минерального грунта на минеральной почве

Инструменты с дисковыми рабочими органами снижают время подготовки почвы, делают возможным работы на неподготовленных площадках с местными неровностями [9; 10]. Для работы на небольших участках применяется дисковый рыхлитель Bracke T21.a, выпускающийся в двух модификациях (с трехточечным креплением для агрегатирования с тракторами и с рамой для установки на форвардере). В конструкции данной машины предусмотрена возможность ручной регулировки наклона диска под девятью различными углами [11]. Для работы на труднопроходимых, захламленных участках применяется более мощные рыхлители Bracke T26.a, Bracke T45.a.

Конструктивной особенностью рыхлителя Bracke T26.a является возможность установки манипуляторов и дисков на различную ширину и под различными углами, что позволяет обеспечить варьирование параметров давления на грунт и давления рабочего органа. Рыхлитель Bracke T45.a также является эффективным орудием на нераскорчеванных вырубках так, как обеспечивает одновременную обработку четырех полос [12]. При лесовосстановлении на вырубках для основной подготовки почвы также применяются перспективные конструкции дисковых рыхлителей. Данные машины производят одновременную обработку почвы и частичную расчистку обрабатываемых полос, сдвигая рабочими органами порубочные остатки. Рыхлители позволяют обеспечить качественную обработку почвы в сложных условиях нераскорчеванных и захламленных вырубков [13].

Для эффективной работы лесных дисковых плугов-рыхлителей необходимы исследования влияния параметров рабочей поверхности ножей-лопаток рыхлителей на технологический процесс нарезки борозд. Существующие лесные плуги из-за несоответствия принятых параметров технологической задаче нарезки борозд работают неудовлетворительно. Работа современного дискового плуга-рыхлителя требует обоснования параметров рабочего органа – ножа-лопатки рыхлителя для обеспечения уверенного переворачивания слоя грунта с целью того, чтобы минерализованная часть оказалась сверху, а дерновая часть – в нижней части валика минерализованной почвы (рис. 1). При этом прослеживается определенная аналогия с работой отвальных классических плугов в аспекте движения пласта грунта по образующим элементам отвала. На основе изложенного выше, сформулируем цель и задачи исследования.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – влияние параметров рабочего органа дискового рыхлителя на технологический процесс нарезки борозд при лесовосстановлении.

Обозначенная цель позволяет назначить задачи исследования:

1. Определить факторы, оказывающие влияние на кинематику и деформацию пласта.
2. Установить характер движения пласта по рабочей поверхности рабочего органа дискового рыхлителя.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 представлена рабочая часть дискового плуга-рыхлителя – фрезы. Фреза состоит из съемных ножей-лопаток 1 и корпуса-основания 2.

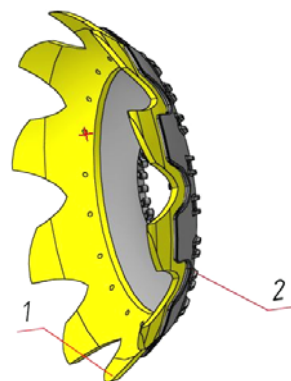


Рис. 2. Фрезерный рабочий орган

К параметрам, оказывающим существенное влияние на кинематику и деформацию пласта, относятся форма и параметры поперечного сечения борозды (пласта), угол ϵ наклона ножа-лопатки к дну борозды, угол γ_0 наклона лезвия ножа к стенке борозды, форма и параметры образующей, параметры направляющей, форма и параметры кривой полевой обрезки, шаг винтовой поверхности. В настоящее время, при проектировании лесных плугов, форма сечения борозды принята в виде прямоугольника или трапеции. Рассмотрим особенности прямоугольной и трапециевидной форм сечения борозды.

Задачей нарезки борозд является подготовка почвы под посев или посадку лесных культур в борозду или пласт. Отсюда следует, что необходимо стремиться к возможно большей ширине борозды и пласта, т. е. минерализованной полосы. Эта задача при определенных условиях может быть достигнута с наименьшей затратой энергии. С этой точки зрения при отваливании пласта форма сечения в виде трапеции имеет ряд преимуществ по сравнению с прямоугольным сечением (рис. 3).

При заданной ширине борозды площадь поперечного сечения трапеции получается меньше. За счет уменьшения поперечного сечения борозды работа, затрачиваемая на оборот пласта, также уменьшается. Важно определить необходимые тяговые усилия, поскольку от их величины зависит необходимая мощность тягового средства, используемого для привода в движение дискового рыхлителя [14].

При трапециевидном сечении происходит снижение усилия, необходимого для подрезания пласта. Исследованиями [15–18], установлено, что на характеристики процесса резания оказывает существенное влияние стояние грунта, а также тяговое сопротивление плуга зависит от длины и расположения режущего лезвия. Боковые (вертикальные) ножи требуют большего усилия, вследствие чего их следует по возможности исключать из процесса резания. При одной той же ширине захвата с увеличением длины лезвия ножа растет тяговое сопротивление.

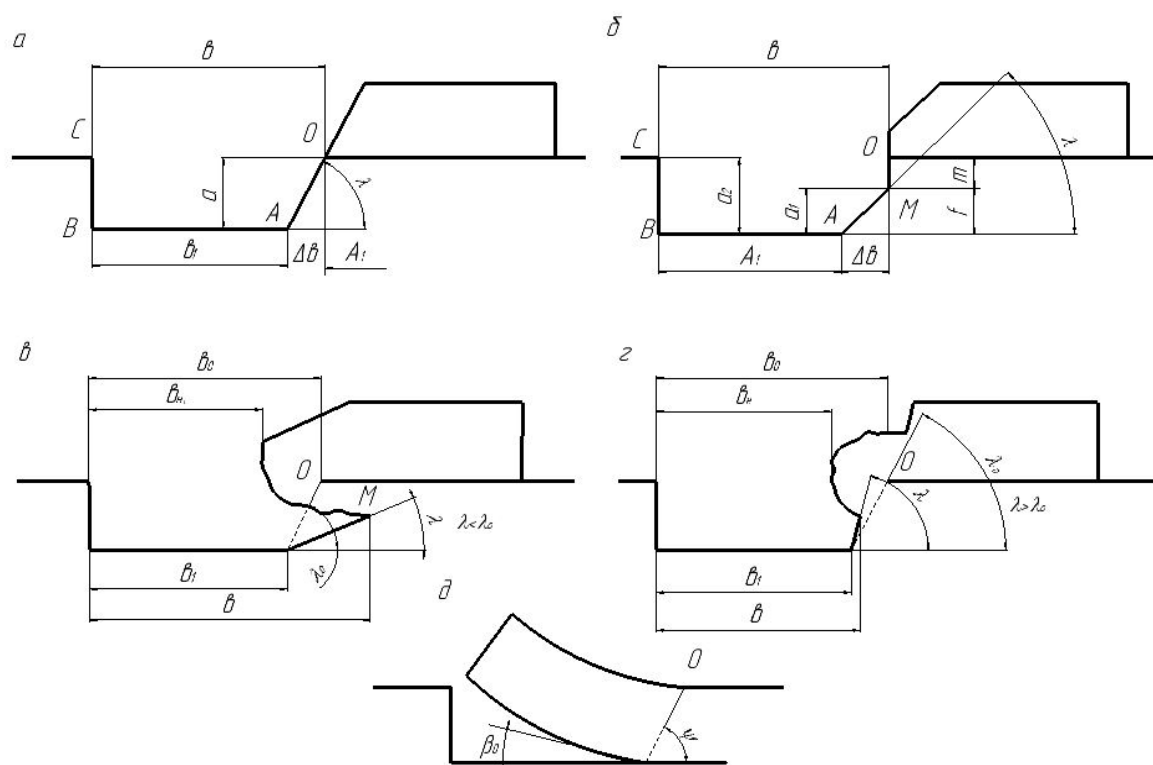


Рис. 3. Схема формирования пласта грунта

При отклонении вертикально поставленного режущего лезвия в направлении, перпендикулярном движению, усилие резания и удельное сопротивление уменьшаются. Так отклонение ножа на угол 45° при глубине резания 0,28 м. вызывает уменьшение удельного сопротивления на 25 % по сравнению с сопротивлением ножа, поставленного вертикально.

При трапецидальной форме сечения борозды исключается вертикальный надрез пласта, а также уменьшается так называемая активная длина лезвия. Принимая условие, что активная длина лезвия – это длина лезвия, подрезающего пласт по дну борозды. Активную длину лезвия можно характеризовать коэффициентом уменьшения длины лезвия, который равен:

$$K_L = \frac{L_T}{L_{\Pi}} = \frac{(b - \Delta) \sin \gamma}{b \sin \gamma} = \frac{b - \Delta b}{b}, \quad (1)$$

где L_{Π} – длина лезвия при прямоугольном сечении; L_T – длина лезвия при трапецидальном сечении; Δb – недорез пласта по дну борозды.

Для трапецидальной формы сечения борозды величина Δb определяется как:

$$\Delta b = \frac{t}{\tan \lambda}, \quad (2)$$

где t – высота подрезного ножа; λ – угол наклона подрезного ножа.

Форму сечения борозды необходимо выбирать так, чтобы K_L был меньше 1. Таким образом, чтобы обеспечить определенную ширину борозды, в случае прямоугольного сечения пласта нужно подрезать грунт до точки A_1 (рис. 3, а), а при трапецидальном сечении – до точки A . Следовательно, во втором случае

значительно уменьшается активная длина лезвия ножа. Все это должно привести к уменьшению тягового сопротивления. При трапециевидном сечении рабочего органа уменьшается осыпание почвы у обреза борозды. Для прямоугольного сечения борозды с течением времени боковые грани осыпаются. Значит, нет необходимости затрачивать работу на выемку части почвы, которая все равно осыпается. Недостаточное обоснование рациональных параметров рабочего органа лопатки-рыхлителя фрезы, приводит к тому, что производители выпускают дисковые рыхлители с ножами-лопатками производной, выбранной «интуитивно» формой (рис. 4).

Исследованиями [19; 20], установлено, что вид и форма дискового рыхлителя оказывает существенное влияние на тяговое сопротивление. Например, с тракторами тягового класса 14 кН можно успешно применять не только однодисковый активный рыхлитель, но и пассивный двухдисковый вариант при легких почвенных условиях. В более сложных условиях с тракторами тягового класса 30 кН, для обеспечения высоких качественных показателей, рекомендуется использовать активный двухдисковый вариант рыхлителя.

Анализ промышленных образцов дисковых рыхлителей, позволяет сделать вывод о максимальном распространении трапециевидной формы ножей-лопаток. Чаще всего нож-лопатка (рис. 5) содержит режущую ножевую часть плавно переходящую в лемеховую часть, образующую поверхность отвала и транспортировки пласта грунта.

Принимая форму поперечного сечения в виде прямоугольной трапеции, выясним, под каким углом λ следует располагать боковую сторону. На основании экспериментов [21] было установлено, что для

обеспечения минимальных энергозатрат с рабочей поверхностью плуга рекомендуется устанавливать нож под углом $60\text{--}75^\circ$.

Графические и аналитические исследования различных отвалов позволили установить характер движения пласта по рабочей поверхности плужного корпуса. В зависимости от закона образования поверхности пласт или смещается в сторону (если поперечные сечения на вертикальной проекции отвала не пересекаются в одной точке), или оборачивается вокруг некоторой оси (через которую проходят или вокруг которой поворачиваются поперечные сечения). Значит, под воздействием рабочей поверхности пласт принудительно поворачивается вокруг некоторой оси. Для облегчения оборота пласта подрезной нож нужно расположить так, чтобы конец его совпадал с точкой O , являющейся осью вращения пласта (рис. 3, а). В этом случае ширина борозды будет соответствовать спроектированной поверхности.

Если подрезной нож расположить под углом $\lambda < \lambda_0$ (рис. 3, в), где λ_0 – угол наклона ножа, при котором его плоскость проходит через ось поворота пласта, то он фактически перестает выполнять свою роль. Ведь поверхность спроектирована так, чтобы пласт оборачивался вокруг оси O , а вблизи этой оси пласт не подрезается. Под воздействием рабочей поверхности пласт принудительно поворачивается вокруг оси O , изгибая и надламывая не надрезанную часть. Если подрезной нож расположить под углом $\lambda > \lambda_0$ (рис. 3, г), то ширина пласта также уменьшится, что в целом соответствует полученным данным [22].

И в первом и во втором случаях ширина борозды будет уменьшаться, за счет «надвигания» пласта. Под понятием надвигание пласта будем подразумевать размещение части пласта над бороздой. Такое явление будет происходить из-за наличия следующих факторов:

1. Высота подрезающей части лопатки фрезы недостаточна для полного подрезания пласта (конец подрезного ножа не совпадает с осью O оборота пласта).

2. Направляющая винтовой поверхности отклонена влево по направлению движения от продольной плоскости.

Рассмотрим обоснование выбора угла λ наклона подрезающей части лопатки (рис. 3). Очевидно, что угол λ для конкретной рабочей поверхности с заданной шириной борозды b не может выбираться произвольно, даже для условия, когда кромка ножа совпадает с осью O . При малом угле λ , лезвие лемеха ножа окажется слишком коротким. При $\lambda = 90^\circ$ сечение борозды приближается к прямоугольнику, что, как было сказано выше, также нецелесообразно. Следовательно, угол λ должен быть выбран из некоторых других соображений. В качестве основных, можно принять следующие факторы:

1. *Угол ψ разрушения почвы при внедрении в нее клина.* Технологический эффект работы клина, т.е. производимая им деформация пласта, не зависит от направления движения и сохраняется неизменной как при движении клина перпендикулярно лезвию, так и при движении под углом $\gamma_0 < 90^\circ$. Тогда, применительно к плужному корпусу лопатки-ножа почвенной фрезы, в поперечном сечении, проходящем через конец лемеха, можно условно рассматривать прямой криволинейный клин с углом резания β_0 (рис. 3, д). При движении такого клина происходит скалывание почвы под углом $\psi \cong 45^\circ\div 50^\circ$. Значит, для облегчения процесса подрезания пласта угол λ наклона подрезного ножа должен приближаться к углу ψ , т.е. $\lambda \cong \psi \cong 45^\circ\div 50^\circ$.

2. *Оптимальное сочетание ножевой и лемеховой части лопатки почвенной фрезы.*

Чтобы ножевая часть была прочной, ее длина должна быть минимальной. Минимальная длина возможна при $\lambda = 90^\circ$, но тогда форма сечения борозды получается нерациональной. При λ существенно больше 45° длина ножевой части возрастает. Значит, из соображений прочности также наиболее рационально принять $\lambda = 45^\circ$.

3. *Угол естественного откоса.* Чтобы стенки борозды не осыпались, необходимо угол λ наклона фрезы и ее рабочих лопаток выбрать не более угла естественного откоса. Угол естественного откоса для различных почв колеблется в пределах от 35 до 50° .



Рис. 4. Разновидности рабочих ножей-лопаток, серийно выпускаемые промышленностью:

Слева направо в виде лепестков (TPF-1N Anschi); прямоугольные (TT26 от ООО ТД Форвардер); несимметричная трапеция (Bracke t21.b); симметричная трапеция (Bracke Forest t26.b)

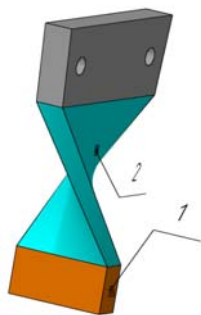


Рис. 5. Режущая лопатка почвенной фрезы:
1 – ножевая часть; 2 – лемеховая часть

Следует отметить, что из-за необходимости закладывать борозды различной глубины, форма сечения борозды в виде правильной трапеции не всегда реализуема. Если высота подрезного ножа выбрана так, что при работе на глубине a_1 точка M ножа совпадала с поверхностью поля и проходила через ось оборота пласта O , то сечение пласта борозды получается трапециевидным (рис. 3, б). Если обработка идет на глубину $a_2 > a_1$, то точка M не будет совпадать с поверхностью поля. В этом случае сечение борозды получается в виде $OMABC$. Поскольку при работе реальная глубина борозды будет постоянно меняться и зависеть от множества факторов (наличие пней, местных неровностей почвы), конец ножа не только не совпадает с осью оборота пласта O , но и плоскость ножа также не проходит через ось O . Следовательно, ножевая часть лопатки подрезает лишь часть высоты пласта. За счет того, что некоторая высота пласта остается не подрезанной, образуется надвиг пласта, благодаря которому уменьшается расчетная ширина борозды. Избежать этот недостаток можно правильным

выбором положения оси O поворота пласта при заданных ширине пласта b , ширине по дну борозды b_1 , угле λ , а также наибольшей и наименьшей расчетной глубине борозды $a_{\max}$ и $a_{\min}$.

На рис. 6 показана форма сечения борозды. Расстояние от левой грани борозды до оси O оборота пласта, в соответствии с рисунком 6а, будем принимать из выражения:

$$b_0 = b + (3-6) \text{ см}, \quad (4)$$

где b – расчетная ширина борозды.

На рис. 6, б показано сечение борозды с учетом надвига пласта. Величина 3–6 см позволит избежать уменьшения расчетной ширины борозды за счет надвига пласта, который будет наблюдаться из-за необходимости работать на различной глубине.

Таким образом, на основании проведенного анализа угол наклона λ целесообразно принимать равным $45^\circ \div 50^\circ$. При этом высота ножевой части лопатки t по вертикали не должна превышать $t = \Delta b \leq a_{\min}$. При проектировании рабочей поверхности ось оборота пласта должна быть сдвинута от конца подрезного ножа лемеха на 3–6 см.

Рассмотрим вопрос установки угла ϵ направления лопатки дискового почвенного рыхлителя ко дну борозды. Рядом исследователей [18–21] величина угла рекомендована в пределах $20 \dots 30^\circ$. Однако проводившиеся исследования касались в основном изучения влияния его на тяговое сопротивление. Важное значение представляет вопрос о необходимости изменения угла ϵ с точки зрения кинематики оборота пласта. Рассмотрим влияние угла ϵ на кинематику пласта. Принимаем условие наличия плоского клина (рис. 7).

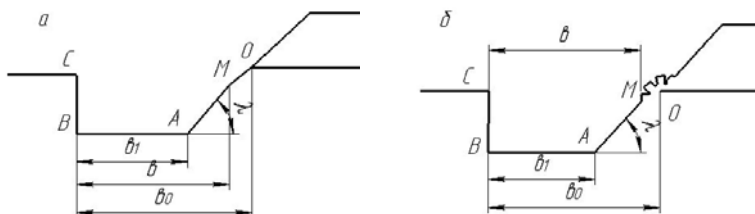


Рис. 6. Форма сечения борозды

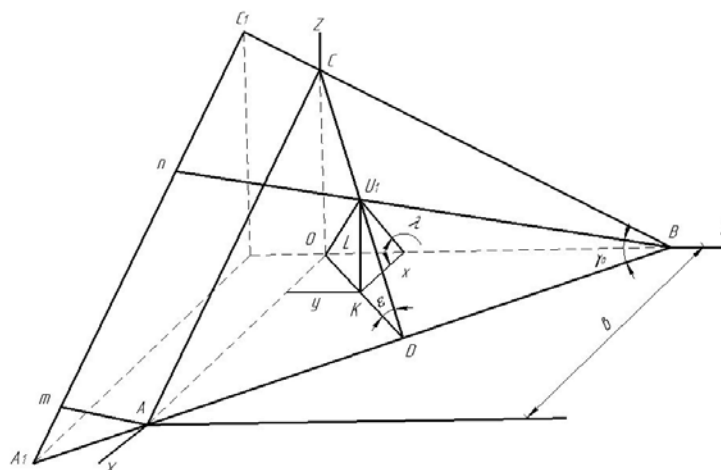


Рис. 7. Схема движения пласта по косому клину

Ось Y направим по направлению движения, ось X поперек движения, а ось Z вертикально вверх. Пусть точка B клина в первый период движения совпадает с началом координат O и, двигаясь с постоянной скоростью v , проходит путь $OB = vt$. За это время точка O , принадлежащая пласту, переместится в точку O_1 . При условии перемещения пласта без его сжатия-уплотнения, без учета трения, то $OB = O_1B$, $OD = O_1D$. Следовательно, точка O_1 лежит в плоскости COD , перпендикулярной лезвию клина AB . При этом, по отношению к лезвию относительная траектория точки O_1 отклонена на угол γ_0 . Уравнения движения точки O_1 пласта можно записать в виде:

$$x = OB \sin \gamma_0 \cos \gamma_0 (1 - \cos \varepsilon), \quad (5)$$

$$y = OB \sin^2 \gamma_0 (1 - \cos \varepsilon), \quad (6)$$

$$z = OB \sin \gamma_0 \sin \varepsilon. \quad (7)$$

Исключая константы из уравнений движения, получим траекторию движения точки O_1 пласта:

$$\frac{x}{\cos \gamma_0 (1 - \cos \varepsilon)} = \frac{y}{\sin \gamma_0 (1 - \cos \varepsilon)} = \frac{z}{\sin \varepsilon}. \quad (8)$$

При изучении кинематики пласта возникает необходимость ограничить его перемещение по какому-либо направлению координатных осей. Для работы дискового рыхлителя требуется уменьшить боковое смещение. Рассмотрим полученные уравнения для выбора параметров, обеспечивающих минимальное смещение пласта. Предварительно определим кинематику точки A пласта, отстоящую от точки B на расстоянии b (ширина пласта) по оси X . Так как лезвие расположено под углом γ_0 к стенке борозды, то точка A пласта коснется лезвия клина тогда, когда он пройдет расстояние:

$$OB = vt = \frac{b}{\operatorname{tg} \gamma_0}. \quad (9)$$

До того, как точка A встретится с лезвием клина, движение пласта определяется геометрическими соотношениями без учета действующих сил. При даль-

нейшем движении, когда пласт, поднимаясь по клину, теряет связь с поверхностью, при этом большее влияние начинает оказывать действие силы тяжести, и пласт будет стремиться сдвинуться в сторону, а траектория – изогнуться. Это справедливо для несвязанного пласта (например, при обработке несвязанных грунтов). Для случая связанного пласта, характерного для работы в лесных условиях, действием силы тяжести можно пренебречь, поскольку дерн, имеющийся в составе пласта, будет играть роль арматуры, препятствующей изгибу пласта. Следовательно, точка B пласта в своем относительном движении будет продолжать двигаться по линии B_n , а точка A – по линии A_m . Значит, рассматривая движение связанного пласта, можно считать, что движение точки A подчинено тем же закономерностям, что и точки B . Следовательно, полученные уравнения справедливы и для точки A .

Выясним характер изменения параметра бокового смещения (абсциссы x) в зависимости от изменения угла ε . Важно также установить зависимость $z = f(\varepsilon)$, характеризующую подъем пласта, а также $\operatorname{tg} \lambda = f(\varepsilon)$, характеризующую тангенс угла наклона траектории в плоскости бокового смещения (поперечно-вертикальная плоскость). На рисунке 8 приведены графики, показывающие влияние параметров изменения косоугольного клина на кинематику пласта.

График (рис. 8, а) зависимости $x = f(\varepsilon)$ получен путем подстановки различных значений углов ε в уравнение (5). График показывает, что с увеличением ε от 0 до 90° величина x растет, достигая наибольшего значения при $\varepsilon = 90^\circ$. Из графика $z = f(\varepsilon)$ (рис. 8, б) следует, что с увеличением ε высота подъема пласта увеличивается. Для построения графика $\operatorname{tg} \lambda = f(\varepsilon)$ возьмем отношение:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{z}{x} = \frac{\operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}}{\cos \gamma_0}. \quad (10)$$

Из графика $\operatorname{tg} \lambda = f(\varepsilon)$ видно (рис. 8, в), что наибольшее значение $\operatorname{tg} \lambda$, соответствующее минимальному боковому смещению пласта имеет место при $\varepsilon \rightarrow 0$.

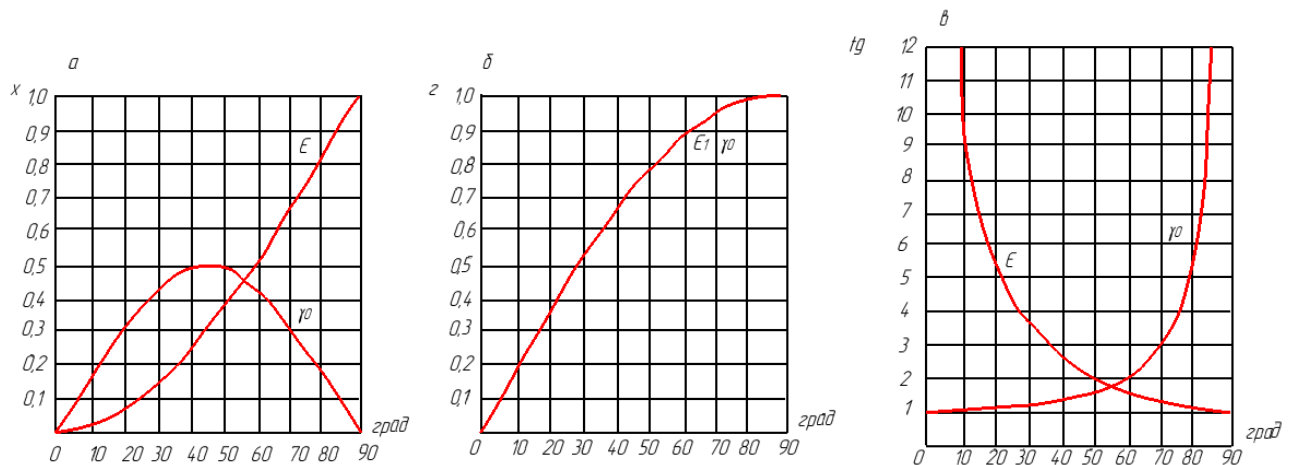


Рис. 8. Графики, показывающие влияние параметров изменения косоугольного клина на кинематику пласта

Таким образом, установлено влияние угла ϵ на кинематику пласта. Пласт под воздействием плоского трехгранного клина смещается в сторону. Для уменьшения бокового смещения пласта нужно стремиться к уменьшению угла ϵ . Для точки B пласта допустимо боковое смещение, так как для нее оно сопровождается подъемом и в общем не оказывает существенного влияния на кинематику пласта. Поэтому угол ϵ_H может быть выбран исходя из минимального тягового сопротивления. Для точки A боковой сдвиг и подъем пласта весьма нежелательны, так как в этом случае кинематика пласта в значительной мере отличается от теоретической. Так как пласт у точки A связан с массивом грунта, то подъем его, осуществляемый без оборота, вызывает смятие части пласта и, как следствие, повышенное давление на отвал. Угол ϵ должен быть переменным по длине лемеховой части лопатки, уменьшаясь от ножевой части к его точкам закрепления лопатки к диску почвенной фрезы. Из конструктивных соображений угол ϵ_K следует выбирать в пределах $\epsilon_K = 10 \div 15^\circ$. Угол ϵ_H следует выбирать, исходя из наименьшего тягового сопротивления в пределах $\epsilon_H = 25 \div 30^\circ$. Уменьшение угла ϵ_K препятствует сползанию и обеспечивает удержание пласта на отвальной поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Российская Федерация обладает значительными лесными ресурсами. Современные технологии лесовосстановления основываются на применении перспективного высокопроизводительного оборудования. К такому оборудованию относятся рыхлители с дисковыми рабочими органами, в конструкции которых применяются как пассивные, так и активные рабочие органы. На эффективность работы такого оборудования оказывает влияние целый ряд факторов. В процессе исследований были установлены определённые закономерности, влияющие на кинематические соотношения в процессе обработки лесных почв дисковыми рыхлителями. Был определен характер движения пласта по поверхности рабочего органа дискового рыхлителя. На основании анализа процесса образования борозд при обработке почвы дисковым рыхлителем, рекомендуются следующие параметры рабочего органа: трапециевидное сечение борозды с углами наклона образующих 45° ; угол наклона лемешной части рабочей лопатки-ножа дискового рабочего органа должен уменьшаться от носка ножа к его тыльной поверхности (кропящейся к диску). Угол ϵ_K должен составлять $10 \div 15^\circ$, ϵ_H принимается в диапазоне $25 \div 30^\circ$. Уменьшение угла ϵ_K препятствует сползанию и обеспечивает удержание пласта на отвальной поверхности.

Материалы исследований могут быть использованы при проектировании и усовершенствовании лесных рыхлителей с дисковыми рабочими органами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 312-р от 11.02.2021 г. «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» [Электронный ресурс] URL: <http://www.consul->

tant.ru/document/cons_doc_LAW_377162/ (дата обращения: 01.03.2021).

2. Писаренко А.И., Мерзленко М.Д. Создание искусственных лесов. Москва : Агропромиздат, 1990. 270 с.

3. Калинин Н.П., Писаренко А.И., Смирнов Н.А. Лесовосстановление на вырубках. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Экология, 1991. 384 с.

4. Волков А.Д. Рубки главного пользования и меры содействия естественному лесовосстановлению в лесах Республики Карелия. Нормативные материалы. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 1998. 58 с.

5. Мелехов И.С. Лесоводство. 2-е изд. доп. испр. Москва : МГУЛ, 2002. 320 с.

6. Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2006. 215 с.

7. Коршун В. Н. Роторные рабочие органы лесохозяйственных машин: концепция конструирования : монография / М-во образования Рос. Федерации. Сиб. гос. технол. ун-т. Красноярск, 2003. 228 с.

8. Шварц Н. Bracke Forest: лесовосстановление с эффективностью до 100 % ЛПК Сибири № 4 2017 [Электронный ресурс] URL: <https://lpc-sibiri.ru/forest-management/forest-restoration/bracke-forest-lesovosstanovlenie-s-effektivnost-do-100> (дата обращения: 10.03.2022).

9. Rusu T. (2014): Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. International Soil and Water Conservation Research, 2: 42–49.

10. Hamzei J., Seyyedi M. (2016): Energy use and input-output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. Soil and Tillage Research, 157: 73–82.

11. Дисковый рыхлитель [Электронный ресурс]. <http://xn--80adbjdausesdfbc3bdas.xn--p1ai/pdf/brochures/T21.pdf> (дата обращения: 10.03.2022).

12. Дисковый рыхлитель [Электронный ресурс] <http://www.brackeforest.com/app/projects/brackeAllNew/images/T26aRUWeb.pdf> (дата обращения: 10.03.2022).

13. Перспективные конструкции лесных дисковых рыхлителей / М.Л. Шабанов, М.Н. Лысыч, Р.В. Иконников // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 12-1. С. 92–97.

14. Кузнецов Е. В. Обоснование и выбор параметров двигателя и трансмиссии пахотного гусеничного трактора тягового класса 30 кН : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Могилев : ММИ, 1994. 25 с.

15. Зеленин А. Н. Физические основы теории рыхления грунтов. М. : АН СССР, 1950. 187 с.

16. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. М. : Машиностроение, 1968. 198 с.

17. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. М. : Высш. шк., 1981. 336 с.

18. Ветров Ю. А. Расчеты сил резания и копания грунтов. Киев : Изд-во Киевского ун-та, 1965. 123 с.

19. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Иконников Р.В. Исследование рабочего процесса лесного дискового

рыхлителя с использованием средств САПР // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 12-2. С. 263–268

20. Коротких В.Н. Обоснование параметров комбинированного рабочего органа активного действия лесного дискового плуга: диссертация ... кандидата технических наук: 05.21.01 Воронеж, 2010. 191 с.

21. Лисютин В.П. Исследование работы и обоснование основных конструктивных параметров подрезного ножа и крыла отвала лесного плуга : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1961. 20 с.

REFERENCES

1. Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii № 312-r ot 11.02.2021 g. «Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda» [Elektronnyy resurs] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377162/ (data obrashcheniya: 01.03.2021).

2. Pisarenko A.I., Merzlenko M.D. Sozdaniye iskusstvennykh lesov. Moskva : Agropromizdat, 1990. 270 s.

3. Kalinichenko N.P., Pisarenko A.I., Smirnov N.A. Lesovosstanovleniye na vyrubkakh. 2-e izd., pererab. i dop. Moskva : Ekologiya, 1991. 384 s.

4. Volkov A.D. Rubki glavnogo pol'zovaniya i mery sodeystviya estestvennomu lesovosstanovleniyu v lesakh Respubliki Kareliya. Normativnyye materialy. Petrozavodsk : Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 1998. 58 s.

5. Melekhov I.S. Lesovodstvo. 2-e izd. dop. ispr. Moskva : MGUL, 2002. 320 s.

6. Sokolov A.I. Lesovosstanovleniye na vyrubkakh Severo-Zapada Rossii. Petrozavodsk : Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2006. 215 s.

7. Korsh-chn V. N. Rotornyye rabochiye organy lesokhozyaystvennykh mashin: kontseptsiya konstruirovaniya : monografiya / M-vo obrazovaniya Ros. Federatsii. Sib. gos. tekhnol. un-t. Krasnoyarsk, 2003. 228 s.

8. Shvarts N. Bracke Forest: lesovosstanovleniye s effektivnost' do 100 % LPK Sibiri № 4 2017 [Elektronnyy resurs] URL: <https://lpk-sibiri.ru/forest-management/forest-restoration/bracke-forest-lesovosstanovlenie-s-effektivnost-do-100> (data obrashcheniya: 10.03.2022).

9. Rusu T. (2014): Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-

tillage. In-ternational Soil and Water Conservation Research, 2: 42–49.

10. Hamzei J., Seyyedi M. (2016): Energy use and input–output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. Soil and Tillage Research, 157: 73–82.

11. Diskovyy rykhritel' [Elektronnyy resurs]. <http://xn--80adbjdausesdfbc3bdas.xn--p1ai/pdf/brochures/T21.pdf> (data obrashcheniya: 10.03.2022)

12. Diskovyy rykhritel' [Elektronnyy resurs] <http://www.brackeforest.com/app/projects/brackeAllNew/images/T26aRUWeb.pdf> (data obrashcheniya: 10.03.2022).

13. Perspektivnyye konstruksii lesnykh diskovykh rykhliteley / M.L. Shabanov, M.N. Lysych, R.V. Ikonnikov // Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. 2016. № 12-1. S. 92–97.

14. Kuznetsov E. V. Obosnovaniye i vybor parametrov dvigatelya i transmissii pakhotnogo gusenichnogo traktora tyagovogo klassa 30 kN : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Mogilev : MMI, 1994. 25 s.

15. Zelenin A. N. Fizicheskiye osnovy teorii rezaniya gruntov. M. : AN SSSR, 1950. 187 s.

16. Zelenin A. N. Osnovy razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami. M. : Mashinostroyeniye, 1968. 198 s.

17. Balovnev V. I. Modelirovaniye protsessov vzaimodeystviya so sredoy rabochikh organov dorozhnostroitel'nykh mashin. M. : Vyssh. shk., 1981. 336 s.

18. Vetrov Yu. A. Raschety sil rezaniya i kopaniya gruntov. Kiyev : Izd-vo Kiyevskogo un-ta, 1965. 123 s.

19. Lysych M.N., Shabanov M.L., Ikonnikov R.V. Issledovaniye rabochego protsessa lesnogo diskovogo rykhlitelya s ispol'zovaniyem sredstv SAPR // Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. 2016. № 12-2. S. 263–268

20. Korotkikh V.N. Obosnovaniye parametrov kombinirovannogo rabochego organa aktivnogo deystviya lesnogo diskovogo pluga: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.21.01 Voronezh, 2010. 191 s.

21. Lisutun V.P. Issledovaniye raboty i obosnovaniye osnovnykh konstruktivnykh parametrov подрезного ножа и крыла отвала лесного плуга : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1961. 20 с.

© Долматов С. Н., Сухенко Н. В., 2022

Поступила в редакцию 15.05.2022

Принята к печати 10.11.2022