
С. К. МАСЮК,
доцент, кандидат технических наук

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЛЕСОПОСАДОЧНЫХ МАШИН ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПОСАДОЧНОЙ ЩЕЛИ ПРИ РАБОТЕ НА НЕРАСКОРЧЕВАННЫХ ЛЕСОСЕКАХ

Процесс образования посадочной щели при работе лесопосадочных машин является одним из основных, определяющих работоспособность машины. Наличие на лесосеке пней и частично подлеска, а в обрабатываемом горизонте корней, в значительной степени затрудняет образование посадочной щели. Рассмотрим основные типы рабочих органов, применяющихся для образования посадочной щели.

В лесопосадочных машинах, имеющих на вооружении лесхозов, применяются в основном коробчатый или дисковый сошник, состоящий из двух сферических дисков, установленных под углом. В том случае, когда лесопосадочная машина предназначается для посадки в необработанную почву, впереди сошника устанавливают два ножа—дисковый, который разрезает дернину на глубину до 10 см, и за ним черенковый, углубляющий щель до 30 см, установка которого впереди сошника производится с целью защиты сошника от деформации.

На рис. 18 показаны варианты постановки черенкового ножа впереди сошника. При установке его вертикально (рис. 1б) нож действует на корни со значительной силой R , направленной горизонтально. Следует отметить, что черенковые ножи изготавливаются толстыми для обеспечения прочности их, что приводит к увеличению усилия, необходимого для перерезания корней, вследствие чего черенковые ножи, установленные вертикально, при встрече с корнями не перерезают, а должны выкорчевать их.

Возьмем точку p на лезвии ножа (рис. 1а), погруженную в почву, и некоторое препятствие m , соприкасающееся с точкой p на лезвии. Нож движется в почве с постоянной скоростью v_n . Давление точки p и силы трения лезвия по частице почвы дают силу R , отклоненную от нормали pn , к лезвию AC в сторону

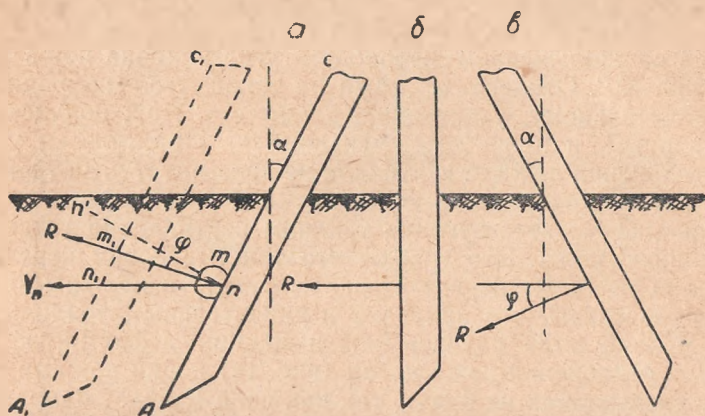


Рис. 18.

скорости на угол трения φ . До момента разрушения корень m должен перемещаться по направлению силы R . За этот период лезвие ножа переместится из положения AC в положение $A_1C_1 \parallel AC$. Точка p переместится в положение p_1 , а корень m в положение m_1 , пройдя по направлению силы R путь mm_1 , и по лезвию—путь p_1 к точке m_1 .

При этом можно записать, что

$$\frac{p_1n_1}{m_1m} = \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \alpha}. \quad (1)$$

Из этого соотношения видно, что с увеличением угла α , образуемого лезвием с нормалью к направлению его скорости, знаменатель дроби уменьшается, т. е. увеличивается коэффициент скольжения корней и почвы по лезвию.

Если $\alpha < \varphi$, то R отклонится от нормали к лезвию лишь до совпадения со скоростью v_n , т. е. на угол α ,

и частица m будет двигаться по направлению скорости точки n , скольжение лезвия по разрезаемому материалу будет отсутствовать. Угол трения разрезаемых материалов по лезвию φ достигает значительной величины. Так, по данным кандидата технических наук А. Т. Вагина, угол трения древесины, в зависимости от затупления ножа, колеблется в пределах $20-40^\circ$.

Следовательно, для обеспечения процесса резания корней со скольжением необходим угол наклона ножа $\alpha = 50-60^\circ$. Отклонение ножа на такой угол приводит к значительному увеличению длины его. Нож получается длинным и прочность уменьшается. Практически угол отклонения ножа от вертикали не превышает угла трения, и процесс разрезания корней отклоненным ножом имеет усилия, соответствующие усилиям вертикально установленного ножа. Это значит, что толстые корни черенковыми ножами перерезаться не будут, а должны быть выкорчеваны, что приводит к значительным усилиям, и в большинстве случаев нож и сошник деформируются. При отклонении ножа назад (рис. 1в) корни ножами выкорчевываться не будут, так как сила R будет направлена горизонтально или отклонена вниз на угол α - т. е. если корень не будет перерезан, то вся машина должна быть выглублена и давление на нож значительно увеличивается.

Из сказанного следует, что коробчатый и дисковый сошники, даже при установке впереди их черенковых ножей, не могут работать на лесосеках без раскорчевки пней и вычесывания корней на глубину $25-30$ см. Поэтому для работы лесопосадочных машин на нераскорчеванных и частично раскорчеванных лесосеках должны быть созданы новые сошники, принципиально отличные от имеющихся, с учетом всех особенностей лесной лесорастительной зоны.

В качестве рабочего органа лесопосадочной машины для образования посадочной щели на частично раскорчеванных или нераскорчеванных лесосеках могут быть использованы два плоских диска, установленных параллельно на некотором расстоянии друг от друга так, чтобы имелась возможность изменять расстояние между ними, чем будет обеспечиваться изменение ширины ее (рис. 19).

Такой рабочий орган будет образовывать посадочную щель путем отрыва почвы, заключенной между дисками, от материка по горизонтальной поверхности на уровне

опорных диаметров дисков. Почва, оторванная и поднятая дисками, выжимается толкателем в верхней части дисков и по отвалу может направляться на берму посадочной щели.

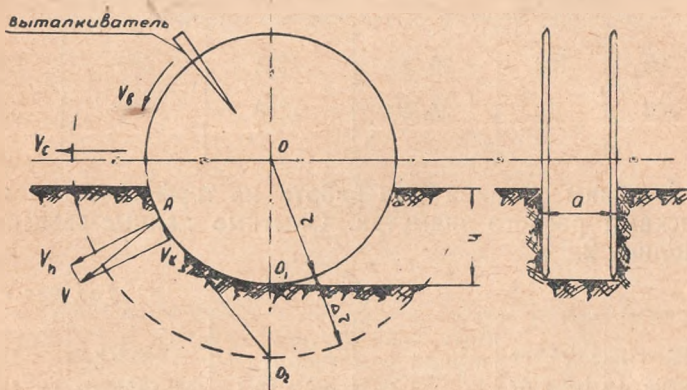


Рис. 19.

Рассмотрим кинематику движения дисков в почве и установим силы, действующие на рабочий орган. Качение диска в почве можно представить как вращение его вокруг мгновенного центра вращения, положение которого определяется соотношением поступательной скорости V_c центра диска и линейной скорости V_b при вращении диска вокруг его геометрического центра. Если $V_b = V_c$, то диск катится без скольжения и буксования и, мгновенный центр вращения находится на нижнем конце вертикального диаметра O_1 (рис. 20).

Кандидат технических наук Г. Н. Синеоков провел опыты в почвенном канале ВИСХОМ с целью определения величины поступательного перемещения диска за один оборот при работе на минеральных почвах. Результаты опытов приведены в таблице 1.

Из приведенных данных следует, что при работе диска в минеральной почве центр мгновенного вращения лежит ниже конца опорного диаметра O_1 и диск катится со скольжением.

Автором проведены опыты по определению поступательного перемещения диска за один оборот в зависимости

Таблица 1

Диаметр диска в мм	Глубина хода в мм	Путь пройденный диском за 20 оборотов в м	Путь, пройденный диском за 1 оборот в мм	Диаметр фиктивного диска в мм	Коэффициент скольжения в %
300	100	25,08	1254	389	5,1
380	65	25,16	1258	400	5,4

от глубины резания при работе на торфяных почвах с дисками разного диаметра. Опытные данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Диаметр диска в мм	Глубина резания в см	Путь, пройденный диском за 20 оборотов в м	Путь, пройденный диском за 1 оборот в мм	Диаметр фиктивного диска в мм	Коэффициент скольжения в %
380	6	25,6	1278	406	6,42
380	10	25,8	1290	411	7,55
380	13	26,6	1330	424	10,30
420	6	27,8	1390	442	5,00
420	10	28,5	1425	452	7,18
420	15	29,7	1485	472	11,08
800	6	52,8	2640	841	4,92
800	17	54,6	2730	862	7,18
800	23	55,4	2770	881	9,17
800	28	58,3	2915	928	13,81
800	32	61,0	3050	968	17,41

Из таблицы видно, что с увеличением глубины хода диска коэффициент скольжения возрастает, и мгновенный центр вращения будет находиться в точке O_2 (рис. 20). Коэффициент скольжения определяется по уравнению:

$$\varepsilon = \frac{\Delta r}{r + \Delta r}, \quad (2)$$

где r — радиус диска;
 $r + \Delta r$ — радиус фиктивного диска, катящегося без скольжения и буксования;

Δr —расстояние мгновенного центра вращения O_2 от нижнего конца O_1 опорного диаметра.

Полная скорость v точки A направлена перпендикулярно прямой, соединяющей мгновенный центр вращения O_2 с точкой A (рис 20). Направление полной скорости с нормалью к лезвию диска составляет угол α поэтому

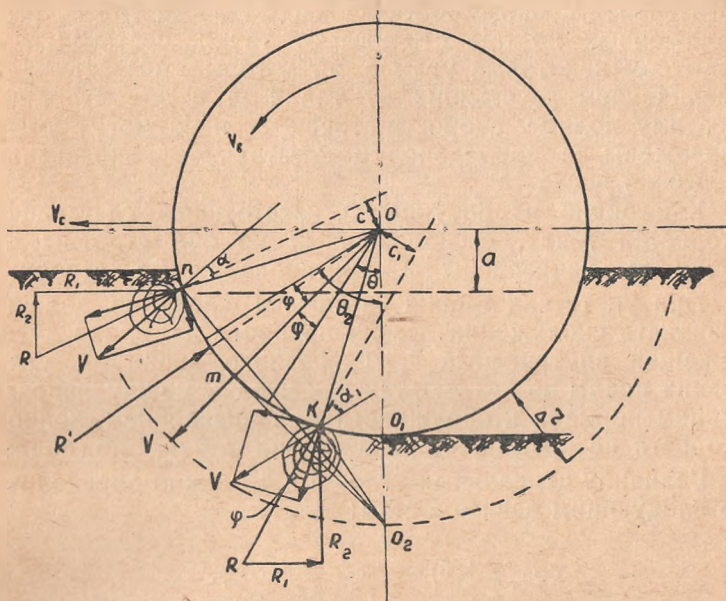


Рис. 20.

ее можно разложить на составляющие v_n —нормальную и v_k —касательную к лезвию диска. Составляющая v_k показывает скорость скольжения лезвия по разрезаемому материалу без учета сил трения. Однако процесс резания со скольжением будет в том случае, если направление полной скорости с нормалью составит угол α больше угла трения ϕ разрезаемого материала по лезвию. При $\alpha > \phi$ давление лезвия диска на почву отклонится от нормали на угол трения ϕ и с направлением полной скорости v образует угол $\alpha - \phi$. Если угол α между направлением нормали к окружности и направлением

полной скорости не превышает угла трения φ лезвия по разрезаемому материалу, то давление точки лезвия на почву будет совпадать с направлением полной скорости.

Диск катится со скольжением, однако точка m на лезвии диска не скользит по почве и разрезает почву по направлению своей полной скорости v (рис. 20), так как радиусом— вектором для этой точки является касательная к окружности диска. Скорости точек, расположенных по обе стороны от точки, составляют с радиусом некоторые углы α, α_1 , которые возрастают с увеличением расстояния от точки m в обе стороны. Поэтому полные скорости точек p и k могут быть разложены на нормальное и касательное направления к лезвию диска.

Как видно из рисунка 20, касательные составляющие скоростей точек, расположенных по обе стороны от точки m , направлены в противоположные стороны.

При учете сил трения на лезвии диска не должно возникать скольжения лезвия по почве на длине дуги, лежащей внутри угла $\theta_2 - \theta$, равного двойному углу трения почвы по лезвию, так как угол α между направлением нормали к окружности и направлением полной скорости не превышает угла трения лезвия по почве.

Величину центральных углов θ и θ_2 можно определить по следующим зависимостям:

$$\cos(\varphi + \theta) = \frac{r}{r + \Delta r} \cos \varphi.$$

$$\cos(\theta_2 - \varphi) = \frac{r}{r + \Delta r} \cos \varphi, \quad (3)$$

$$\theta_2 - \theta = 2\varphi$$

При качении дисков в почве на них будет действовать реактивное сопротивление, состоящее из сопротивления почвы разрушению лезвиями и силы трения на боковых поверхностях. Вместе с этим имеется сила трения в подшипниках, которую в наших расчетах мы опустим по ее малости, при наличии соответствующего ухода за подшипниками.

Реактивные сопротивления на лезвии дисков зависят от свойств разрезаемой почвы, а также от степени затупления лезвия дисков. Однако основным фактором, влияющим на величину реактивных сил, является сам процесс резания лезвием, т. е. резание со скольжением или без скольжения. В связи с тем, что реактивное сопротивление на лезвии диска зависит от процесса резания почвы лезвием, необходимо учитывать реактивное сопротивление на лезвии для каждой из областей (рис. 20).

Рассмотрим схему сил, действующую на диск при встрече его с корнями древесных пород, требующими для перерезания больших усилий, чем почва. При встрече точки (п или к, рис. 20) лезвия диска с корнем основная часть усилий, действующих на диск, сосредоточится в данной точке (п или к). Поскольку эти точки движутся по разрезаемому материалу со скольжением, то реактивная сила R , действующая со стороны корня, будет отклонена от нормали на угол трения φ . Силу R можно разложить на горизонтальную R_1 и вертикальную R_2 составляющие. Вертикальная составляющая R_2 реактивной силы R будет стремиться приподнять диск и выглубить его из почвы, чему препятствует его вес. Однако при толстых корнях величина силы R оказывается больше веса, приходящегося на диск, и диск выглубляется. Горизонтальная составляющая R_2 будет создавать момент, который стремится повернуть диск по направлению его вращения, чем будет облегчаться перекатывание диска через неперерезанный корень.

Аналогичное действие сил будет и на участке лезвия в пределах угла $\Theta, -\Theta$, но величина реактивной силы будет больше R , так как процесс резания лезвием будет происходить без скольжения.

При движении дисков все точки зоны АВС (рис. 21) стремятся увлечь зажатую между ними почву, чему препятствует расположенная ниже почва, в результате чего частицы ее в АВС скользят относительно дисков в направлениях, перпендикулярных радиусу вектора O_2D и вызывают элементарные силы трения dF . Равнодействующая этих элементарных сил определяется векторным равенством: $\vec{F} = \sum d\vec{F}$ Величина ее может быть приближенно определена из уравнения:

$$F = 2 S q_1 \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

где S —площадь участка диска ABC в см²;
 g_1 —удельное давление в кг/см²;
 $\text{tg } \varphi$ —коэффициент трения почвы о сталь.

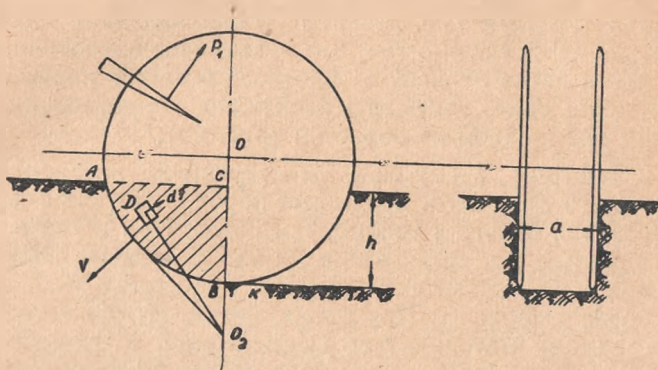


Рис. 21.

Почва, заключенная между дисками, испытывает боковое сжатие от обоих дисков и, отрывается от материка по горизонтальной плоскости непосредственно вблизи нижней точки В. Площадь отрыва $S_1=ab$, где $b=BK$ и по данным опыта составляет примерно 3 см, a —ширина щели.

Поднятая дисками почва будет встречаться с выталкивателем, который выжимает ее из дисков, т. е. реактивная сила P_1 на выталкивателе будет равна силе трения почвы о диски $P_1=F$.

При таком способе образования посадочной щели ширина ее будет зависеть от толщины дисков и категории почвы. На связных почвах при одной и той же толщине дисков и глубине их хода максимально возможная ширина полученной щели будет больше, чем на песчаных почвах. По данным доктора технических наук А. Н. Зеленина, для сухого просеянного песка отношение ширины щели к ее глубине составляет 0,4, для того же песка влажностью 15% это отношение составляет 0,6 при толщине дисков 7 мм. Для связных почв отношение $\frac{a}{h}$ достигает 1, а в некоторых случаях даже 1,25.

Из приведенных данных видно, что минимальная ши-

рина посадочной щели на таких песках составит $a=12$ см при глубине щели $h=30$ см.

Глубина посадочной щели в 30 см не всегда необходима. В условиях БССР для посадки двухлетних сеянцев вполне достаточна глубина щели 26—28 см, что на песчаной почве с влажностью 15% обеспечит ширину щели до 16 см. Однако даже для посадки ели ширина щели может быть в пределах 10—12 см. При увеличении ширины посадочной щели будут ухудшаться условия зажатия посаженных сеянцев, из-за чего уменьшится процент приживаемости их.

Большим преимуществом такого рабочего органа является то, что никаких остановок и поломок машины из-за наличия в почве корней различного диаметра не будет. Тонкие корни (до 6 см) будут легко перерезаться лезвиями дисков, а при встрече с толстыми корнями диски будут перекашиваться через них, что видно из рассмотренной выше схемы действия сил на лезвии диска при качении его со скольжением в разных почвенных условиях.

Минимальный диаметр дисков выбирается в соответствии с заданной глубиной обработки почвы (глубиной посадочной щели) по формуле:

$$D = 2(h + \Delta h) + d, \quad (5)$$

где h —глубина посадочной щели в мм;

Δh —зазор между фланцем и поверхностью поля в мм;

d —диаметр фланца в мм.

Соотношение между диаметром диска и его толщиной определяется по эмпирической зависимости:

$$S \approx 0,01 D \text{ мм.}$$

Для осуществления нормальной посадки основных древесных пород щель должна иметь ширину—10 см и глубину—28—30 см. Это значит, что диаметр дисков, определенный по формуле (5), составит 800—850 мм, а толщина его будет 8 мм, что обеспечит необходимое зажатие почвы дисками и подъем ее при работе на песчаных почвах. Для изготовления такого рабочего органа могут быть использованы стандартные диски, применяющиеся на болотно-кустарниковых плугах ПКБ-2-54. На тяжелых и задернелых почвах необходимо будет увеличить ширину щели

для облегчения выталкивания почвы. Поэтому диски должны иметь возможность раздвигаться вдоль оси вращения.

Однако увеличение ширины посадочной щели на плотных почвах может привести к ухудшению качества заделки семян, так как зажимные устройства, деформируя

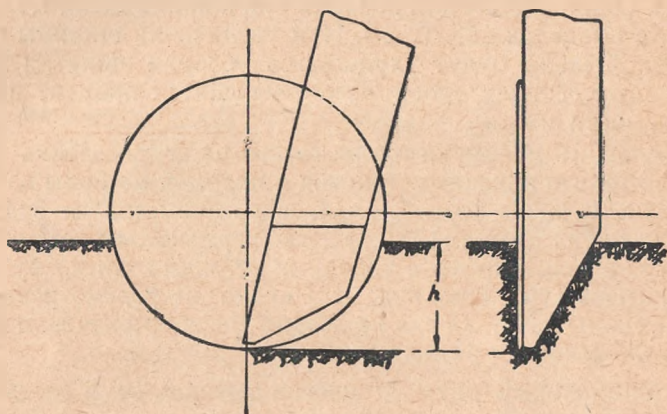


Рис. 22.

верхние кромки щели, не будут разрушать нижние стенки ее, в результате чего могут образоваться воздушные паузы на дне щели, что приведет к ухудшению условий приживаемости семян.

Поэтому на плотных почвах посадочная щель должна быть суженной книзу, как показано на рис. 22. Для образования такой щели может быть использован диск в сочетании с сошником специальной конструкции (рис. 22). Образование посадочной щели будет происходить за счет разреза почвы дисковым ножом в вертикальной плоскости и деформации ее клином в сторону, т. е. вместо второго диска в предыдущем рабочем органе должен быть установлен клин, размеры которого обеспечивали бы необходимую ширину щели в верхней ее части (не меньше 10 см).

Такой рабочий орган не будет иметь деформаций и поломок при встрече с корнями, так как тонкие корни будут легко перерезаться диском и отодвигаться сошником, а через толстые корни диск будет перекашиваться, как ука-

зывалось выше, т. е. сошник никогда не будет встречаться с неперерезанными корнями.

Предложенные варианты рабочего органа (два вертикальных плоских диска или диск с клином) для образования посадочной щели обеспечат работу лесопосадочной машины на участках с наличием корней в верхнем горизонте как на песчаных, так и на тяжелых почвах. Однако ограничиться применением на лесопосадочной машине только одного вида рабочего органа, состоящего из диска и клина, для разных почв невозможно, так как при образовании им посадочной щели на песчаных и супесчаных почвах с нарушенной структурой невозможно получить заданную глубину из-за осыпания верхних кромок ее. На этих почвах образование щели должно производиться двумя дисками способом отрыва ее от материка. После прохода рабочего органа почва из верхней части стенок частично осыпится на дно щели, чем будет исключено образование воздушных пазух после заделки семян.

Лесопосадочная машина, оборудованная такими рабочими органами, может обеспечить посадку лесных культур как по дну плужной борозды, так и в отваленные пласты. Если же свежая лесосека будет не задернелой, то в некоторых случаях, если это допустимо агротехнически, можно производить посадку по необработанной почве при раскорчевке лесосеки полосами, обеспечивающими проход трактора.

Необходимо отметить, что правильная посадка семян зависит не только от качества образованной щели, но и от правильной подачи семян в щель и зажатия их.