

КОМБИНИРОВАННЫЙ РЫХЛИТЕЛЬ ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ С ВНУТРИПОЧВЕННЫМ ВНЕСЕНИЕМ МУЛЬЧИ

COMBINED RIPPER FOR LAYER-BY-LAYER SOIL CULTIVATION WITH SUBSURFACE APPLICATION OF MULCH

НУРАЛИН Бекет, КУХТА Владимир, БАКУШЕВ Аскар, КУБАШЕВА Жанна
NURALIN Beket, KUKHTA Vladimir, BAKUSHEV Askar, KUBASHEVA Zhanna

Западно - Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана,
Политехнический факультет, Жангир Хана 51, Уральск, Казахстан

West Kazakhstan Agrarian Technical University, Polytechnic faculty, Zhangir Khan 51, Uralsk, Kazakhstan

Для корреспонденции, Corresponding author: Бакушев Аскар, bakushev_68@mail.ru

АННОТАЦИЯ

ABSTRACT

Обоснована конструктивная схема комбинированного рыхлителя для послойной обработки почвы с внутрипочвенным внесением удобрений, обеспечивающая сохранения каждого почвенного слоя на местах без перемешивания и исключая выталкивание не плодородных слоев из пахотного горизонта на поверхность поля, просыпание гумуса вниз, совмещающая операцию по локальному внесению удобрений с основной обработкой почвы. На основании экспериментальных исследований получены значения физических постоянных коэффициента Пуассона μ , модуля упругости E , модуля сдвига G для солонцового и подсолонцового горизонтов почвы. Получены математические зависимости тягового сопротивления вертикальных ножей от геометрических параметров и физико-механических свойств пахотного горизонта почвы и рыхлительной лапы в целом. Разработана конструкция устройства для внутрипочвенного внесения мульчи, обеспечивающая сохранения плодородия пахотного горизонта, снижения общих энергозатрат на подготовку почвы, новизна защищена получением патента.

Ключевые слова: комбинированный рыхлитель, вертикальные ножи, солонцовый и подсолонцовый горизонты почвы, тяговое сопротивление, деформация слоя.

ВВЕДЕНИЕ

INTRODUCTION

Орудие предназначено для послойной обработки почв, которые имеют разные физико - механические свойства по пахотным горизонтам. Агротехнические требования предусматривает сохранения каждого почвенного слоя на местах без перемешивания и исключает выталкивание не плодородных слоев из пахотного горизонта на поверхность поля, просыпание гумуса вниз.

Технология обработки почвы, предложенная на рисунке 1, включает предварительное рыхление пахотного горизонта с последующей разделкой верхнего слоя. Данная технологическая схема исключает выталкивание неплодородного влажного нижнего слоя на поверхность поля, так как этому препятствует верхний слой. При этом рыхлительные лапы предварительно разрушают монолитность верхнего слоя, что снижает удельные энергозатраты на фрезерование. Для проверки рабочей гипотезы рассмотрим взаимодействие рыхлительной лапы с обрабатываемым слоем, состоящий из двух разнородных слоев, резко отличающихся по технологическим и физическим свойствам.

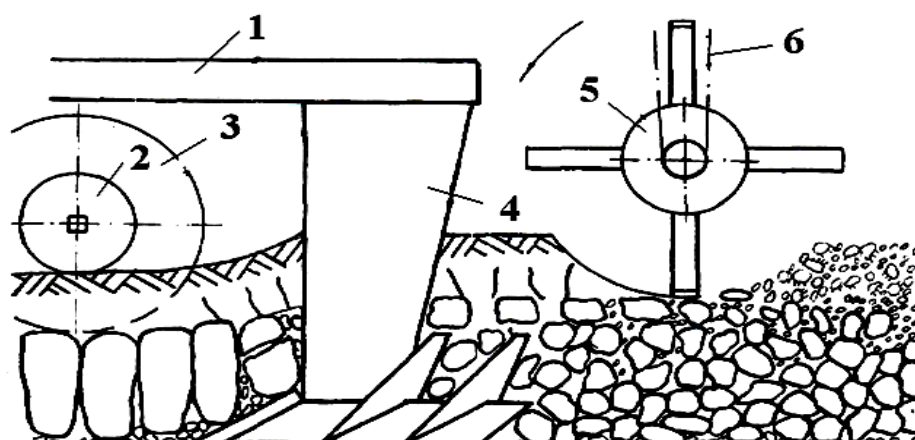


Рисунок 1. Технологическая схема послойной обработки почвы без предварительного рыхления верхнего слоя.

Figure 1. Technological scheme of layer-by-layer tillage without preliminary loosening of the upper layer

Технологический процесс работы орудия показывает, что почвенный пласт под воздействием рыхлительной лапы испытывает только деформацию изгиба (Нуралин, 2011; Нуралин, 2012). Рассматривая его как балку, состоящую из двух слоев с разными модулями деформации, определяем положение нейтрального слоя

$$\frac{y_{01}}{y_{02}} = - \left(\frac{E_B \cdot h_B}{E_A \cdot h_A} \right) \quad (1)$$

и положение граничного слоя относительно нейтрального

$$y = h_C = 0.5 \cdot h_B \cdot \left[1 - \frac{\left(\frac{h_A}{h_B} + 1 \right)}{\left(1 + \frac{E_B \cdot h_B}{E_A \cdot h_A} \right)} \right] \quad (2)$$

где y_1, y_2 - расстояния от нейтральной оси до центров тяжести соответствующих горизонтов, м; h_A, h_B - мощность горизонтов, м; E_A, E_B - модули деформации горизонтов, Н/м².

Для почв с мощностью верхнего слоя не более 0,10...0,20м граничный слой будет находиться выше нейтрального слоя (Нуралин, 1985).

По исследованиям Кулебакина (Орловский, 1954), разрушающие напряжения для верхнего слоя при растяжении $\sigma_A^{\text{раст}} = 0,009\text{МПа}$; при сжатии $\sigma_A^{\text{сж}} = 0,03\text{МПа}$; для солонцового горизонта - $\sigma_B^{\text{раст}} = 0,005\text{МПа}$, $\sigma_B^{\text{сж}} = 0,12\text{МПа}$. Пласт почвы деформируется и происходит расслоение горизонтов, так как $\sigma_A^{\text{сж}} \gg \sigma_B^{\text{раст}}$. Пахотный горизонт перемещаются вверх по рыхлительной лапе и поднимают верхний слой. Цельный верхний слой препятствует перемещению и создает сжатие пахотному горизонту. Разрушенный пахотный горизонт дополнительно разрыхляются вертикальными ножами, установленными на плоскорежущей лапе. После расслоения верхний слой сохраняет целостность и, преодолевая действия вертикальных ножей, испытывает деформацию растяжения.

Плотность почвы после деформации

$$\gamma_A^1 = \frac{\gamma_A}{(1 + \theta)} \quad (3)$$

Относительное изменение объема равно

$$\theta = \frac{\sigma_x (1 - 2\mu_A)}{E_A} \quad (4)$$

где μ_A - коэффициент для верхнего слоя.

Нормальное напряжение в верхнем слое пласта почвы

$$\sigma_x = \frac{m \cdot R_x^{\text{н.р.}}}{h_A \cdot B_{\text{л}}} \quad (5)$$

где m - количество ножей - рыхлителей; $B_{л}$ - ширина пласта, м; $R_x^{н.р.}$ - тяговое сопротивление ножа - рыхлителя, Н.

Тогда плотность почвы после деформации равна

$$\gamma_A^1 = \frac{\gamma_A}{\left[1 + \frac{m \times R_x^{н.р.} (1 - 2\mu_A)}{h_A \cdot B_{л} \cdot E_A} \right]} \quad (6)$$

где $R_x^{н.р.}$ - тяговое сопротивление ножа – рыхлителя, кН.

Из выражения следует, что после рыхлительной лапы плотность верхнего слоя уменьшается, удельные энергозатраты на его обработку снижается по сравнению фрезерованием в естественном состоянии (Нуралин, 1981).

Замеры, проведенные по определению объемного веса, твердости верхнего слоя до и после обработки рыхлительными рабочими органами, показали, что объемный вес и твердость его уменьшились соответственно с $1,12 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ до $1,06 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$, с $3,2 \text{ МПа}$ до $2,02 \text{ МПа}$. Расчеты, проведенные для этих значений объемного веса показали, что удельная энергоемкость фрезерования верхнего слоя после рыхлительных лап меньше, чем в естественном состоянии на 40%.

Качество обработки пахотного слоя можно оценивать степенью крошения и скважностью почвы после ее обработки. Наилучшие показатели соответствует наибольшей скважности при наименьшем тяговом сопротивлении и степени крошения пахотного слоя 60...70%. Для определения скважности почвы C после обработки используем известную в агротехнической науке связь между скважностью почвы до ее обработки C_0 и вспушенностью после обработки $B_{п}$. Тогда взаимосвязь между параметрами и режимами работы рыхлительной лапы и скважностью C пахотного слоя можно определять зависимостью

$$C = \left(\frac{C_0 + B_{п}}{100 + B_{п}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Полученная зависимость будет использована в качестве критерия оптимизации параметров рабочего органа.

Одновременная обработка всех горизонтов за один проход агрегата позволяет сократить расходы топлива и энергии, чрезмерное уплотнение почвы ходовыми частями мобильной техники, уменьшать распыленность поверхности поля, повысить

производительность работы. Послойное рыхление увеличивает водопроницаемость почвы, обеспечивает наибольшее накопление и рациональное расходование почвенной влаги, сохранение плодородия почвы.

Лемех плоскорезущей лапы, подрезая солонцовый горизонт, частично крошит его нижнюю часть, а верхняя часть этого горизонта остается без изменения. Слабое разрушение данной части объясняется тем, что влажность его всегда низкая и для разрушения требуется большее напряжение. Поэтому для разрушения монолитности горизонта необходимы дополнительные деформаторы в виде вертикальных ножей (рис. 1).

Необходимая степень разрушения данного горизонта зависит от высоты и расстояния между вертикальными ножами. Технологический процесс послойной обработки обеспечивается при высоте ножей – рыхлителей не больше глубины обработки и не меньше мощности солонцового и подсолонцового горизонтов (рис. 2)

$$a \geq h_H \geq h_B, \quad (8)$$

где a - глубина обработки, м;

h_H - высота вертикального ножа, м;

h_B - мощность солонцового и подсолонцового горизонтов, м.

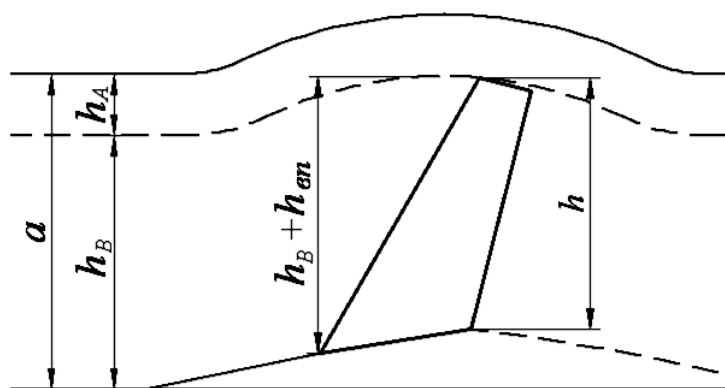


Рисунок 2. Схема к обоснованию высоты вертикального ножа

Figure 2. Scheme to justify the height of the vertical knife

Высота вертикального ножа с учетом мощности верхнего слоя равна

$$h_H = a - h_A, \quad (9)$$

где h_A - мощность верхнего слоя, м;

При перемещении почвы по поверхности лемеха происходит частичное крошение нижнего слоя, в результате чего высота профиля пласта почвы увеличивается на величину, равную вспушенности B_n . Тогда высота вертикального ножа с учетом вспушенности определяется выражением

$$h_H = (a - h_A) + B_n = h_B + B_n, \quad (10)$$

Для солонцов Западного Казахстана мощность гумусового слоя колеблется в пределах 0,06...0,12м, при глубине их обработки 0,30м и принятой величине вспушенности 0,04м, высота вертикальных ножей должна быть 0,28...0,22м. Таким образом, высота ножей определяется из технологических параметров процесса послойной обработки почвы.

Для определения расстояния между ножами представим рабочий орган как двугранный клин, на котором установлены параллельно два вертикальных ножа толщиной S и углом заточки 2β (рис.3).

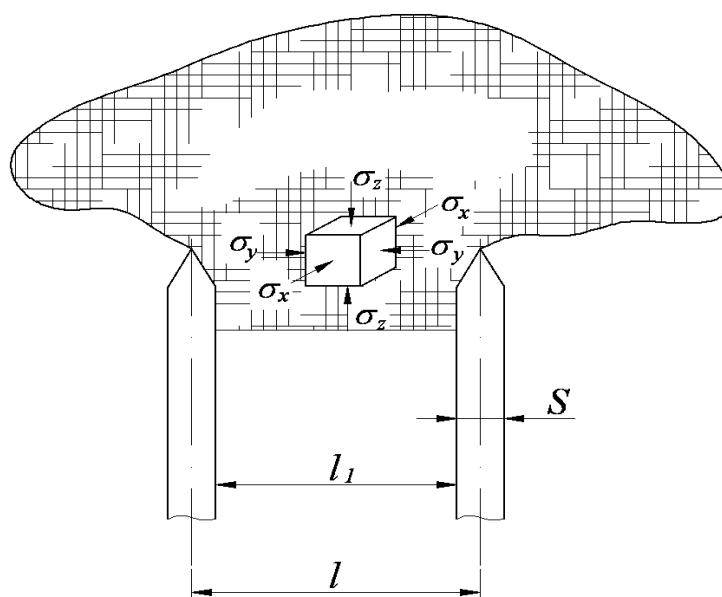


Рисунок 3. Схема к обоснованию расстояния между вертикальными ножами

Figure 3. Scheme to justify the distance between vertical knives

Относительная деформация почвы, находящиеся между двумя вертикальными ножами определяется уравнением

$$\varepsilon_y = \frac{l - l_1}{l} = \frac{S}{l}, \quad (11)$$

где l - первоначальная ширина пласта, равная расстоянию между осевыми линиями соседних ножей, м;

l_1 - ширина пласта после деформаций, равная расстоянию между внутренними боковыми поверхностями соседних ножей, м.

Для определения ε_y рассмотрим элементарный объем почвы, находящейся между ножами под действием главных напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$. В связи с тем $\sigma_x = \sigma_z$, то относительная деформация вдоль оси Y на основании обобщенного закона Гука равна

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - 2\mu \cdot \sigma_x), \quad (12)$$

Тогда расстояние между ножами - рыхлителями равно

$$l_H = \frac{S \cdot E}{\sigma_y - 2\mu \cdot \sigma_x} \quad (13)$$

При достижении критической величины деформации ε_y^{kp} происходит разрушения пласта. Зависимость изменения расстояния между ножами от критической величины относительной деформации почвы приведена на рисунке 4. Из графика видно, что расстояния между ножами зависит от их толщины, физико-механических свойств почвы (модули деформации E и сдвига G , коэффициент Пуассона μ).

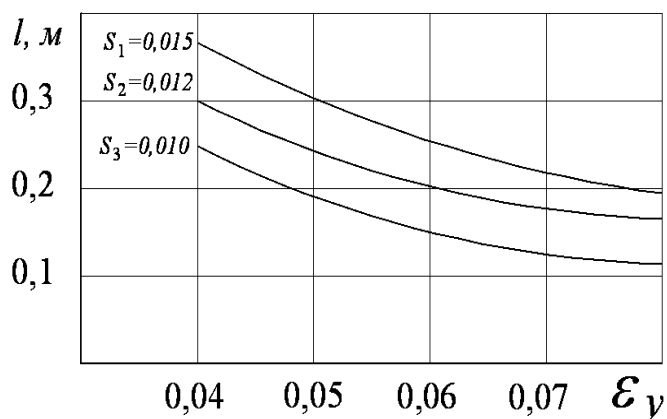


Рисунок 4. Зависимость расстояния между вертикальными ножами от величины критической относительной деформации почвы

Figure 4. Dependence of the distance between vertical knives on the value of the critical relative strain of the soil

В. А. Баладинский рекомендует для тяжелых глинистых почв, какими являются солонцы, принимать значение $\varepsilon_y^{kp} = 0,06$ (Баладинский, 1973). Тогда расстояние между ножами должны быть 0,17...0,25м при толщине ножей 0,01...0,015м.

Окончательный выбор расстояния между ножами требует экспериментального определения физико-механических свойств почвы E, G, μ .

На основании экспериментальных исследований полученные значения μ, E, G для солонцового и подсолонцового горизонтов почвы представлены на рисунках 5, 6. и можно сделать следующие выводы (Нуралин^а, 2001; Нуралин, 2001^б):

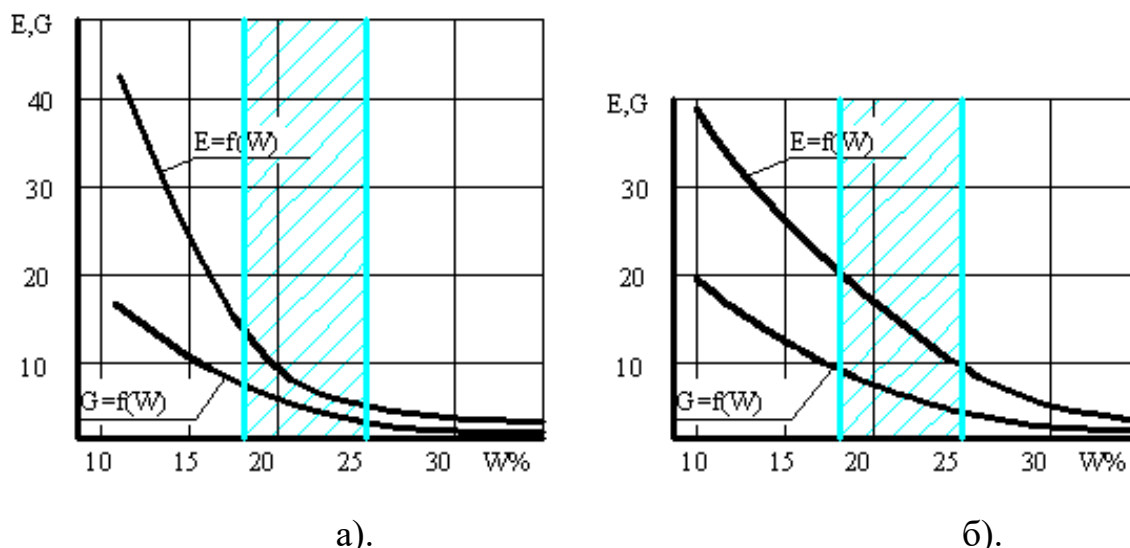


Рисунок 5. Зависимость модуля сдвига G и модуля деформации E почвы от влажности W :

а) солонцового горизонта; б) подсолонцового горизонта.

Figure 5. Dependence of the shear modulus G and the soil deformation modulus E on moisture W :

a) the solonchok horizon; b) the sublentic horizon

1. Причину увеличения коэффициента Пуассона и уменьшения модуля деформации и модуля сдвига, с увеличением влажности, можно объяснить тем, что передача действующего вертикального давления на боковые стенки связана с перегруппировкой частиц почвы, проходящих при наличии внутреннего трения и сцепления этих частиц. С увеличением влажности почвы от 10 до 35% происходит уменьшение коэффициента внутреннего трения в 4...5 раз (Вильямс, 1949), а коэффициент сцепления в 2 раза (Кушнарев, 1969). В результате уменьшения коэффициентов внутреннего трения и сцепления возрастает коэффициент Пуассона, что косвенно подтверждает полученные результаты.

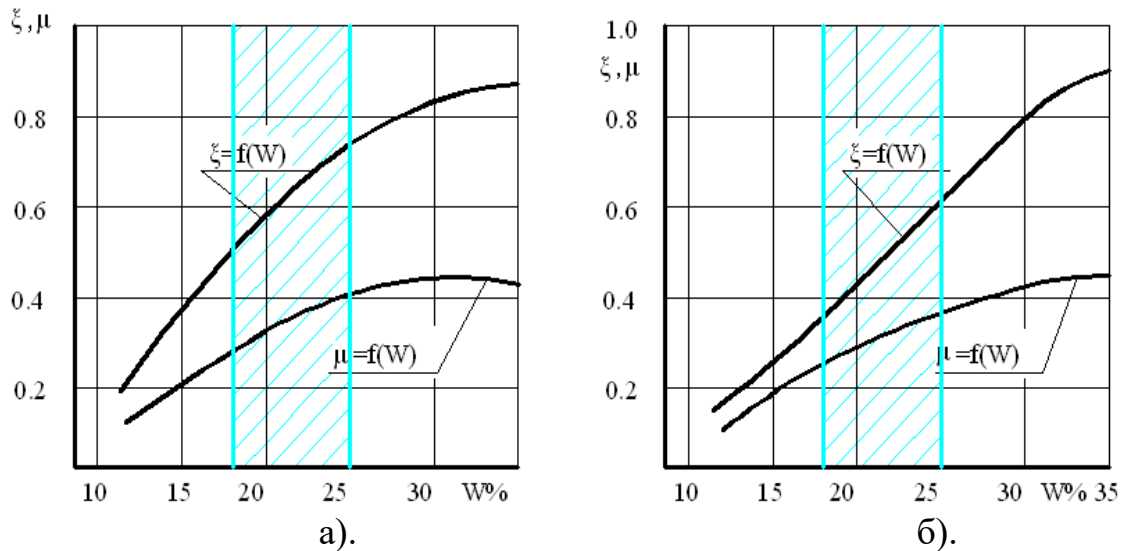


Рисунок 6. Зависимость коэффициента бокового распора ξ и коэффициента Пуассона μ почвы от влажности W :

а) солонцового горизонта; б) подсолонцового горизонта.

Figure 6. Dependence of lateral spread coefficient ξ and Poisson's ratio μ of the soil on humidity W :

a) the solonets horizon; b) the sublentic horizon

2. Численные значения коэффициента Пуассона, полученные нами, близки по значению с данными, полученными для глинистых грунтов (Новиков, 1969), а закономерность изменения, в зависимости от относительной влажности, однотипная. Полученные значения модуля деформации и модуля сдвига имеют тот же порядок, что для грунтов (Кушнарев, 1969) и почв (Рахматуллин, 1964).

Уравнение определения тягового сопротивления вертикального ножа, учитывающее основные физико-механические свойства солонцового горизонта и его параметры [13].

$$R_x^H = S \cdot \ell \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{E_B \cdot g}{\gamma_B}} \cdot (A v_n^2 + D) \cdot \frac{(\sin \beta_1 + f \cdot \cos \beta_1)}{2 R_{\beta_1} \cdot v_n \cdot \sin \beta_1}, \quad (14)$$

где $D = E_B \left[1 - 2 \cdot \mu_B^2 / (1 - \mu_B) \right] / \left[\pi (1 - \mu_B^2) \right]^2$; $A = \gamma_B (1 - \eta_B) (1 + w/100) / g$; S – толщина рабочей поверхности ножа – рыхлителя, м; ℓ – длина рабочей поверхности ножа – рыхлителя, м; γ_B – плотность солонцового горизонта, Н/м³; η_B – коэффициент скважности солонцового горизонта, %; W – относительная влажность, %; v_n –

поступательная скорость, м/с; μ_B - коэффициент Пуассона для солонцов; R_{β_1} - коэффициент, учитывающий угол заточки ножа - рыхлителя; α – угол установки ножей - рыхлителей к дну борозды, град.; β_1 - половина угла заточки ножа – рыхлителя, град.

Полученная зависимость показывает влияние физико-механических свойств почвы (E, μ, w, γ, η), параметров вертикального ножа (S, ℓ, β, α) и режима его работы U_n на тяговое сопротивление.

Влияние отдельных конструктивных параметров на тяговое сопротивление ножей-рыхлителей представлено на рисунке 7.

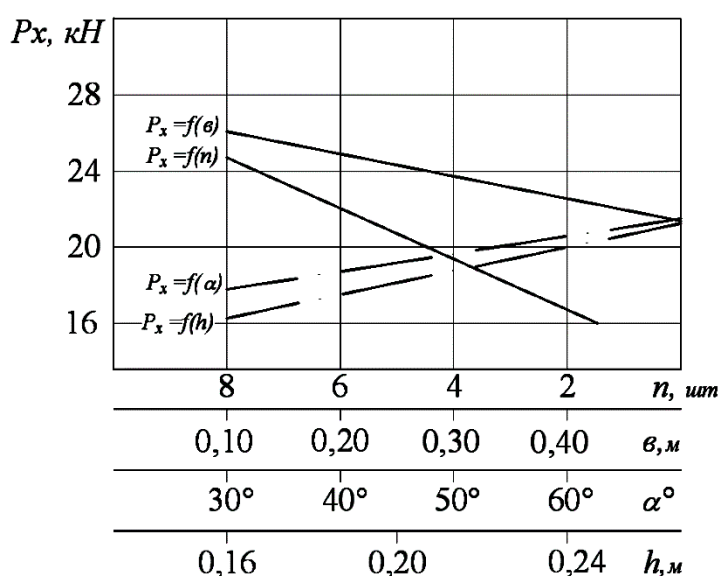


Рисунок 7. Влияние высоты h , угла установки ко дну борозды α^0 , количества ножей n и расстояния между ними b на общее тяговое сопротивление рабочего органа

Figure 7. Influence of height h , installation angle to the bottom of the furrow, number of knives and the distance between them on the total traction resistance of the working body

С увеличением значения высоты, угла установки ко дну борозды и количества ножей тяговое сопротивление рабочего органа возрастает, а расстояния между ножами-рыхлителями - тяговое сопротивление уменьшается.

Возможность совмещения операций по локальному внесению удобрений с основной обработкой почвы является важным резервом экономии ресурсов, но и предотвращает избыточное уплотнение почвы. Проведенные исследования показали, что дозы при локальном внесении можно снижать на 20...50%. По данным американских исследователей, прикорневое внесение удобрений 64 кг/га P_2O_5 значительно больше повышало урожай зерна кукурузы, чем разбросное внесение 122 кг/га P_2O_5 (Зыкун и Лахмаков, 2014; Корнков, 1990).

Преимущество локального способа внесения удобрений в том, что он обеспечивает значительное уменьшение контакта туков с почвой, вследствие чего питательные

вещества длительное время могут находиться в доступной для растений форме, так как в непосредственной близости от очага создаются и до конца вегетации сохраняются зоны повышенных концентраций подвижных форм питательных веществ.

Для решения поставленной задачи было разработано техническое изобретение по распределению мульчи под башмаком рабочего органа – глубокорыхлителя на всю его ширину (Патент KZ В 32084, 2015).

На рисунке 8 изображено предложенное устройство, состоящее из рамы 1, на которой смонтирован бункер 2, заканчивающийся внизу заборным конусом 3, внутри которого расположен вертикальный шнек, состоящий из вала 4 и ленточной спирали 5, перед конусным рассекателем она 6 выполнена с изменяющимся шагом, к нижней части вала шнекового транспортёра закреплён диск 7 с радиальными лопатками 8, на диске установлен конусный рассекатель 9, поверхность которого выполнена по логарифмической кривой, диск 7 расположен в направляющем кожухе 10, кожух расположен под башмаком 11 рабочего органа, на котором установлены вертикальные треугольные рёбра 12, к которым прикреплён плоский отвал 13.

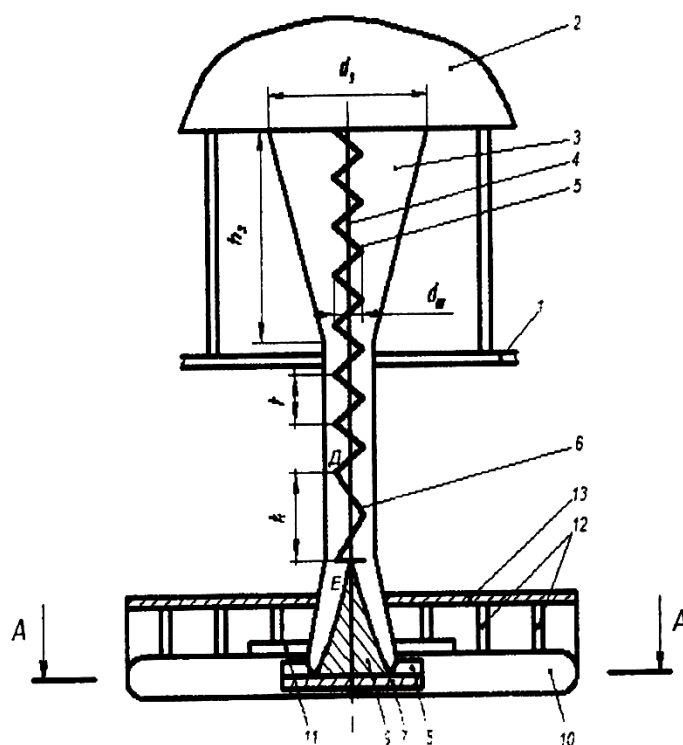


Рисунок 8. Устройство для подпочвенного мульчирования

Figure 8. Subsoil mulching device

Диск 7 расположен на торце вала 4 шнека и имеет ключевое значение в транспортировке материала. Благодаря ему материал меняет направление движения с вертикального на горизонтальное (рис. 9). Лопатки 8 расположенные на диске 7 подхватывают материал и за счёт центробежной силы материал скользит по лопатке 8 к периферии диска. Диск 7 движется как одно целое с валом 4 вертикального шнека. Все частицы материала находящиеся на диске 7 движутся с одинаковой угловой скоростью, но поскольку частица материала движется по лопатке 8, расстояние от неё до центра вала 4 увеличивается. Соответственно, увеличивается окружная линейная скорость, и она достигает максимума в момент схода частицы с диска 7. Материал веером разлетается с той части диска, которая обращена в сторону обработанного поля, примерно сектор КН, материал падает на дно борозды, а с другой стороны, примерно, (сектора КА и ВН) частицы материала ударяются в направляющий кожух, отражаются от него и падают на дно борозды. Всё это происходит благодаря теории удара, которая гласит, что угол β падения равен углу β отражения. Примерно, в пределах сектора АСВ (рис. 9) вектор скорости частицы материала сошедшей с диска 7 направлен в сторону движения устройства. Эта зона закрыта кожухом. Для того чтобы в этой зоне АСВ не происходило сгуживание материала форма поперечного сечения направляющего кожуха 10 такова, (рис. 10) что материал ударившись о кожух 10 гарантированно отскакивает вниз под диск 7, и далее скользит по низу направляющего кожуха 10 и падает на дно борозды.

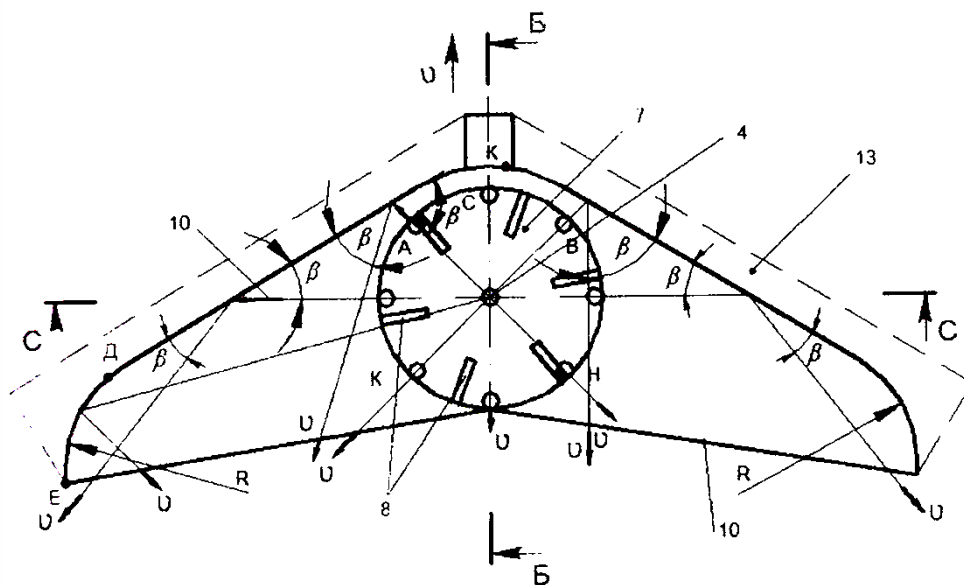


Рисунок 9. Разрез А-А диска с радиальными лопатками и направляющего кожуха

Figure 9. Section AA of a disc with radial blades and a guide casing

Между диском 7 и спиралью шнека 6, после участка ДЕ (рис. 8), установлен конусный рассекатель. Поверхность конусного рассекателя выполнена по логарифмической кривой (рис. 11). Эта кривая имеет переменный радиус кривизны. Максимальный радиус R_1 кривизны линии конуса в месте входа частицы материала M , а минимальный радиус R_2 в месте касания частицы диска 7. В момент времени схода частицы материала M со спирали 5 шнека на неё действуют две силы: сила веса частицы G ; сила инерции P_u , обе они параллельны вертикальному валу шнека 4 и направлены вниз. Обе эти силы направлены в одну сторону и параллельны друг другу, поэтому они складываются.

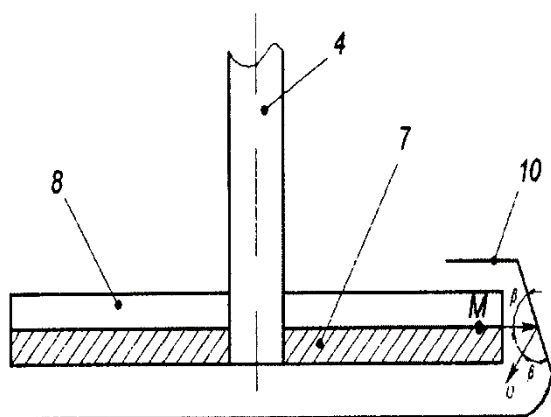


Рисунок 10. Разрез Б-Б кожуха с диском без конусного рассекателя
Figure 10. Section B-B of the casing with a disk without a conical dissector

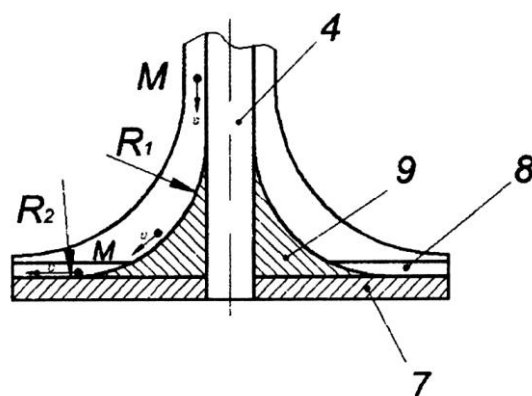


Рисунок 11. Разрез С-С конусного рассекателя, диска с радиальными лопатками и вала шнека
Figure 11. Section C-C of the cone dissector, disk with radial blades and auger shaft

Рассмотрим положение частицы материала M в промежуточном положении при движении по конусному рассекателю (рис. 12). При движении частицы M по поверхности рассекателя 9 направление силы веса остается постоянным, а сила инерции всё время меняет свое направление по вектору ускорения частицы M . Частица материала M при движении по поверхности конусного рассекателя 9 совершает криволинейное движение. Её вектор ускорения можно разложить на нормальное и касательное ускорения. Касательное ускорение всегда направлено по касательной к поверхности конуса и меняет своё положение от параллельного валу 4 в момент входа частицы на конус до параллельного диску 7, т.е. направление вектора касательного ускорения меняется на 90° . Данное ускорение характеризует процесс изменения скорости движения частицы по поверхности конусного рассекателя 9. Нормальное ускорение в момент входа частицы на конус равно нулю, а в момент выхода с конуса достигает

своего максимума. Ускорение направлено к центру кривизны поверхности, по которой движется материал. Это ускорение определяет величину центробежной силы. Таким образом, центробежная сила в момент входа частицы на конус 9 равна нулю, в момент входа частицы на диск 7 достигает своего максимума. С момента попадания материала на поверхность рассекаателя 9 центробежная сила увеличивается, воздействие её на материал возрастает, тем самым она выстраивает материал в слой, который и поступает на диск 7 в таком состоянии. Это способствует успешному прохождению материала между спиралью 5 и диском 7 при изменении направления движения с вертикального на горизонтальное. Материал в этой зоне движется организованно, не сгруживается, что исключает забиваемость этой зоны установки и обеспечивает её успешную работу.

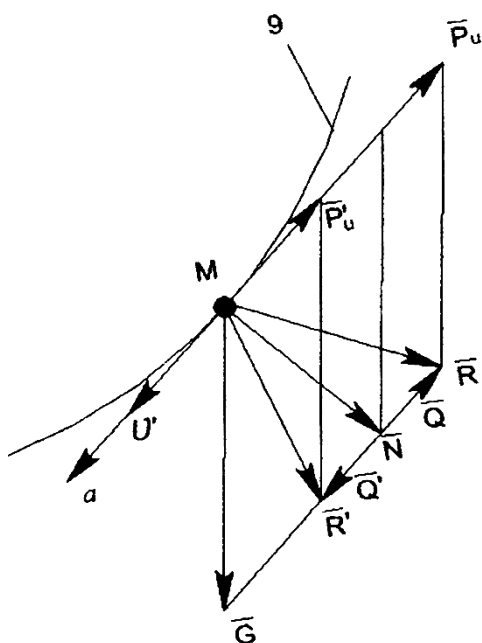


Рисунок 12. Схема сил, действующих на материал при движении его по конусному рассекателю

Figure 12. The scheme of the forces acting on the material while moving it along the cone dissector

Установка имеет вполне конкретные конструктивно-режимные параметры, в частности шаг t спирали 5 шнека и его n обороты. Эти параметры продиктованы количеством мульчи, вносимым под пласт почвы. Количество мульчи, вносимое под пласт почвы, сильно меняется в зависимости от агротехнических требований к обработке. Конструктивно невозможно менять шаг t спирали шнека, поэтому обороты вала шнека являются единственным параметром, которым можно изменять пропускную способность шнека. Шаг шнека приобретает большую значимость, поскольку по технологической потребности данный шнек будет работать в широком диапазоне оборотов. Для того чтобы не было сгруживания материала при прохождении конусного рассекаателя 9 на материал, точка M , (рис. 12) должна действовать сила направленная в

сторону её движения. На рисунке 5 показана поверхность рассекателя и точка М в промежуточном положении. Предположим, что точка М движется вниз и ускоряется. На точку М действует две силы (для простоты картины силой трения пренебрежём) это сила тяжести G и сила инерции P_u . Сложим эти две силы, получим результирующую силу R . Разложим эту результирующую силу R на две составляющие перпендикулярную траектории движения N и касательную к траектории Q . Сила N прижимает слой материала к конусу, формирует его. Сила Q толкает материал по поверхности конусного рассекателя 9 и существенно влияет на скорость движения материала. Если сила Q направлена противоположно направлению вектора скорости V материал замедляет свое движение. Это плохо. Количество материала поступающего на конусный рассекатель 9 становится больше его пропускной способности, то возникает подпор материала и как следствие, возможно, его сгуживание в этой зоне транспортировки, нарушение технологического процесса. Поэтому касательная сила разложения Q' результирующей R должна быть направлена в сторону вектора скорости V . Из рисунка 12 видно, что при G равной P_u касательная составляющая равна нулю. Необходимо чтобы P_u была меньше G , тогда касательная сила разложения результирующей R будет совпадать с направлением вектора скорости материала (здесь ещё надо учесть, что из Q' надо вычесть силу трения материала по поверхности конусного рассекателя 9). Сила трения определяется составляющей N , которая меняется по мере движения частицы М по поверхности конусного рассекателя 9 т.к. его поверхность очерчена кривой с переменным радиусом кривизны. В связи, с чем возникает необходимость выбора определённой зоны изменения параметра t_l . Поскольку $G = mg$ должна быть больше $P_u = ma$ получается, что $a < g$. Это неравенство ограничивает увеличение шага спирали 5 не более чем в три раза. При движении частицы М по поверхности конусного рассекателя 9 величина сил R , N , Q' постоянно меняют своё численное значение, расчёты показали, что при средних конструктивно-режимных параметрах нижний предел увеличения шага спирали можно ограничить на 50%. При меньшем увеличении шага получить положительный эффект от этого технического решения не возможно.

Параметры заборного конуса определяются его высотой и диаметром большего основания d_z (рис. 13). Высоту заборного конуса 3 не целесообразно выбирать более полушага спирали шнека. Из рисунка 6 видно, что высота выталкивания материала, примерно, равна длине линии KO которая равна $t/2$ (где t – шаг спирали). Увеличение высоты заборного конуса 3 более чем на $t/2$ не улучшит процесс захвата материала т.к. пропорционально будет увеличиваться и зона выталкивания материала. Величина

вытолкнутого материала из под шнека зависит по крайней мере от двух параметров: величины выталкивающей силы T ; места расположения точки E , пересечения результирующей силы R или

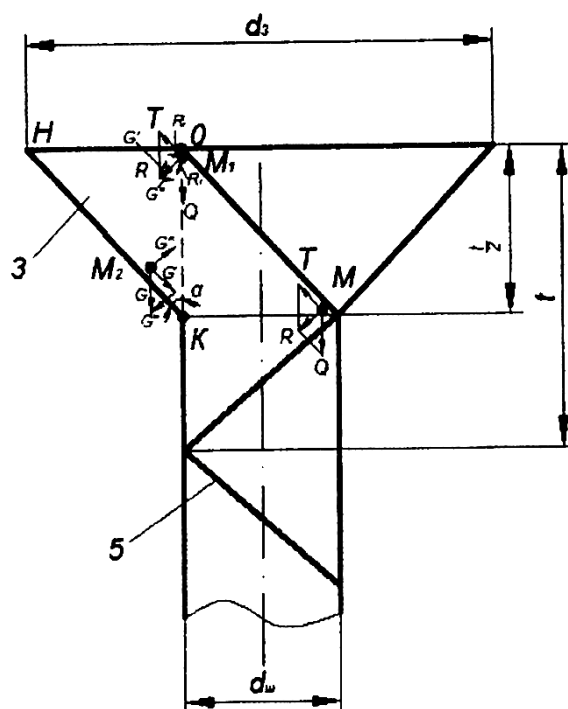


Рисунок 13. Схема сил, действующих на материал при движении его по спирали шнека на этапе заборного конуса

Figure 13. Scheme of forces acting on the material while moving it along the spiral of the screw during the stage of the intake cone

R_1 с линии KO . Точки E может находится выше точки K или ниже точки K . Таким образом зона выталкивания или увеличивается или уменьшается. Два этих фактора взаимоисключающие, увеличение одного ведёт к уменьшению другого. Рассмотрим это по кинематической схеме, изображённой на рисунке 6. На схеме обозначено T – выталкивающая силы, Q – суммарная сила веса материала и толкающей силы со стороны шнека, R – результирующая этих двух сил (сила трения материала по поверхности спирали условно не показана). Рассмотрим точку материала в начале спирали M и в середине спирали M_1 . Результирующая R точки M проходит ниже точки K и поэтому из под спирали вытолкнута не будет. Результирующий вектор R точки M_1 пересекает линии KO и она будет вытолкнут из под спирали шнека. Установив в этом месте заборный конус, линия HK . Разложим силу тяжести от массы частицы материала M_2 по касательной к HK и перпендикулярно её. Таким образом, со стороны поверхности конуса на материал находящейся между ним и шнеком будет действовать сила равная G'' . Сложим эту силу с результирующей силой R , получим вектор R_1 . Очевидно, что

сила R больше R_1 , поэтому применение заборного конуса будет способствовать более полной загрузки шнекового транспортёра. С уменьшением угла α наклона линия HK сила G'' тоже у уменьшается. Кроме того оставаясь перпендикулярной линии НК направление её относительно силы R меняется.

Что касается второго фактора места расположения точки E то она будет находится ниже если результирующая R_1 будет находится под R . Из треугольника KHO имеем, $HO/OK = \operatorname{tg} \alpha$, где $HO = (d_3 - d_{ш})/2$, $OK = t/2$ с учётом рекомендаций по выбору параметров шнековых транспортёров, $d_{ш}$ приблизительно равно t . Получается $\operatorname{tg} \alpha = (d_3/d_{ш}) - 1$, что диаметр заборного конуса должен быть не более двух диаметров шнека т.к. не учитывалась силы трения, уменьшим это значение на долю этой силы, примерно 20%.

Выполнение края кожуха 10 (рис. 9) по радиусу исключает застревание материала на его краях. Начиная от точки Д (точка перехода прямой линии в криволинейную) и заканчивая точкой Е. Выход материала из точки Е на дно борозды не вызывает сомнения. На всей линии ДЕ нет ни одного места, где бы отскок происходил по той же самой линии, по которой точка М двигалась к поверхности кожуха. Кроме того указанном выше рассуждении не учитывается, что материал который отразился от поверхности кожуха на участке ДК будет пересекать траекторию материала движущегося к поверхности ДЕ и будет взаимодействовать с этим материалом и отклонять его в сторону обработанного поля. Последнее также будет способствовать успешному прохождению материала по кожуху и выпадения его на дно борозды.

Треугольные рёбра 12 (рис. 8) позволяют сделать переход между лемехом и плоским отвалом 13 более плавным, что позволяет исключить сгруживание пласта почвы перед рабочим органом. Благодаря плоскому отвалу 13, пласт почвы подымается выше, чем в обычном рабочем органе, поэтому время его падения до дна борозды увеличивается. За это время удастся сформировать слой мульчи на дне борозды. Цель достигнута.

Устройство работает следующим образом:

Крутящий момент от вала отбора мощности трактора через привод передается на вал 4 шнека. Под действием собственной силы тяжести мульча из бункера 2, поступает в заборный конус 3, где её захватывает вертикальный шнек и подает мульчу на диск 7 с радиальными лопатками 8. В нижней части вертикального шнека ленточная спираль 5 имеет переменный шаг, а именно, шаг спирали 5 по направлению к диску 7 увеличивается 6 (участок ДЕ). Благодаря этому вертикальная составляющая скорости мульчи возрастает пропорционально увеличению шага спирали. Далее мульча попадает

на поверхность конусного рассекателя 9, где вектор скорости транспортируемого материала плавно меняет своё направление и становится параллельным плоскости диска 7. Материал, попавший на диск 7, подхватывается радиальными лопатками 8, его скорость продолжает увеличиваться. Достигнув края лопатки 8, транспортируемый материал сходит с неё, и двигается в направляющем кожухе 10 по инерции. Края в направляющем кожухе 10 выполнены по радиусу, что исключает забиваемость кожуха транспортируемым материалом.

ВЫВОДЫ

CONCLUSIONS

1. Работа комбинированного рыхлителя показали, что улучшается устойчивость хода фрезы по глубине и по ширине, обеспечиваются агротехнические требования, предъявляемые к основной обработке почвы при снижении удельных энергозатрат на разделку верхнего слоя, что подтвердили правомерность теоретических предпосылок.
2. Совмещение операций по локальному внесению мульчи с основной послойной обработкой почвы является важным резервом экономии ресурсов, но и предотвращает избыточное уплотнение почвы, ускоряет развитие и созревание растений с коротким вегетационным периодом, повышает урожайность сельскохозяйственных культур при наименьших энергозатратах.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

- Баладинский В. Л. Динамическое разрушение грунтов. Киев, КГУ, 1973. 243с.
- Вильямс В. Р. Земледелие с основами почвоведения. Москва, Сельхозгиз, 1949.
- Зыкун А.С. и Лахмаков В.С. Об эффективности внутрипочвенного внесения минеральных удобрений. Материалы Международной научно-практической конференции «Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологии в сельском хозяйстве». Часть 1. Минск, БГАТУ, 2014. С.70-72.
- Корньков Д.А. Минеральные удобрения при интенсивных технологиях. Москва, Росагропромиздат, 1990. 192с.
- Кушнарев А.С. Характер образования трещин в почве перед вертикальными деформаторами. А.С. Кушнарев и А.В. Бауков. В кн.: Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов. Труды ЧИМЭСХ, вып. 46. Челябинск, 1969. С.35-42.
- Новиков Ю. Ф. Некоторые вопросы теории деформирования и разрушения пласта под воздействием двухгранного клина. Труды ЧИМЭСХ. вып. 46. Челябинск, 1969.

- Нуралин Б. Н. Обоснование параметров и режимов работы фрезы комбинированного рыхлителя солонцов: Автореф. дис...канд. техн. наук. Челябинск, 1985. 18 с.
- Нуралин Б.Н. и Сакара Д.В. Методика определения физических констант для солонцовых почв. Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. 2001. №10, с.48-52.
- Нуралин Б.Н. и М.М. Константинов. Обоснование формы рабочего органа и конструкции фрезерного барабана комбинированного рыхлителя. Известия Оренбургского госагроуниверситета. Оренбург, 2011, № 2. с. 66-69.
- Нуралин Б.Н. и М.Д. Подскребко. Предпосылки к обоснованию схемы комбинированного орудия для обработки целинных солонцов. Научные труды ЧИМЭСХ. «Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов», вып. 167. Челябинск, 1981. с.82-94.
- Нуралин Б.Н. и Д.В. Сакара. Результаты экспериментальных исследований по определению физических констант солонцов. Научно-технический прогресс и производство. Сборник научных трудов ЗКГУ. Выпуск 1. Уральск, 2001. с.28-31.
- Нуралин Б.Н., М. М. Константинов, А.Н. Хмура, К.С. Потешкин. Сравнительный анализ рабочих органов плоскореза-глубоко рыхлителя на основе компьютерного моделирования. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. Научно-теоретический журнал. Москва, 2012. №1. с.39-41.
- Нуралин Б.Н., М. М. Константинов, А.Н. Хмура, К.С. Потешкин. Тяговое сопротивление плоскорезующей лапы с дополнительными рабочими органами. Тракторы и сельхозмашины: Научно-практический журнал, Москва, 2011. №11. с.36-38.
- Орловский Н.В. Основные приемы окультуривания солонцов в Западной Сибири. В кн.: Освоение целинных и залежных земель в 1954 г.: Материалы совещ. При АН СССР. Москва, 1956, с.189-191.
- Патент KZ В 32084 Устройство для подпочвенного мульчирования/ Комитет по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Казахстан. Заявка зарегистрирована №2015/1353.1 от 23.10. 2015г. Зарегистрировано 30.05.2017г., бюл. №10 (Авторы Нуралин Б.Н., Кухта В.С., Бакушев А.А. и др.).
- Рахматуллин Х. А. Вопросы динамики грунтов. Москва, МГУ, 1964. 239 с.

COMBINED RIPPER FOR LAYER-BY-LAYER SOIL CULTIVATION WITH SUBSURFACE APPLICATION OF MULCH

NURALIN Beket, KUKHTA Vladimir, BAKUSHEV Askar, KUBASHEVA Zhanna

West Kazakhstan Agrarian Technical University, Polytechnic faculty, Zhangir Khan 51, Uralsk, Kazakhstan

Corresponding author: Бакушев Аскар, bakushev_68@mail.ru

ABSTRACT

The constructive scheme of the combined ripper for layer-by-layer tillage of soil with sub-soil fertilization is substantiated. The developed scheme ensures the preservation of each soil layer without mixing and excluding the ejection of non-fertile layers from the arable horizon to the surface, the spillage of humus down the profile. The proposed scheme allows combining the operation of local application of fertilizers with basic soil treatment. Based on experimental studies, the values of the physical constant of the Poisson's ratio μ , the elastic modulus E , the shear modulus G for the solonets and sub-solonets horizons of the soil were obtained. The mathematical dependences of traction resistance of vertical knives on geometric parameters and physic-mechanical properties of arable soil horizon and ripping leg were obtained. The design of the device for the sub-soil application of mulch, ensuring the conservation of fertility of the arable horizon, reducing the total energy consumption for soil preparation was developed, which is protected by the obtained patent.

Keywords: combined ripper, vertical knives, soil solonets and sub-solonets horizons, traction resistance, deformation of the layer