

А.С. Кобец, д-р эконом. наук, профессор,  
С.П. Сокол, ст. преподаватель, декан,  
А.Н. Кобец, канд. техн. наук, доцент,  
Б.А. Волик, канд. техн. наук, доцент  
А.М. Пугач, канд. техн. наук, доцент  
(ДГАУ)  
А.Н. Семенюта, директор  
(АО «Мотор Сич»)

## ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ОРУДИЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Аннотация.** В статье приведен обзор исследований кафедры сельскохозяйственных машин в сфере создания почвообрабатывающих рабочих органов и машин на их основе, приведены основные положения использованных методик расчёта и проектирования.

**Ключевые слова:** почвообрабатывающие рабочие органы, уплотнение почвы, техногенные нагрузки, эрозия почвы, обработка почвы

A.S. Kobets, D. Sc. (Econom.), Professor  
S.P. Sokol, Senior Teacher, Dean  
A.N. Kobets, Ph. D. (Tech.), Associate Professor,  
B.A. Volik, Ph. D. (Tech.), Associate Professor,  
A.M. Pugach, Ph. D. (Tech.), Associate Professor  
(DSAU)  
A.N. Semenyuta, Director  
(JSC «Motor Sich»)

## TILLAGE EQUIPMENT: CURRENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

**Abstract.** The paper presents a review of the research department of agricultural machinery in the creation of the working bodies and tillage machines based on them, the key provisions of the methods used for calculating and designing are given.

**Keywords:** tillage working bodies, soil compaction, technogenic load, soil erosion, tillage

**Постановка проблемы.** Интенсификация сельскохозяйственного производства приносит с собой помимо позитивных явлений и негативные, проявляющиеся в ухудшении свойств почвы. Серьёзной проблемой уже продолжительное время является уплотнение почвы, увеличение содержания в поверхностном слое эрозивно опасных частиц, ухудшение водного и воздушного режимов. Поэтому, проблема снижения техногенных нагрузок на почву является весьма актуальной.

Кафедрой сельскохозяйственных машин в течение ряда лет проводились теоретические исследования этой проблемы, явившиеся основанием для разработки ряда конструкций почвообрабатывающих орудий.

**Анализ исследований.** В настоящее время нет единой строгой теории обоснования формы поверхности рабочих органов почвообрабатывающих орудий. В основе известных методик проектирования лежат принципы, заложенные В.П. Горячкиным. Суть методик сводится к развитию поверхности клина на основе эмпирических и теоретических исследований. Наиболее часто при построении рабочих поверхностей используется метод направляющей кривой при изменении углов наклона горизонтальной образующей к стенке борозды.

Анализ выполненных различными авторами исследований почвообрабатывающих рабочих органов показывает, что в основном они сводятся к экспериментальной отработке параметров их поверхности. В отдельных работах изучается взаимодействие элементарных деформаторов с почвой, но к созданию общей теории взаимодействия режущего периметра с почвой это не привело.

Наибольшее количество исследований выполнено по обоснованию методов проектирования лемешно-отвальных поверхностей. Наиболее полно анализ известных методик проектирования таких поверхностей выполнен С.С. Тищенко [1]. На основании анализа методик Смолла, Стефенса, Бейли, Джеферсона, Ранзома, Лямбручини, Ридольфи, Горячкина, Лучинского, Шмелева им были сделаны следующие выводы.

Все существующие методики ориентированы на графическое проектирование поверхности на основе экспериментальных данных без глубокого аналитического обоснования процесса.

Обоснование формы поверхности выполнялось с точки зрения качественного оборота и заделки пласта, снижения износа поверхности и тягового сопротивления.

Установление количественных соотношений между параметрами рабочей поверхности и качеством крошения почвы ни одной из методик не предусмотрено.

**Нерешённая проблема.** Рассмотренная выше методическая база, ориентированная на графическое проектирование, в основном себя исчерпала. Для дальнейшего совершенствования рабочих органов необходимо наличие фундаментальных аналитических исследований закономерностей крошения почвы.

**Цель исследований** – создание системы почвообрабатывающих машин, обеспечивающих получение наперёд заданных показателей качества крошения применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям.

**Основной материал исследований.** Исторически первые попытки изменить подходы к проектированию почвообрабатывающих машин были предприняты в 70-80-х годах прошлого века проф. О.В. Верняевым. Усилившиеся в те годы процессы деградации почвы потребовали кардинальных изменений в системе ее обработки и, как выход, был взят курс на повсеместное внедрение плоскорезной обработки.

Исследованиями кафедры сельскохозяйственных машин было установлено, что приложение к плоскорезному рабочему органу колебательного движения даёт эффект снижения тягового сопротивления [1]. Кроме этого, полезным является встряхивание пласта, так как при этом мелкие частицы просыпаются в более нижние горизонты и тем снижается вероятность эрозии. Ввиду того, что оба указанных эффекта при колебаниях, совпадающих с направлением движения агрегата проявляются незначительно, почвообрабатывающие машины с колебанием рабочих органов в продольной плоскости развития не получили. Была отработана конструктивная схема активного рабочего органа плоскореза, совершающего угловые возвратно-поступательные движения в режиме автоколебаний (рисунок 1). Машина работает следующим образом.

Перед началом работы возбуждающей пружиной 7 система устанавливается в статически устойчивое положение, при котором носок лапы 1 отклоняется от направления поступательного движения, например, вправо. За счёт этого при движении рабочего органа на правую сторону лапы 1 действуют силы сопротивления почвы, превышающие действующие на левую. Происходит поворот лапы 1 со стойкой 2 вокруг вертикальной оси. Силы натяжения правой амортизационной пружины 6 и возбуждающей пружины 7 уменьшаются. Одновременно увеличиваются силы натяжения пружины 6 и сопротивления почвы на левое крыло. Когда сумма последних двух сил становится больше суммы первых двух, система поворачивается в противоположном направлении, проходит через среднее неустойчивое положение и занимает противоположное крайнее положение. В дальнейшем, процесс повторяется в описанной последовательности но в противоположном направлении.

Как показали выполненные исследования, данная схема эффективна на почвах лёгкого механического состава. Хотя заметного снижения тягового сопротивления отмечено не было, просыпание мелких частиц в нижние горизонты возросло. В эксперименте участок поверхности почвы 1×1 м покрывался слоем пластмассовых шариков контрастного цвета диаметром (0,5...2,0) мм. После прохода плоскореза в пассивном режиме на поверхности оставалось (65...80) % шариков, после введения автоколебаний – (40...60) %. На почвах тяжёлого механического состава колебания носили эпизодический характер с очень малой частотой.

Плоскорез с активными рабочими органами, совершающими принудительные возвратно-поступательные движения, имеет более устойчивые показатели выполнения технологического процесса. Колебания рабочих органов осуществляются от механизма качающейся шайбы (рис. 2), связанного с ВОМ трактора системой пе-

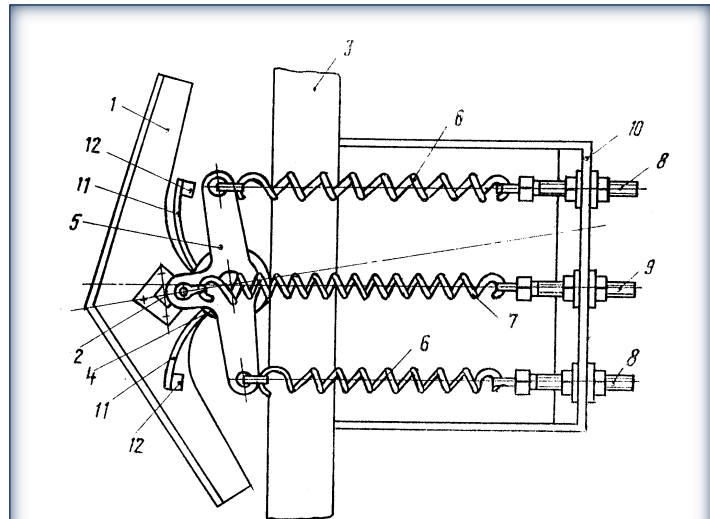


Рис. 1 – Схема плоскореза, работающего в режиме автоколебаний

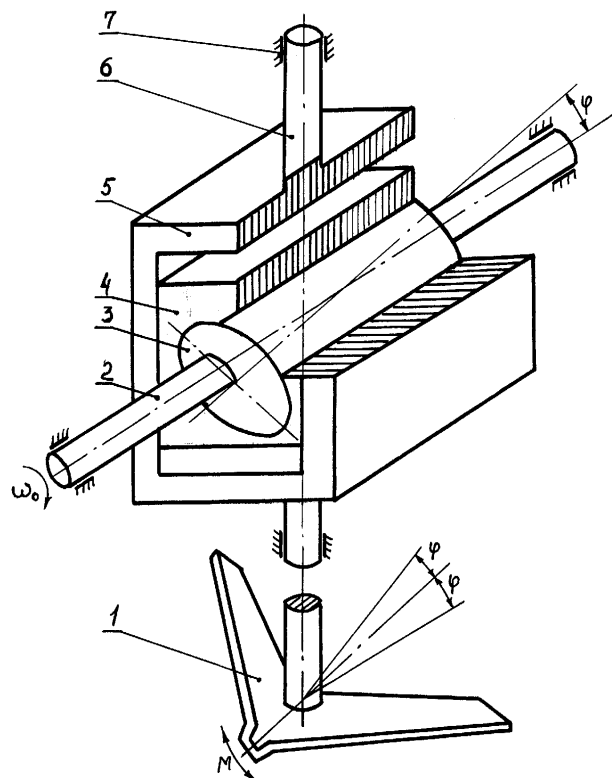


Рис. 2 – Схема плоскореза с приводом от механизма качающейся шайбы

редач. Механизм состоит из корпуса 5, камня 4, косо́й втулки 3, вала косо́й втулки 2. Движение от ВОМ через редуктор и промежуточные валы передаётся валу 2, на котором жё́тко закреплена косо́я втулка 3, ось которой смещена на угол  $\varphi$  по отношению к оси 2.

Косо́я втулка, вращаясь в цилиндрическом отверстии камня 4, сообщает ему движения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В свою очередь, камень 4, перемещаясь свободно в прямоугольном отверстии корпуса 5 в вертикальной плоскости, сообщает корпусу 5 в горизонтальной плоскости вынужденные колебания на заданный угол  $\varphi$ .

Корпус 5 верхней и нижней цапфами 6 закреплён в подшипниках 7 корпуса механизма привода, установленного жё́тко на раме культиватора. Нижняя цапфа корпуса 5 жё́тко связана с круглой стойкой активной лапы 1, совершающей угловые колебания в горизонтальной плоскости.

Как показали исследования, активный рабочий орган, выполненный по данной схеме, сохраняет работоспособность при большем угле раствора в сравнении с лапой пассивного типа, что позволяет уменьшить её габариты при той же ширине захвата. В эксперименте получено снижения тягового сопротивления до 75% от пассивного варианта.

Специфической особенностью рабочего органа является то, что скорости различных точек на лезвиях лапы в относительном, а следовательно и абсолютном движении не одинаковы по величине и направлению. Ударные импульсы имеют своё максимальное значение на внешних краях лезвий и уменьшаются по мере приближения к оси орудия. В результате, качество обработки почвы по ширине захвата не одинаково, что особенно проявляется с увеличением ширины захвата.

В значительной мере эти недостатки устранены в следующей конструкции. Механизм привода выполнен в виде двухэксцентрикового механизма (рис. 3) с креплением стойки плоскорезущей лапы на шатуне. При работе относительное движение шатуна круговое и все точки на нем и, как следствие, на рабочем органе движутся с одинаковой скоростью и в одном направлении.

Данная схема имеет ряд существенных преимуществ: качество обработки почвы одинаково по ширине захвата, отсутствуют знакопеременные нагрузки в механизме привода, что повышает его долговечность.

Аналитическая основа выполненных разработок базировалась на ряде допущений, основные из которых заключались в том, что

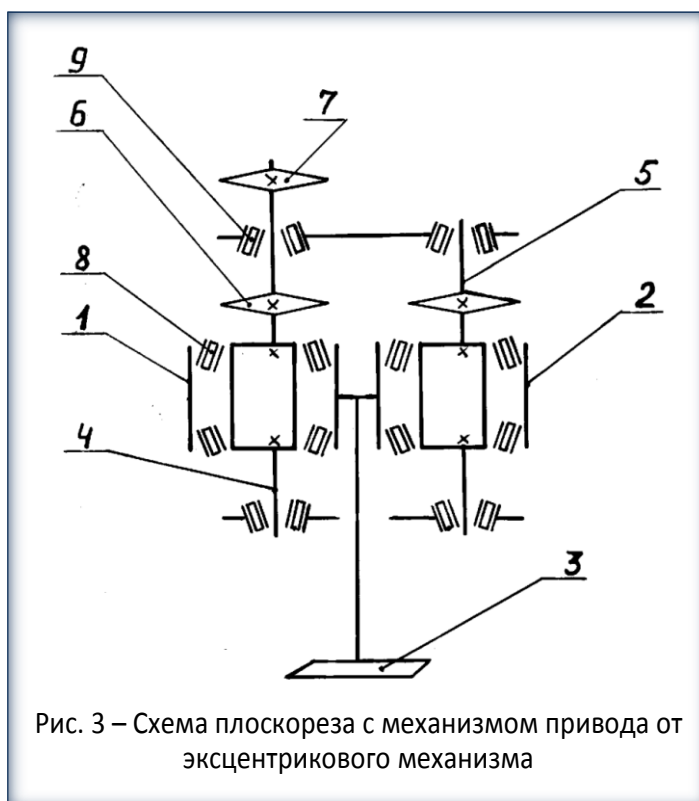


Рис. 3 – Схема плоскореза с механизмом привода от эксцентрикового механизма

почва рассматривалась как единая монолитная среда, а рабочий орган – как единый режущий периметр. Построенная на такой основе математическая модель носила в основном оценочный характер.

С появлением более совершенных средств вычислительной техники стало возможным перейти к более точным моделям. Были широко развёрнуты исследования по изучению закономерностей взаимодействия режущего периметра произвольной геометрической формы с обрабатываемой средой, что впоследствии вылилось в предложенную А.Н. Панченко общую теорию крошения почвы. В соответствии с этой теорией почва слагается из отдельных разновеликих агрегатов, связанных между

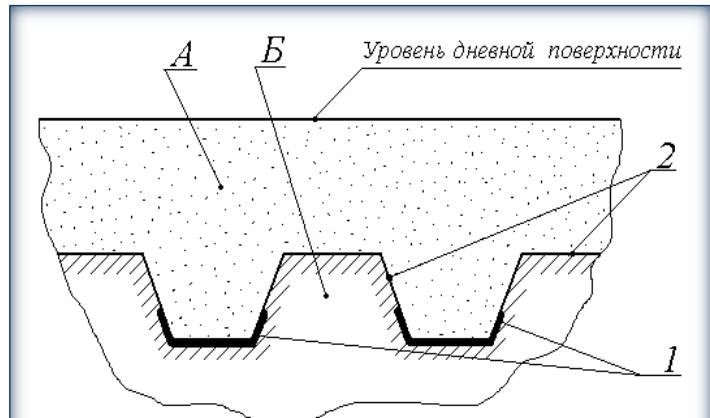


Рис. 4 – Профиль борозды после прохода чизеля

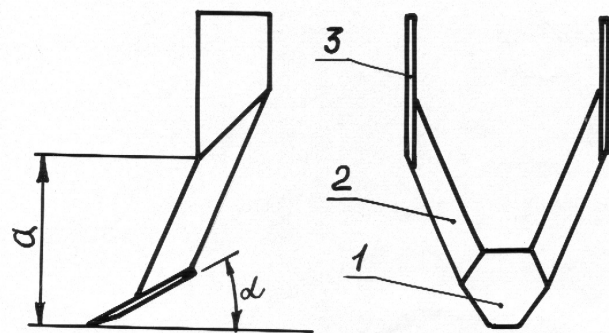


Рис. 5 – Конструктивная схема V-образного орудия

собой силами сцепления различной физической природы. Результирующая этих сил создаёт в почве внутреннее напряжение, которое преодолевается рабочим органом. Степень крошения определяется соотношением этих напряжений. Теперь, если рассматривать режущий периметр не как единое целое, а как совокупность большого количества элементарных клиньев, можно довольно точно описать происходящие в среде процессы, в том числе и с учётом вероятностного характера физических и механических свойств почвы.

Данный подход позволяет проектировать орудия на принципах адаптивности к обрабатываемой среде, т.е. на стадии проектирования мы можем прогнозировать качественные показатели крошения с учётом конкретных почвенных условий.

Принцип адаптивности нами использован при разработке V-образного орудия для чизель-плуга, ряда копачей для корнеплодов и картофеля.

Чизелевание как вид основной обработки почвы в последнее время находит все большее применение. Это связано в первую очередь с необходимостью регулирования водного режима почвы. Характерной особенностью технологического процесса, выполняемого чизельными орудиями, является рыхление с недорезом пласта по ширине захвата с образованием на дне борозды неразрушенных гребней и разрыхлённого слоя над гребнями (рис. 4).

При этом на дне борозды образуется уплотнённое ложе 1, которое служит для накопления влаги. Ввиду того, что в слое А капиллярные поры разрушены, испарение будет ограничено, а наличие капиллярных пор в слое Б способствует регулированию влагозаряда: либо снимает его избыток, либо подпитывает при недостатке.

Для устойчивого регулирования водного режима необходимо выполнить два дополнительных условия: поверхность 2 не должна быть уплотнена, т.е. должна быть образована сколом без непосредственного контакта с орудием и слой А должен состоять из почвенных агрегатов, оптимальных размеров для данного типа почвы. Как показали выполненные нами исследования для создания подобного профиля наиболее подходит орудие V-образной формы (рис. 5).

Орудие работает следующим образом. В процессе движения лемех 1 подрезает пласт почвы и направляет его в межстоечное пространство. Стойки 2 установлены таким образом, что пласт подвергается воздействию угла крошения в поперечно-вертикальной плоскости. Регулируя углы атаки лемеха и стоек можно достичь практически любой наперёд заданной степени крошения почвы.

Все представленные в статье конструктивные разработки доведены до выпуска опытных образцов и прошли полевые испытания, а на основе V-образного орудия был разработан чизель-плуг ПЧФ-2,2. Результаты его полевых испытаний показали устойчивое выполнение технологического процесса в соответствии со схемой чизелевания.

В последнее время машины, в основе которых заложены орудия дискового типа получают все большее распространение. Это, прежде всего, дисковые бороны, луцильники, дискаторы и дисковые плуги. Каждая из этих машин занимает свою нишу в системе машин для обработки почвы и не может быть исключена из общей системы машин.

Дискатор и плуг в этой группе занимают особое место, так как в них предусмотрена возможность смены углов постановки к вертикали и к направлению движения машины. Это даёт целый ряд преимуществ: возможность влиять на степень крошения, оборачивания и сдвига пласта применительно к конкретным условиям.

Отличие дискатора от плуга заключается в расположении дисков на раме: у дискатора оно рядное, у плуга – по традиционной схеме обычного лемешного плуга. Последнее связано с тем, что дискатор предназначен для поверхностной обработки почвы (15-18 см), а плуг для более больших глубин. Дело в том, что увеличение глубины требует увеличения диаметра дисков и расстояния между ними. При рядном расположении это неизбежно приводит к увеличению высоты не разрушенных гребней на дне борозды и, в конечном итоге, выходу их на поверхность. Расположение дисков по схеме традиционного плуга позволяет диски устанавливать ближе по оси движения и тем самым обеспечивать достаточное перекрытие по ширине захвата.

К особенностям обработки почвы дисковым плугом следует отнести:

- существенно меньшее тяговое сопротивление;
- отсутствие плужной подошвы;
- наличие гребней на дне борозды;
- возможность работы на переувлажнённых и засоренных крупностебельной растительностью почвах;
- возможность регулирования степени крошения, оборачивания и смещения пласта почвы.

Существенное отличие от обычного плуга заключается в укладке слоя почвы. При работе на спелых почвах он укладывает её ровным слоем, что упрощает последующую подготовку под посев.

Однако возможность смены углов постановки диска к вертикали и направлению движения имеет и обратную, негативную сторону: от их величины зависит положение точки приложения и направление равнодействующей силы тяги.

Совместно с Гуляйпольским механическим заводом АО «Мотор Сич» нами были выполнены работы по оптимизации конструктивной схемы дискового плуга для условий центральной полосы Украины (рис. 6).

В ходе аналитических исследований были найдены зависимости, определяющие основные конструктивные параметры

$$\Delta_1 < 2R \cos \gamma_h = 2R \cos \left[ \arcsin \left( 1 - \frac{h}{R \cdot \cos \beta} \right) \right], \quad (1)$$

$$\Delta > 1,88R \cos \alpha, \quad (2)$$

$$\theta = \arcsin \frac{\cos \left[ \arcsin \left( 1 - \frac{h}{R \cdot \cos \beta} \right) \right]}{0,94 \cos \alpha}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус диска;

$h$  – высота неразрушенных гребней на дне борозды;

$\alpha$  – угол постановки диска к направлению движения;

$\beta$  – угол постановки к вертикали;

$\Delta, \theta$  – параметры рамы плуга.

Полевые исследования были выполнены на трёхкорпусном варианте плуга (рис. 7).

С точки зрения качества обработки почвы, которое оценивалось по коэффициенту



структурности оптимальными для типовых условий центра Украины следует считать  $\alpha = 31^\circ$ ;  $\beta = 26^\circ$ . Диаметр диска 660 мм при глубине обработки (18-22) см. Это соответствует параметрам рамы:  $\Delta = 545$  мм;  $\Delta_1 = 285$  мм;  $\theta = 28^\circ$ .

Необходимость подачи воздуха и влаги к корням растений, имеющих значительную длину (сахарная свёкла, морковь), побуждают агротехнологов и конструкторов разрабатывать новые рабочие органы, выполняющие нужные технологии.

На рис. 8 приведен общий вид и процесс работы нового почвообрабатывающего рабочего органа типа «скоба», который также может быть применён для выкапывания корнеклубнеплодов.

Выполнение предъявляемых агротехнических требований должно обеспечиваться если рабочая поверхность скобы имеет подрезающие, крошащие и рыхлящие элементы, соответствующие фазам процесса взаимодействия рабочего органа с почвой.

Пласт, вырезаемый из монолита скобой, предварительно ещё в грунте обжимается в продольном направлении для потери связей и зарождения в нем зон интенсивного трещинообразования. Таким напряжениям соответствует геометрическая форма и расположение передней части скобы, её выдвинутая вперёд подрезающая кромка – лемех.

Подрезанный передней частью скобы пласт полностью выделяется из монолита боковыми стойками скобы, чтобы затем претерпеть на основном деформаторе противоположное по знаку воздействие.

Такая деформация будет особо эффективной, поскольку пласт уже претерпел незначительное сжимающее (в верхней части) и растягивающие (в нижней) напряжения.

При переходе пласта в район стоек на основную деформирующую поверхность форма последней заставляет напряжения изменяться как в продольном, так и в поперечном направлениях. Такое варьирование воздействий в двух направле-



а – общий вид



б – процесс работы

Рис. 8 – Рабочий орган типа «скоба»



ниях на предварительно сформированный в монолите пласт приносит интенсивную потерю связей в нем и, как следствие, обильное трещинообразование.

Разрыхление пласта комплексом равнонаправленных воздействий наиболее рационально, поскольку не травмирует его, не раздавливает и не сминает. Как показали полевые испытания знакопеременных скоб пласт после их взаимодействия имеет максимальную вспушенность, хорошо инфильтруется; наличие эродируемых водой и воздухом фракций в нем незначительно.

Из последних разработок кафедры необходимо отметить разработку стрельчатой лапы с локальными элементами упрочнения поверхности. Известные конструктивные решения (нанесение сормайта, точечное упрочнение поверхности и др.) направлены в основном на поддержание подрезающей способности лезвия лапы. В данном случае упрочняющие элементы нанесены таким образом (рис. 9), что в процессе износа тела лапы формируют и в дальнейшем поддерживают пилообразный микропрофиль лезвия.

Параметры нанесения упрочняющих элементов не зависят от скорости движения агрегата, то есть единая конструкция может быть использована в широком диапазоне скоростей (как междурядной, так и сплошной обработке почвы).

Наиболее эффективно наличие упрочняющих элементов проявляется при наработке в диапазоне (10...80) га.

Сравнительные испытания на междурядной обработке пропашных культур показали, что уничтожение сорняков в среднем увеличилось на 7,01 %.

Сравнительные испытания на обработке пара показали, что уничтожение сорняков в среднем увеличилось на 5,28 % [2].

Опыт проектирования культиваторных лап с локальными элементами упрочнения показывает возможность применения методики при разработке лап разных типов.

**Выводы.** Разработанные кафедрой сельскохозяйственных машин почвообрабатывающие орудия выполнены на современной аналитической основе и носят перспективный характер. Проведенные полевые исследования подтверждают улучшение технико-экономических показателей при их внедрении. В последующем, по мере проведения дополнительных экспериментов, они могут быть доведены до уровня серийного производства.



Рис. 9 – Стрельчатая лапа с элементами локального упрочнения поверхности

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волик, Б.А. Плоскорез с активными рабочими органами для основной обработки почвы / Б.А. Волик // Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. – Черкаси: ЧІТІ, 2000. – № 3. – С. 99-101.
2. Кобець, А.С. Польові дослідження стрілочастих лап, оснащених елементами локального зміцнення / А.С. Кобець, О.М. Кобець, А.М. Пугач // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2009. – № 2. – С. 31-35.

## REFERENCES

1. Volik, B.A. (2000), "Subsurface cultivator with active working organs for basic soil cultivation", *Visnyk Cherkaskogo inzhenerno-tehnologichnogo institutu*, no. 3, pp. 99-101.
2. Kobets, A.S., Kobets, O.M. and Pugach, A.M. (2009), "Field research of lancet pads equipped with elements of local strengthening", *Visnyk Dnipropetrovskogo derzhavnogo ahrarnogo universytetu*, no. 2, pp. 31-35.

## Об авторах

**Кобець Анатолій Степанович**, доктор економічних наук, професор, ректор, Дніпропетровський державний аграрний університет (ДГАУ), Дніпропетровськ, Україна

**Сокол Сергій Петрович**, старший преподаватель кафедри с/х машин, Дніпропетровський державний аграрний університет (ДГАУ), Дніпропетровськ, Україна

**Кобець Алексей Николаевич**, кандидат технічних наук, доцент кафедри с/х машин, Дніпропетровський державний аграрний університет (ДГАУ), Дніпропетровськ, Україна

**Волик Борис Анатольевич**, кандидат технічних наук, доцент кафедри с/х машин, Дніпропетровський державний аграрний університет (ДГАУ), Дніпропетровськ, Україна

**Пугач Андрей Николаевич**, кандидат технічних наук, доцент кафедри с/х машин, Дніпропетровський державний аграрний університет (ДГАУ), Дніпропетровськ, Україна

**Семенюта Александр Николаевич**, директор АО «Мотор Сич»

## About the authors

**Kobets Anatoly Stepanovich**, Doctor of Economical Sciences (D. Sc.), Professor, Prex, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Sokol Sergey Petrovich**, Senior Teacher, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Kobets Alexey Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Volik Boris Anatolievich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Pugach Andrey Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, Dnepropetrovsk State Agrarian University (DSAU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Semenyuta Alexandr Nikolaevich**, Director of Joint-Stock Company «Motor Sich»