

УДК 611:612:631.31

БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Бабицкий Л.Ф., д.т.н., акад.

Москалевич В.Ю., к.т.н.

Южный филиал НУБиП Украины

«Крымский агротехнологический университет»

Тел/факс (0652) 26-38-23

Анотація – запропоновано схему біонічного моделювання ґрунтообробних робочих органів. Розглянуто напрями застосування біонічних моделей до підвищення ефективності технологічних процесів механічного обробітку ґрунту.

Ключові слова – обробіток ґрунту, системний підхід, біоніка, біологічний прототип, модель.

Постановка проблемы. Обработка почвы, как один из наиболее важных и энергоёмких процессов в сельскохозяйственном производстве, требует применения системного подхода к обоснованию технологии её выполнения. Почва является сложной биологической системой, от показателей функционирования которой зависит урожайность сельскохозяйственных культур, поэтому анализ взаимодействия с ней почвообрабатывающих орудий следует проводить с использованием принципов общей теории систем.

Анализ публикаций. Основы бионического моделирования заложены в трудах основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина, который рассматривал движение мобильных агрегатов по аналогии с движением животных [3]. На необходимости учитывать свойства почвы как живой материи при построении рабочих процессов сельскохозяйственных машин акцентировал внимание доктор технических наук А.Н. Гудков [4]. Созданию и развитию биосистемного подхода в почвообработке посвящены исследования доктора технических наук, профессора Л.Ф. Бабицкого [2].

Постановка задачи. В этом аспекте необходимо рассматривать систему «почва-растение» с внедрением в неё механического рабочего органа. Поскольку в живую биологическую систему внедряется искусственный рабочий орган, требуется обосновать их совместимость.

Основная часть. Весьма перспективным в этом плане является применение принципов и методов бионики для обеспечения надёжного функционирования такой системы с искусственным рабочим органом. При этом в первую очередь в систему «почва-растение» вводится биологический прототип, как более совместимый с ней, а затем по бионическому прототипу моделируется рабочий орган. Схема моделирования такой бионической системы представлена на рис. 1.

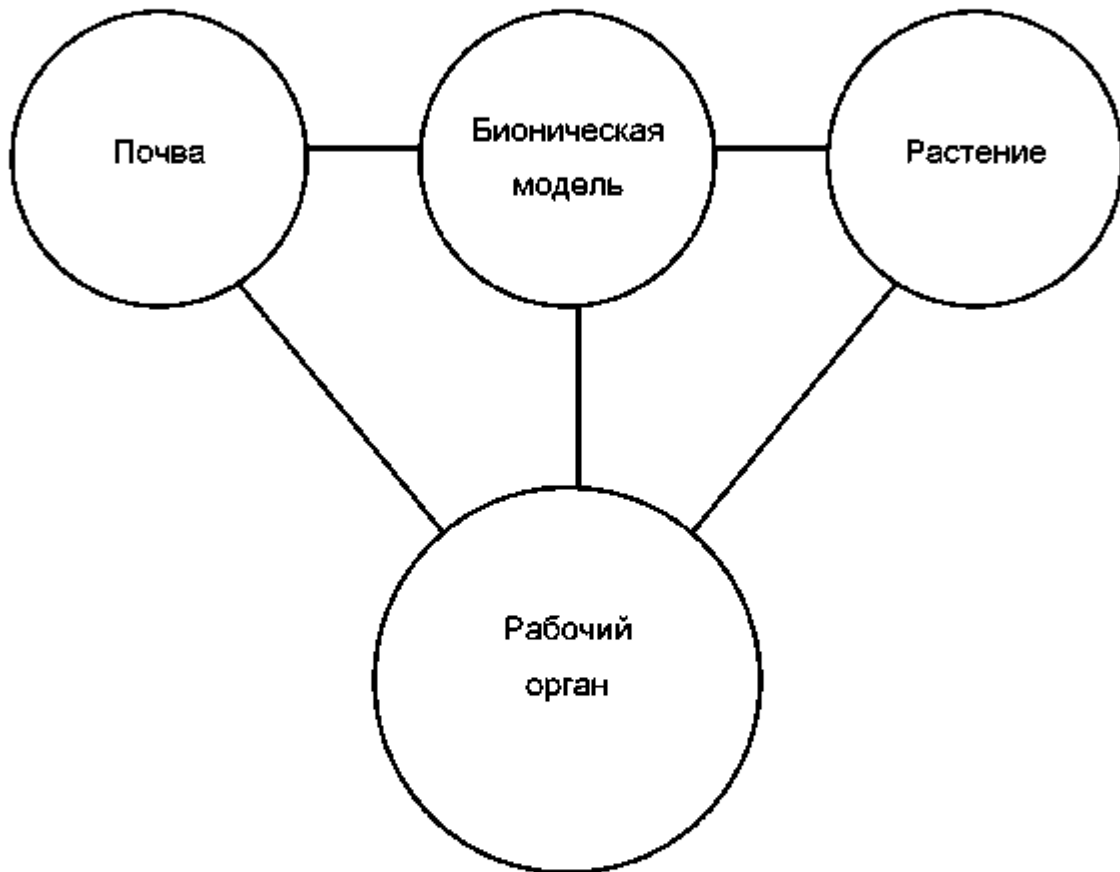


Рис. 1. Схема бионического моделирования почвообрабатывающих рабочих органов.

В качестве биологических прототипов следует выбирать организмы, обладающие свойствами, соответствующими назначению создаваемых технических решений. Для рабочих органов почвообрабатывающих машин такими прототипами могут быть роющие млекопитающие (крот, землеройка, броненосец, сурок и др.), почвообитающие насекомые (медведка, жук-носорог) и их личинки, а также земляные черви.

Функции рытья у жука-носорога и медведки выполняют передние ноги, хорошо приспособленные для копания и перемещения почвы. Копающая конечность медведки имеет лапку с четырьмя выступающими зубцами. У жука-носорога имеются толстые копательные передние ноги с тремя большими зубцами [2]. Такие роющие конеч-

ности биологических прототипов, оказывающие прерывистое в пространстве и периодическое во времени действие на почву, могут служить основой для бионического моделирования зубчатых рабочих органов безотвальных плугов, щелевателей и культиваторов-плоскорезов.

Двухсторонний зубчатый нож плоскорезной лапы содержит основание 1 и лезвия 2 с выступами 3 и впадинами 4, описанными дугами окружностей с радиусами 5 и 6, равными половине максимальной ширины 7 ножа, при этом выступы и впадины лезвий с обеих сторон основания расположены друг против друга с шагом 8, равным максимальной ширине ножа (рис. 2).

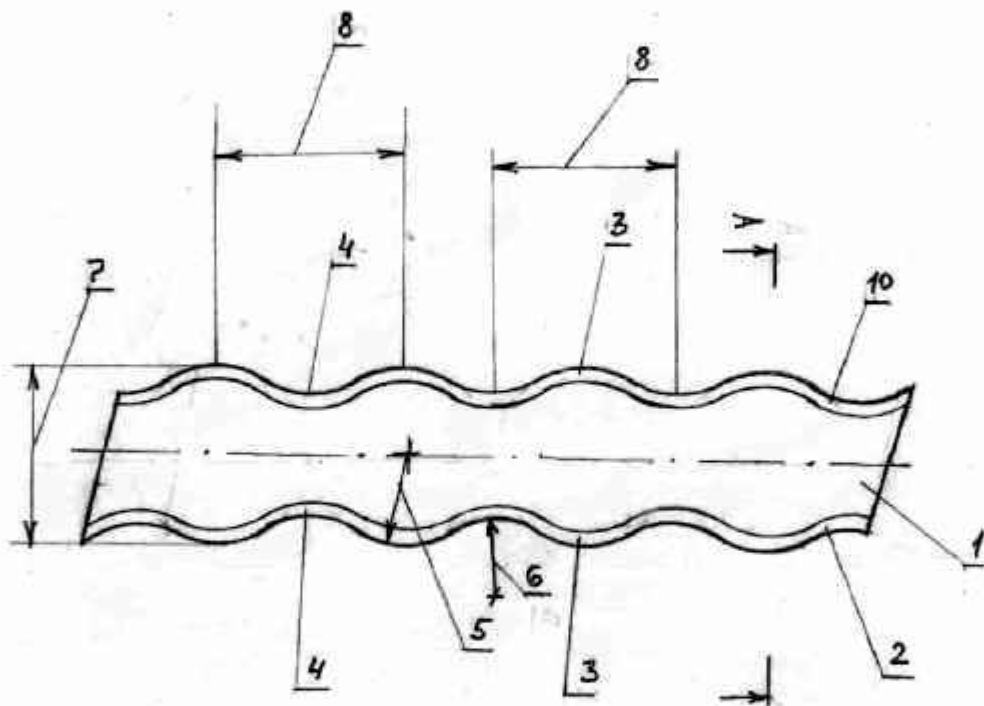


Рис. 2. Двухсторонний зубчатый нож плоскорезной лапы.

При установке на лапу плоскореза и заглаблении ножа в почву выступы 3 первыми врезаются в пласт почвы и, за счет значительного своего выдвигания вперед по отношению к впадинам 4, выступы 3 повышают концентрацию напряжений в почве по всей длине лезвия ножа, значительно снижая тем самым перепад между напряжениями и давлением на лезвие почвы между кромками лезвий у носка лапы и у противоположного края ножа, что повышает равномерность износа и срок службы ножа. Такое исполнение двухстороннего ножа плоскорезной способствует увеличению срока службы ножа и улучшению качества обработки почвы [8].

Стенка тела дождевого червя состоит из пяти основных слоёв: тонкой неклеточной кутикулы, кожного эпителия, состоящего из одного слоя клеток, двух слоёв мускулатуры (наружного кольцевого и

внутреннего продольного) и внутреннего слоя эпителия, ограничивающего вторичную полость тела, в которой располагаются внутренние органы. Эта полость, заполненная прозрачной жидкостью, содержащей взвешенные в ней клетки, разделена тонкими мускулистыми перегородками на отдельные отсеки, соответствующие наружной сегментации тела. Жидкость, заполняющая полость тела, не сжимается и поэтому служит червю хорошим «гидравлическим скелетом».

Когда червь зарывается в землю с поверхности или прокладывает новый ход в толщине почвы, он действует своим передним концом как клином, расталкивая частицы почвы в стороны (рис. 3). Если червю не удастся найти трещину в почве, он начинает вонзять в нее переднюю часть, ударяя изнутри зевом, приводимым в действие с помощью гидродинамического механизма. Продолав брешь в почве, червь увеличивает давление в передней части тела, которая расширяется одновременно с образующимся отверстием. Повторяя описанные выше движения, червь продвигается в почве [5]. Перечисленные особенности строения тела червя и его движения позволяют применить к нему реологическую модель упруго-вязкого тела Кельвина-Фойгта, в котором упругий и вязкий элементы соединены параллельно.

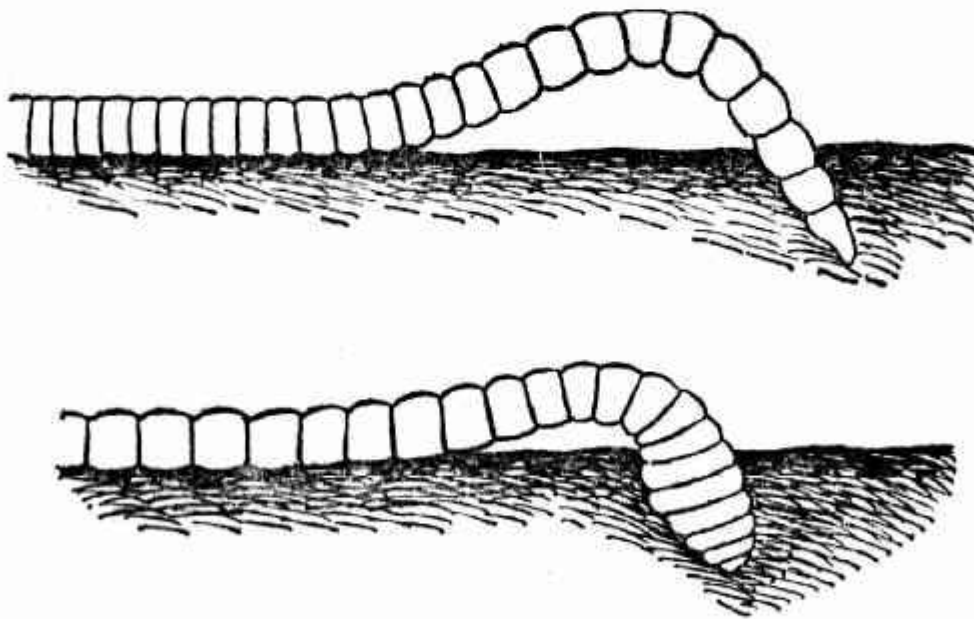


Рис. 3. Дождевой червь, внедряющийся в почву.

Почва представляет собой сочетание твердого, жидкого и газообразного компонентов. Поэтому при построении реологической модели почвы необходимо представить ее квазиоднофазной средой, когда соотношение фаз в единице объема не изменяется или изменяется незначительно. Поскольку почва обладает совокупностью упругих, вязких и пластических свойств, то для описания её состояния в целом можно использовать обобщенную упруго-вязко-пластическую модель

[6]. Для решения конкретных задач по взаимодействию рабочих органов с почвой целесообразно использовать упрощенную ее реологическую модель, состоящую из параллельно соединенных тел Максвелла и Сен-Венана.

На основании вышеизложенного модель взаимодействия дождевого червя с почвой представим в следующем виде (рис. 4).

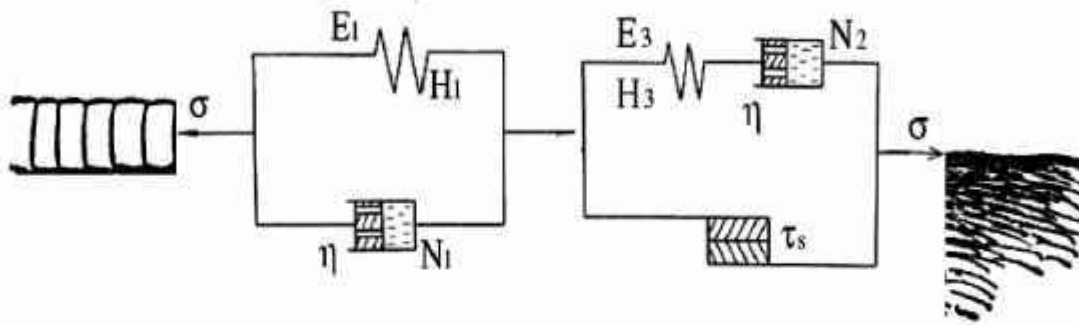


Рис. 4. Модель взаимодействия дождевого червя с почвой.

Левая часть модели, описывающая червя, представляет собой реологическое тело Кельвина-Фойгта, а правая часть, изображающая почву – тело Максвелла-Сен-Венана.

Предлагаемая модель (рис. 4) позволяет составить уравнения связи деформаций и напряжений модели взаимодействия червя и почвы:

$$\sigma_K = \sigma_{H1} + \sigma_{N1}, \quad (1)$$

$$\sigma - \tau_s = \sigma_{H3} + \sigma_{N2}, \quad (2)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{H3} + \varepsilon_{N2}. \quad (3)$$

Подставляя в уравнения (1-3) зависимости между деформациями и напряжениями для входящих в модель простых реологических тел, получим дифференциальные уравнения, решение которых позволит найти связь между деформациями и напряжениями рассматриваемой модели:

$$\sigma_K = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (4)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon_{H3}}{dt} + \frac{d\varepsilon_{N2}}{dt}, \quad (5)$$

$$\frac{d\varepsilon_{N2}}{dt} = \frac{\sigma_{N2}}{\eta} = \frac{\sigma - \tau_s}{\eta} \quad (6)$$

При моделировании почворезущих деталей в качестве бионических прототипов предлагается использовать когти и зубы животных. Наконечник с формой когтя имеется у очень многих животных: амфибий, рептилий и птиц, а также у большинства стопо- и пальцеходящих млекопитающих. Среди последних когти особенно сильно развиты у хищных животных. На когте выделяют когтевой валик с когтевым желобом, когтевую стенку с венчиком и когтевую подошву (рис. 5). Коготь предохраняется от стирания особыми эластическими связками [1].

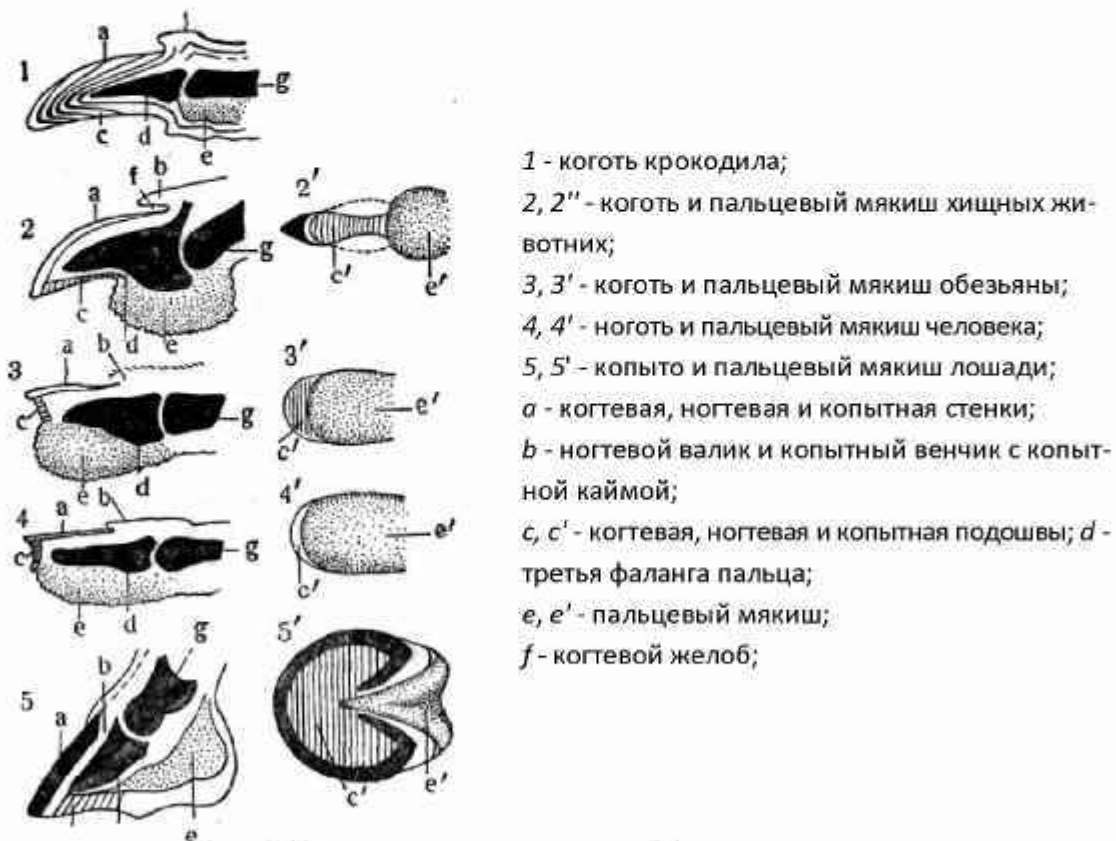
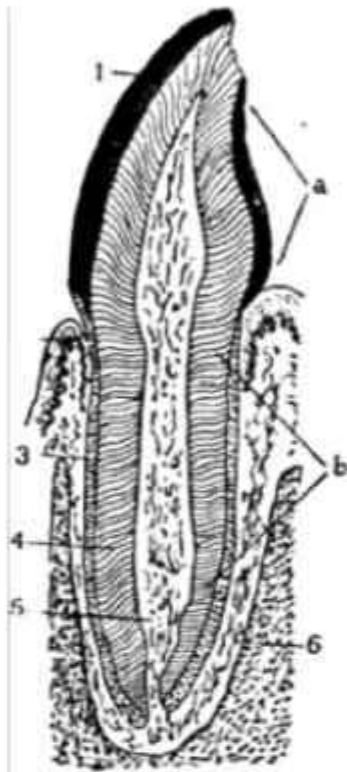


Рис. 5. Схема строения когтей у различных животных.

У большинства зубов принято различать резко выраженную коронку, шейку, которая представляет суженную его часть, следующую за коронкой, и корень. Различают резцовые зубы, клыки и коренные зубы. У грызунов резцы растут длительное время со стороны корня,

выдвигаясь по мере стирания. Постоянные резцовые зубы имеют форму слегка изогнутой, с заострённым краем лопатки, причём коронка резко отделяется от округлого корня шейкой (рис. 6). Постоянные резцы у лошадей обладают характерной формой изогнутых клиньев. Такие зубы в течение жизни животного выдвигаются из челюсти продолжительное время.



- a* — коронка; *b* — корень; 1 — эмаль;
 2 — десна; 3 — цемент; 4 — дентин;
 5 — полость зуба с пульпой;
 6 — вентральная челюсть.

Рис. 6. Продольное сечение резцового зуба жвачных животных.

Поверхность резца, направленная в сторону губы, выпукла по длине зуба. Противоположная язычная поверхность вогнута по длине и от коронки к корню также суживается. Режущая, или трущаяся, поверхность коронки несёт на себе две выступающие складки эмали. Эмаль одевает почти весь дентин, а на режущем конце зуба загибается.

Необходимо отметить, что режущие части когтей и зубов имеют криволинейную форму и состоят из слоёв разной твердости, причём более твёрдый слой имеет выпуклую поверхность, а менее твёрдый – вогнутую. Такое строение обеспечивает эффект самозатачивания и длительного поддержания остроты режущей кромки, что представляет интерес с точки зрения моделирования почворежущих деталей.

Принцип выдвигания режущих частей когтей и зубов животных реализуется в предложенной модели культиваторных лап благодаря тому, что на верхнюю поверхность каждого из крыльев основы лапы устанавливаются накладки, которые выступают за линию лезвий

крыльев, а на передню част лапы, по ее оси, поверх накладок устанавливается сменный носок, который выступает за линию лезвий накладок, при этом накладки и носок устанавливаются с возможностью перестановки вдоль оси лапы, а их толщина меньше толщины основы лапы [7]. При работе таких лап обеспечивается поддержание на протяжении продолжительного времени в определенных пределах необходимой толщины кромки их лезвий культиваторных лап, снижение удельного тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата и эксплуатационных затрат при обработке почвы.

Особенности строения когтей и зубов животных использованы при моделировании почворезущих деталей, состоящих из двух слоев материала разной твердости. В модели лезвия такой детали обеспечение прочного соединения твердого слоя с основой лезвия, увеличение долговечности работы лезвия и обеспечение достаточной остроты его кромки достигается тем, что на рабочую поверхность 3 его основы 1 наносят износостойкий материал слоем значительно большей толщины, чем при известных способах упрочнения, прогревают переднюю часть 8 основы и дополнительно соединяют между собой основу и слой износостойкого материала путем механического ударного воздействия с взаимопроникновением слоев основы 1 и износостойкого материала 2 и изменением формы задней плоскости лезвия по линии 7, кривизна которой направлена в сторону основы лезвия (рис. 7).

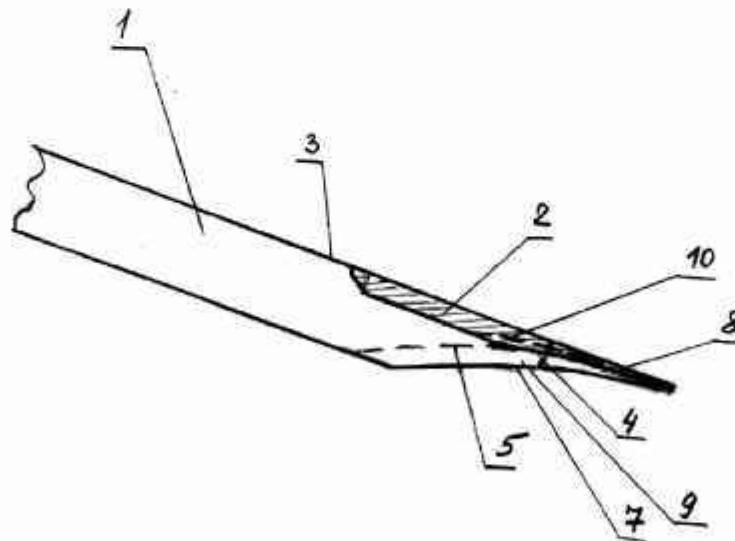


Рис. 7. Схема предлагаемого способа упрочнения лезвий.

Для восстановления утраченной вследствие износа остроты кромки лезвия, упрочненного предлагаемым способом, нагревают его переднюю изношенную часть 9 и изменяют форму задней плоскости лезвия путем механического ударного воздействия на слои основы 1 и износостойкого материала 2, при этом задняя плоскость основы будет ограничена линией 5, а слой износостойкого материала – линией 10.

При этом удаления материала основы не происходит, что способствует значительному увеличению ресурса лезвия. Заостренность кромки лезвия, упроченного предложенным способом, значительно выше заостренности кромки лезвия, упроченного существующими способами, что дополнительно будет способствовать снижению тягового сопротивления и улучшению качества обработки почвы [9].

Выводы. Предлагаемая схема бионического моделирования почвообрабатывающих рабочих органов дает возможность создавать новые их типы, максимально адаптированные к почве как элементу биологической системы. Изучение взаимодействия земляных червей с почвой на основе реологических моделей позволяет описать этот процесс дифференциальными уравнениями и в результате их решения найти связь между деформациями и напряжениями. На основе бионического анализа строения режущих и роющих приспособлений животных предложены новые технические решения почворежущих деталей, использование которых будет способствовать улучшению качества обработки почвы, повышению надежности рабочих органов и технологического процесса, а также снижению эксплуатационных затрат при обработке почвы.

Литература

1. *Акаевский А.И.* Анатомия домашних животных / *Акаевский А.И.* – М.: Колос, 1975. – 592 с.
2. *Бабицький Л.Ф.* Біонічні напрямки розробки ґрунтообробних машин / *Леонід Федорович Бабицький.* – К.: Урожай, 1998. – 164 с.
3. *Горячкин В.П.* Собрание сочинений: в 3 т. / *В.П. Горячкин.* – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 1968. – 454 с.
4. *Гудков А.Н.* Теоретические основы построения рабочих процессов сельскохозяйственных машин с учетом характера живой материи растений, животных, почвы / *А.Н. Гудков* // *Земледельческая механика.* – М.: Машиностроение, 1966. – Т9. – С. 86-97.
5. *Жизнь животных:* в 7 т. / [ред. *Ю.И. Полянский*]. – М.: Просвещение, 1987. – Т.1: Простейшие. Пластинчатые. Губки. Кишечнополостные. Гребневики. Плоские черви. Немертинуы. Круглые черви. Кольчатые черви. Щупальцевые. – 1987. – 448 с.
6. *Кушнарёв А.С.* Механико-технологические основы обработки почвы / *А.С. Кушнарёв, В.И. Кочев.* – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
7. Пат. 24403 України, А01В 33/00. Лапа культиватора / *В.І. Тарасенко, Л.Ф. Бабицький, В.П. Сальніков*; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. – №u200702704; заявл. 14.03.; опубл. 25.06.2007, Бюл. №9.
8. Патент 47730 України, МПК А01D 34/00. Двосторонній ніж плоскорізної лапи / *Л.Ф. Бабицький, В.І. Тарасенко, А.О. Кувшинов, В.Ю.*

Москалевич; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. - №u200907560; заявл. 17.07.09; опубл. 25.02.2010, Бюл. №4.

9. Патент 87185 України, МПК А01В 33/00. Спосіб зміцнення леза / *Л.Ф. Бабицький, В.І. Тарасенко, В.Ю. Москалевич*; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. - №a200708946; заявл. 03.08.07; опубл. 25.06.2009, Бюл. №12.

БИОНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Л.Ф. Бабицкий, В.Ю. Москалевич

Аннотация

Предложена схема бionического моделирования почвообрабатывающих рабочих органов. Рассмотрены направления применения бionических моделей к повышению эффективности технологических процессов механической обработки почвы.

Ключевые слова: обработка почвы, системный подход, бionика, биологический прототип, модель.

BIONIC DESIGN OF PROCESS OF TOOLING OF SOIL

L.F. Babitsky, V.J. Moskalevich

Summary

The chart of bionic design of tillage tools is offered. Directions of application of bionic models are considered to the increase of efficiency of technological processes of tooling of soil.

Keywords: tooling of soil, systems approach, bionics, biological prototype, model.