

УДК 62-2

**Т.В. Кожарина, С.В. Карпов, А.Р. Гороновский**  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь  
Тамбовский государственный технический университет  
Тамбов, Россия

## **АНАЛИЗ БИОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН**

*Аннотация.* В статье представлен метод повышения износостойкости инструментов почвообрабатывающих машин на основе применения бионического дизайна. Исследование основано на применении методов вычислительной гидродинамики для комплексного анализа зон повышенной истираемости почвообрабатывающих инструментов.

**T.V. Kozharina, S.V. Karpov, A.R. Goronovsky**  
Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus  
Tambov State Technical University  
Tambov, Russia

## **ANALYSIS OF BIONIC STRUCTURES FOR WORKING BODIES OF TILLAGE MACHINES**

*Abstract.* The article presents a method of increasing the wear resistance of tools of tillage machines based on the use of bionic design. The study is based on the application of computational fluid dynamics methods for the complex analysis of zones of increased abrasion of tillage tools.

В условиях повышенного влияния эрозионного износа на поверхности почвообрабатывающих деталей, методы повышения их стойкости к износу играют важную роль. Традиционные подходы, такие как термообработка и химическое модифицирование поверхности, уже достигли своих пределов в некоторых условиях эксплуатации и стандартах безопасности. В связи с этим, исследователи обращают внимание на новые методы и подходы, включая бионический дизайн, который предлагает использовать принципы, заимствованные из природы, для снижения негативного влияния эрозии.

Бионический дизайн основан на изучении и анализе природных систем и процессов, чтобы найти эффективные решения для различных технических проблем. В контексте борьбы с эрозионным износом, бионика может предложить уникальные идеи и инновационные

методы, которые помогут повысить стойкость поверхностей деталей к износу.

Одним из примеров бионического дизайна, применяемого в борьбе с эрозионным износом, является использование структур, аналогичных структурам, наблюдаемым в природе. Например, в работе [1] говорится о том, что поверхность деталей может быть покрыта микрорельефом, который имитирует масштабные структуры, такие как поверхность листьев или кожи животных. Эти микрорельефы могут улучшить гидродинамические свойства поверхности, снизить силу трения и увеличить устойчивость к эрозии.

В исследовании [3] был исследован медвежий коготь с целью его имитации для будущей конструкции инструментов для глубокой обработки почвы. С использованием метода дискретных элементов (DEM) была разработана численная модель для моделирования взаимодействия когтя медведя с почвой. Во время моделирования регистрировались силы резания почвы когтем и отслеживалось нарушение почвы

Кроме того, бионический дизайн может включать использование материалов с уникальными свойствами, аналогичными свойствам, присущим живым организмам. Например, как показано в работе [2] использование композитных материалов с высокой прочностью и гибкостью может значительно повысить стойкость поверхностей деталей к механическому износу.

В качестве бионических прототипов выбраны строения фарерского гребешка, гавайского моллюска, дождевого (земляного) червя и кожи акулы, что показано в таблице 1.

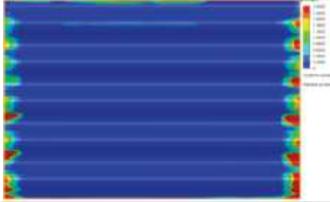
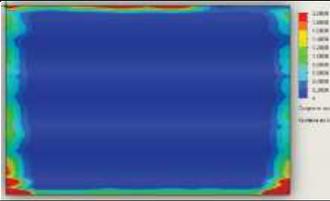
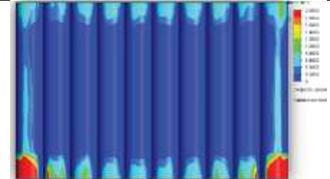
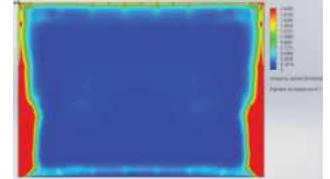
Гребешки, живущие в океане, имеют хорошую гидрофобность и стойкость к истиранию. Одной из причин такой стойкости является геометрия поверхности тела. Гавайский моллюск имеет такие же характеристики, как и Фарерский гребешок, но отличается геометрией поверхности. Дождевые черви живут в почве и могут эффективно передвигаться без прилипания почвы благодаря свойствам поверхности своего тела. Смазывающая способность тела дождевого червя является еще одним важным фактором, снижающим адгезию почвы. Кожа акулы имеет геометрию, которая эффективно контролирует естественные турбулентные вихри, что приводит к уменьшению сопротивления. Чешуйчатая структура создает для акул почти идеальные гидродинамические условия. Благодаря узору, состоящему из впадинок и выступов, чешуйки гасят турбулентные возмущения в потоках воды, обтекающих тело акулы, и снижают

сопротивление среды, что делает этих рыб чуть ли не самыми быстрыми пловцами [2-4].

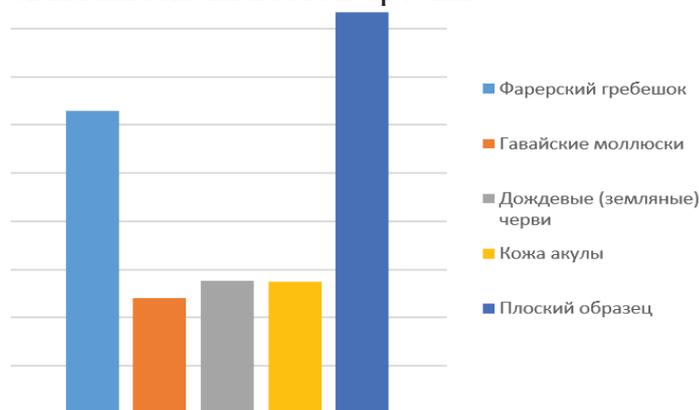
Структура прототипов представляет собой прямоугольное основание 60x40x1 мм, на котором расположена геометрия. Исследуемые образцы располагались в центре прямоугольного канала 90x70x30 мм, в котором движется среда, имитирующая почву: несжимаемая жидкость с коэффициентом вязкости  $\mu_s = 150$  Па·с и плотностью  $\rho_s = 1500$  кг/м<sup>3</sup>.

Для решения внешней задачи обтекания твердого тела движущейся средой использовался модуль SolidWorks Flow Simulation. В качестве критериев сходимости использовались значения полного и минимального давлений в расчетной системе, подробная характеристика показана в таблице 1.

**Таблица 1 - Характеристика образцов**

	Прототип	Скорость эрозии	Значение интенсивности эрозии
Фарерский гребешок	 $f(x) = 3 \sin(0.4x)$		$3.15 \cdot 10^{-10}$
Гавайские моллюски	 $y = 56.1 + 10.1 \sin[(x - 66.8)\pi / 87.8]$		$1.20 \cdot 10^{-10}$
Дождевые (земляные) черви	 $y = \sin(\pi x / 8)$		$1.38 \cdot 10^{-10}$
Кожа акулы	 		$1.37 \cdot 10^{-10}$
Плоский образец			$4.17 \cdot 10^{-10}$

На основе методики [5] рассчитывали скорость эрозии на лицевых поверхностях для твердых частиц диаметром 0,2 мм, средний массовый расход которых составил 4 кг/с. На основании распределения скорости эрозии по поверхностям образцов были рассчитаны значения суммарных массовых интенсивностей эрозии.



**Рис. 1- Сравнение полученных результатов**

Как видно из рис. 1, наибольшее значение  $R_e$  получено для гладкой пластины ( $4,17 \cdot 10^{-10}$  кг/м²\*с). Далее, в порядке убывания следуют образцы ФГ, ДЧ, КА и ГМ, имеющие  $R_e$   $3.15 \cdot 10^{-10}$ ,  $1.38 \cdot 10^{-10}$ ,  $1.37 \cdot 10^{-10}$  и  $1.2 \cdot 10^{-10}$  кг/м²\*с соответственно. Таким образом, интенсивность абразивного износа образца бионического дизайна отличается от износа гладкой пластины более чем в 3 раза. Следовательно, можно сделать рекомендацию, на применение бионической геометрии гавайского моллюска, дождевого червя и кожи акулы.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение бионического дизайна для создания новых конструкций почвообрабатывающих органов является перспективным направлением.

Таким образом, применение бионического дизайна на основе земляных животных является эффективным способом повышения износостойкости режущих частей почвообрабатывающих машин и улучшения их производительности. Изучение природных систем и процессов может помочь создать более эффективные и устойчивые технические решения, которые будут соответствовать требованиям современной экологически ответственной инженерии.

Дальнейшие исследования в этой области могут привести к разработке инновационных технологий, которые будут эффективно применяться в различных условиях эксплуатации и стандартах безопасности. Бионический дизайн открывает новые горизонты для повышения стойкости поверхностей деталей к износу и обещает улучшить эффективность существующих методов.

## Список используемых источников

1. Yu H. et al. Bionic design of tools in cutting: Reducing adhesion, abrasion or friction // Wear. 2021. Vol. 482–483.
2. Huang W. et al. Optimization design and experimental analysis of bionic viscosity reduction of chisel type energy saving subsoiling shovel // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1635. – №. 1. – С. 012036.
3. Li B., Chen Y., Chen J. Modeling of soil–claw interaction using the discrete element method (DEM) // Soil and Tillage Research. – 2016. – Т. 158. – С. 177-185.
4. Yu, H., Han, Z., Zhang, J., & Zhang, S. (2021). Bionic design of tools in cutting: Reducing adhesion, abrasion or friction. Wear, 203955.
5. Amara M. et al. Effect of sand particles on the Erosion-corrosion for a different locations of carbon steel pipe elbow // Procedia Structural Integrity. Elsevier B.V., 2018. Vol. 13. P. 2137–2142.

УДК 621.791.722

**Е.В. Терентьев, Х.М. Козырев, К.Т. Бородавкина, Д.В. Шишкин**  
"НИУ МЭИ"  
Москва, Россия

## **ПОЛУЧЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ СТАЛЬ-ТИТАН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СЛОЕВ ИЗ МЕДИ И НИОБИЯ**

*Аннотация.* Работа посвящена получению конструкции «титан-сталь» через слои ниобия и меди. Проведено металлографическое исследование. Построено распределение твердости. Отмечены технологические сложности наплавки ниобия на титан, а также стали на медь. Получено временное сопротивление конструкции на уровне меди.

**Е.В. Terentyev, К.М. Kozyrev, К.Т. Borodavkina, Д.В. Shishkin**  
National Research University "MPEI"  
Moscow, Russia