

## **РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОРФЯНЫХ МАШИН**

© Горлов И.В., Болотов А.Н.,  
Полетаева Е.В., 2024

*Аннотация.* Указано, что существует проблема ремонта торфяных машин старых модификаций, связанная с отсутствием запасных частей. Отмечено, что альтернативой изготовления новых деталей может быть восстановление частично изношенных деталей торфяных машин пластическим деформированием. Сделан вывод, что для проведения качественного восстановления необходимо разработать методику решения пространственной задачи.

*Ключевые слова:* торфяные машины, ремонт, восстановление, пластическая деформация, пространственная задача.

### **SOLUTION OF A SPATIAL PROBLEM IN RESTORING WORN PARTS OF PEAT MACHINES**

*Abstract.* It is indicated that there is a problem of repairing peat machines of old modifications associated with the lack of spare parts. It is noted that an alternative to manufacturing new parts may be the restoration of partially worn parts of peat machines by plastic deformation. It is concluded that in order to carry out high-quality restoration, it is necessary to develop a methodology for solving a spatial problem.

*Keywords:* peat machines, repair, restoration, plastic deformation, spatial problem.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Вследствие прекращения серийного производства ряда торфяных машин возникла глобальная проблема отсутствия необходимого количества качественных запасных частей для ремонта. Это привело к тому, что организации, производящие капитальный и текущий ремонт агрегатов для добычи торфа, были вынуждены изготавливать необходимые комплектующие самостоятельно, на базе имеющегося универсального оборудования [1, 2]. Качество таких комплектующих не всегда соответствует предъявляемым требованиям, поэтому альтернативой производства новых деталей является восстановление частично изношенных деталей торфяных машин.

Наиболее перспективным методом восстановления является пластическое деформирование, так как данный метод не требует дорогостоящего технологического оборудования и значительных энергетических затрат. Например, способ восстановления локально

изношенной поверхности (см. патент РФ 2 447 981 С2) позволяет восстанавливать указанные поверхности с помощью пластического деформирования по прилегающей поверхности.

### АНАЛИЗ ИЗНОСА КУЛАЧКОВОЙ МУФТЫ

У агрегата для фрезерования торфяной залежи есть сопряжение муфты фрезерного барабана с кулачковой муфтой, которая интенсивно изнашивается. Муфта представляет собой сопряжение цилиндрического отверстия фрезы и сферы диаметром 100 мм. Из-за неровностей на поверхности торфяной залежи рама вместе с фрезой может разворачиваться на угол до  $3^\circ$ . В результате разворота корпуса фрезы при вращении начинается проскальзывание цилиндрической поверхности отверстия 4 муфты относительно сферы 3, установленной на шлицевой вал привода фрезы, что вызывает износ (рис. 1). Корпусы фрез для устаревших агрегатов сейчас не производятся, а ремонт в нынешних условиях дорог и не обеспечивает нужного качества.

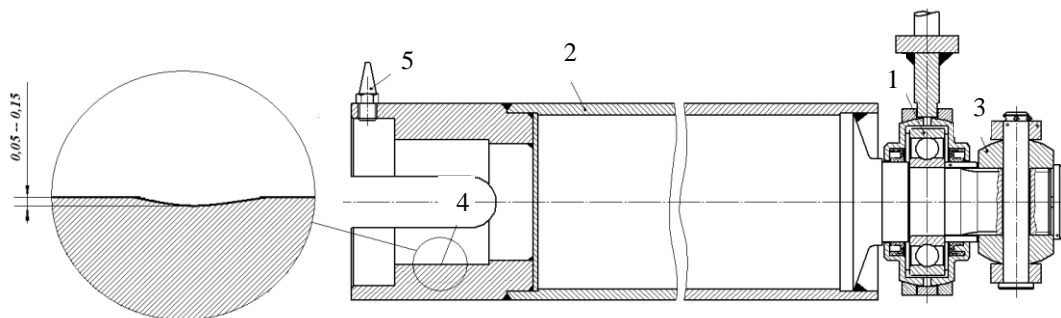


Рис. 1. Схема расположения износа на контактной поверхности муфты:  
1 – опорный подшипник фрезы; 2 – корпус фрезы;  
3 – сферическая поверхность муфты; 4 – контактная поверхность муфты  
в корпусе фрезы; 5 – зуб фрезы

### РЕШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ

Наиболее точное решение геометрической задачи при восстановлении локального износа по прилегающей поверхности можно получить на основе экспериментальных данных. Анализ данных позволяет разработать методику определения геометрических параметров зоны восстановления по конкретным значениям износа [3].

Для проведения исследований был выбран индентор диаметром 2 мм, с конической рабочей частью, с углом при вершине  $45^\circ$ , что обеспечивает гарантированное скольжение восстанавливаемого материала по образующей конуса; восстанавливаемый зазор равен 0,2 мм.

Решение поставленной задачи целесообразно начать с определения геометрических параметров зоны восстановления в локальной точке, а затем на их основе получить решение для всей реконструируемой поверхности [4]. Геометрические параметры зоны восстановления в

локальной точке представлены на рис. 2. Конический индентор с силой  $P$  внедряется в деформируемый материал на глубину  $h$ ;  $a$  – зазор между восстанавливаемой и ограничивающей поверхностями. При этом объем, вытесненный индентором, перераспределяется в зону восстановления. Вытесняемый объем легко находится исходя из формы и размеров индентора, внедренного на глубину  $h$ : он будет равен объему конуса плюс объем цилиндрической части, если глубина внедрения превысит высоту конуса. Восстанавливаемый объем равен объему кольца с внутренним диаметром  $d$ , наружным диаметром  $L$  протяженности восстановленной поверхности, с высотой  $a$ , равной зазору между восстанавливаемой поверхностью и ограничивающей. Объем тела, ограниченного поверхностью 5, представляет собой объем тела вращения с внутренним диаметром, равным  $L$ , и высотой  $a$ .

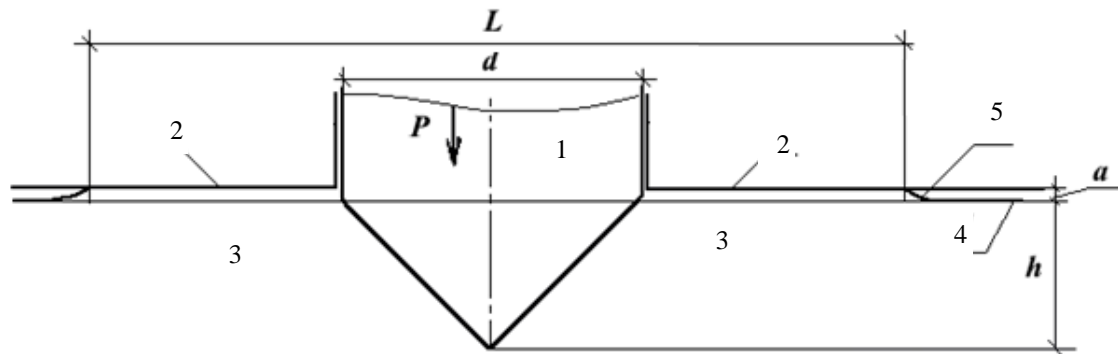


Рис. 2. Геометрические параметры зоны восстановления в точке:  
 1 – конический индентор; 2 – ограничивающая поверхность;  
 3 – деформируемый материал; 4 – восстанавливаемая поверхность;  
 5 – поверхность

При внедрении индентора на глубину  $0,5d$  (в начале формирования площадки восстановления) объем  $V_k$  вытесненного материала можно рассчитать как

$$V_k = \frac{\pi d^3}{24}. \quad (1)$$

При глубине внедрения больше  $0,5d$  нужно к объему конуса прибавить объем цилиндрической части  $V_y$  индентора:

$$V_y = \frac{\pi d^2 \cdot (h - \frac{d}{2})}{4}. \quad (2)$$

В основе поверхности 5 лежит сложная кривая (см. рис. 2), форму которой трудно определить теоретически.

Кроме того, если рассматривать восстановление других деталей торфяных машин, которые изготавливаются из различных материалов, то форма прилегающей свободной поверхности 5 может быть иной (см. рис. 2). Тогда решить объемную задачу при восстановлении локально изношенной поверхности будет сложно. Для решения этой проблемы было проведено экспериментальное исследование прилегающей к зоне восстановления свободной поверхности на различных материалах. Эксперимент по сканированию свободной поверхности проводился на специальном устройстве (рис. 3).

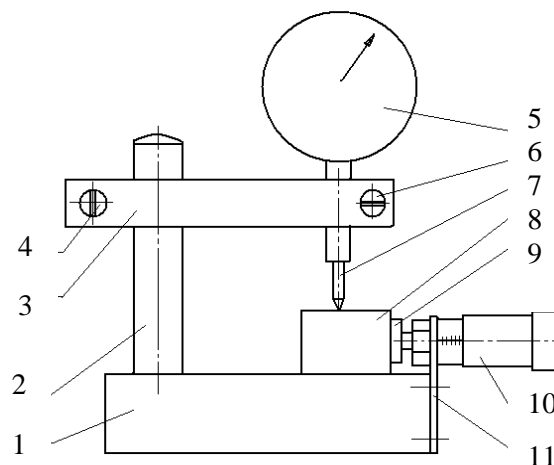


Рис. 3. Устройство для сканирования свободной поверхности: 1 – основание; 2 – стойка; 3, 11 – кронштейны; 4, 6 – винты; 5 – индикатор; 7 – измерительный наконечник; 8 – измеряемая деталь; 9 – упор; 10 – микровинт

Устройство состоит из основания, в котором закреплена стойка. На стойке винтом 4 фиксируется подвижный кронштейн 3 так, чтобы измерительный наконечник индикатора оставался с некоторым зазором относительно измеряемой детали (см. рис. 3). После этого, вращая микровинт, передвигаем указанную деталь так, чтобы центр деформации находился на расстоянии около 10 мм от вершины измерительного наконечника, на оси измерения микровинта. Затем ослабляем винт 6 и опускаем индикатор до касания измерительного наконечника сканируемой детали (при этом шкала индикатора настраивается на ноль).

Измерения проводились следующим образом. Вращая микровинт, установленный на основании через кронштейн 11, передвигали упором измеряемую деталь шагами по 0,5 мм и снимали показания индикатора на каждом из этих шагов (см. рис. 3). Измерения продолжались до тех пор, пока измерительный наконечник не вышел на недеформированную поверхность. Результаты измерений представлены на рис. 4, значения усреднены по пяти исследованиям. Некоторые расхождения могут быть связаны с тем, что в конце измерений величины подъема поверхности

невелики и отклонения формы исходной поверхности могут внести некоторые погрешности. Исходя из этих рассуждений, можно сделать вывод, что форма свободной поверхности, примыкающей к зоне восстановления, приблизительно одинакова для представленных материалов и существенно не зависит от величины восстанавливаемого зазора и глубины внедрения при условии деформирования с ограничивающей поверхностью. Таким образом, все кривые, соответствующие форме свободных поверхностей, можно объединить в одну (усреднив полученные результаты). В данном случае кривая является достаточно гладкой и для ее аппроксимации с некоторой погрешностью можно использовать прямую линию. Так как при смещении более 4 мм измеряемые величины отклонений близки к отклонениям формы исходной поверхности, то их учитывать не будем.

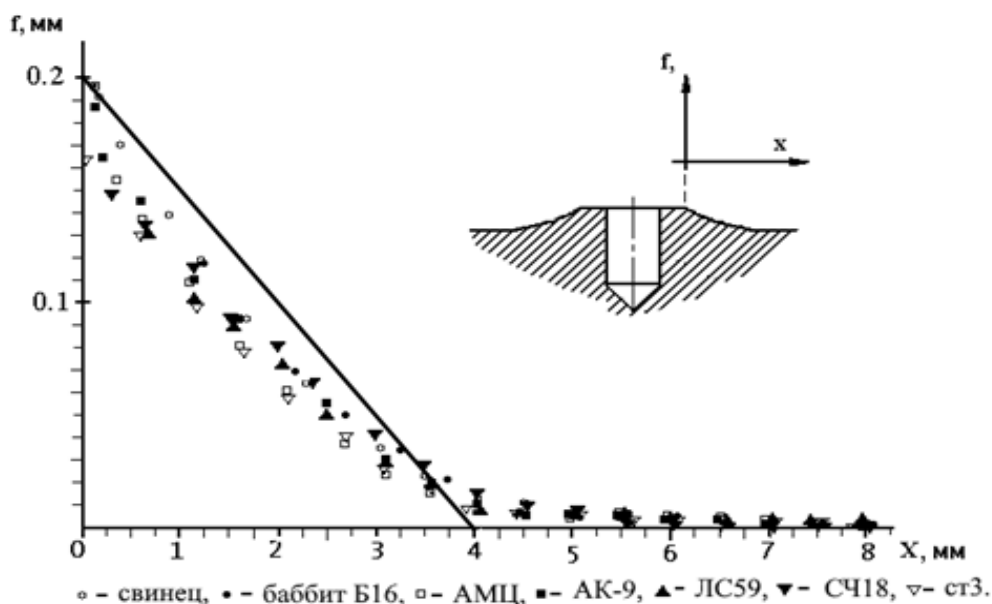


Рис. 4. Результаты сканирования свободной поверхности

Для расчета объема вытесненного материала нужно выразить параметры через известные величины, например через величину восстанавливаемого зазора  $a$ . Согласно результатам эксперимента, протяженность примыкающей поверхности составляет около  $20a$ . Тогда указанный объем

$$V_s = \frac{1}{3} \pi a \left( \frac{3}{2} L^2 + 30La + 100a^2 \right). \quad (3)$$

Приравняв  $V_s$  из формулы (3) к объему конуса  $V_k$  (см. формулу (1)) и цилиндра  $V_{ц}$  (см. формулу (2)) индентора (для принятого диаметра индентора  $d$ ), можно определить необходимую глубину внедрения  $h$ , в

дальнейшем используемую для расчета нужного диаметра  $L$  восстановленной площадки в конкретной точке изношенной поверхности:

$$h = \frac{L^2 a + 40La^2 + \frac{400a^3}{3} + \frac{1}{3}d^3}{d^2}.$$

Таким образом, геометрические параметры зоны деформации при восстановлении в локальной точке износа по прилегающей поверхности можно считать найденными. Это впоследствии позволит приступить к разработке объемной модели восстановления изношенной поверхности детали.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время при ремонте торфяных машин можно, помимо изготовления деталей, применять новые способы восстановления изношенных поверхностей, которые бы позволили в условиях небольших ремонтных предприятий осуществлять восстановление сложных дорогостоящих элементов на качественно новом уровне, причем с использованием относительно небольших и достаточно несложных устройств. Предлагаемый подход дополняет существующие технологии ремонта торфяных машин предыдущего поколения и соответствует требованиям современного отечественного ремонтного производства. Предложенная методика определения геометрических параметров зоны деформации позволит на новом уровне решить представленную задачу, что даст возможность восполнить дефицит деталей торфяных машин с минимальными затратами.

### Библиографический список

1. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Бондарев Ю.Ю. Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний // Научно-технические ведомости СПбПУ. 2014. № 3 (202). С. 229–235.
2. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Габов В.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. № 14. С. 82–91.
3. Болотов А.Н., Измайлов В.В., Новоселова М.В. Теоретические и экспериментальные исследования процессов в триботехнических системах: монография. Тверь: ТвГТУ, 2019. 164 с.
4. Горлов И.В. Анализ результатов эмпирического исследования пластического деформирования при восстановлении деталей торфяных

машин // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 2 (6). С. 71–78.

5. Способ восстановления локально изношенной поверхности корпусных деталей, изготовленных из пластичных материалов и материалов с ограниченной пластичностью, и устройство для его осуществления: пат. 2447981 Рос. Федерация № 2010114603/02 / Болотов А.Н., Горлов И.В., Горлов А.И.; заявл. 12.04.2010; опубл. 20.04.2012. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2447981C2\\_20120420](https://yandex.ru/patents/doc/RU2447981C2_20120420) (дата обращения: 20.12.2023).

УДК 536.212:537.321

Корнеев К.Б., Осеи-Овусу Р.  
Тверской государственный технический университет

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОАМПЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

© Корнеев К.Б., Осеи-Овусу Р., 2024

*Аннотация.* Рассмотрены типы шинопроводов. Проанализировано распределение теплового потока внутри изолированного соединения шин. Указано, что увеличение плотности электрической нагрузки ведет к необходимости использования более совершенных элементов электрических сетей, к которым относятся шинопроводы с литой изоляцией. В связи со сложностью диагностики неразборной конструкции таких шинопроводов предложено на основе моделирования температурных режимов по объему шинопровода осуществлять косвенную диагностику состояния.

*Ключевые слова:* шинопровод, теплопередача, моделирование, литая изоляция, паттерн.

## **MODELING OF ENERGY PROCESSES IN HIGH-AMPERE ELEMENTS OF ELECTRIC NETWORKS**

*Abstract.* The types of busbars are considered. The distribution of the heat flow inside the insulated tire connection is analyzed. It is indicated that an increase in the density of the electrical load leads to the need to use more advanced elements of electrical networks, which include busbars with cast insulation. Due to the complexity of diagnosing the non-collapsible design of such busbars, it is proposed to carry out indirect diagnostics of the condition based on modeling temperature conditions in terms of the busbar volume.

*Keywords:* busbar, heat transfer, modeling, cast insulation, pattern.

Увеличение плотности электрической нагрузки в крупных городах и на предприятиях [1, 2] вызывает необходимость применения все более энергоемких проводников, обеспечивающих передачу электрической энергии с минимальными потерями и одновременно гарантирующих качественную защиту персонала и электроприемников от воздействия