

УДК 621. 878

Венцель Е.С., д.т.н.; Щукин А.В., к.т.н.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА НА ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ НОЖА АВТОГРЕЙДЕРА ПРИ ЕГО РАБОТЕ В АБРАЗИВНОЙ СРЕДЕ

Получено изменение вероятности безотказной работы ножа автогрейдера от времени его работы при равномерном и неравномерном износе в абразивной среде. Установлено, что категория грунта оказывает значительное влияние на вероятность безотказной работы ножа автогрейдера: чем выше категория грунта, тем вероятность безотказной работы стремительно убывает, что в свою очередь, обусловлено увеличением удельного сопротивления резанию.

Отримано зміну ймовірності безвідмовної роботи ножа автогрейдера від часу його роботи при рівномірному і нерівномірному зносі в абразивному середовищі. Встановлено, що категорія ґрунту значно впливає на ймовірність безвідмовної роботи ножа автогрейдера: чим вище категорія ґрунту, тим ймовірність безвідмовної роботи стрімко зменшується, що в свою чергу, обумовлено збільшенням питомої опору різання.

An alteration probability uptime grader blade from the time of his work with a uniform and uneven wear in abrasive environments. It was found that the soil category has a significant impact on the probability of failure of the motor grader blade: the higher category of the soil, the probability of failure of rapidly decreases, which in turn, caused an increase in the specific cutting resistance.

Постановка проблемы. Износ режущих элементов землеройно-транспортных машин (ЗТМ), главным образом, зависит от абразивности грунтов, то есть способности изнашивать взаимодействующие с ними рабочие органы (РО). Абразивность грунтов возрастает с увеличением содержания частиц кварца (оксида кремния SiO_2), их размера и закреплённости [1].

Следует также отметить, что при взаимодействии с грунтами в талом и мёрзлом состояниях износ деталей увеличивается более чем в 2 раза с уменьшением содержания глинистых частиц [1]. С увеличением плотности грунта износ рабочих органов может увеличиться в 5 раз (особенно при малом содержании глинистых частиц). С уменьшением влажности ниже 15...20% изнашивающая

способность глинистых грунтов увеличивается [2]. Мёрзлые грунты, абразивность которых намного выше абразивности талых грунтов, наиболее интенсивно увеличивают износ РО машины. Во многом также на износ влияет качество поверхности РО машины и механические свойства поверхностных слоёв, которые характеризуются показателями твёрдости.

Целью данной статьи является установление влияние износа на вероятность безотказной работы ножа автогрейдера при его работе в грунтах разной категории.

Изложение основного материала. Как известно, ножи автогрейдера (например, ДЗК-251) изготавливаются из легированной стали 65Г. Твёрдость поверхностного слоя ножа на 5 мм обеспечивается закалкой токами высокой частоты и составляет 52 HRC.

Примем допущение, что износ ножа происходит по всей площади контакта равномерно, то есть носит линейный характер [3].

А.К. Рейш в своих исследованиях [2] получил эмпирическую зависимость, описывающую процесс износа для ножа ЗТМ, согласно которой износ происходит линейно на всём промежутке работы ножа в абразивной среде, что не учитывает динамику износа. Поэтому наиболее полная характеристика процесса изнашивания РО может быть представлена в виде зависимости $h_{из}=f(t)$, где $h_{из}$ – износ детали, t – её наработка.

Исследования подобного типа $h_{из}=f(t)$ были проведены для ножей автогрейдера, с использованием лабораторного стенда [4], разработанного на кафедре строительных и дорожных машин им. А.М. Холодова Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. В результате проведения экспериментальных исследований было получено изменение износа ножа на первых 50 часах его эксплуатации (рис. 1) [4].

Объём изношенного материала $V=m/\rho$ (ρ – плотность материала). Соответственно, толщина, на которую изменилось поперечное сечение ножа автогрейдера в результате износа можно записать как $h_{из}=V/S$, где S – площадь поверхности ножа автогрейдера, которая подвергалась взаимодействию с абразивной средой (грунтом).

График изменения $h_{из}$ показан на рис. 2.

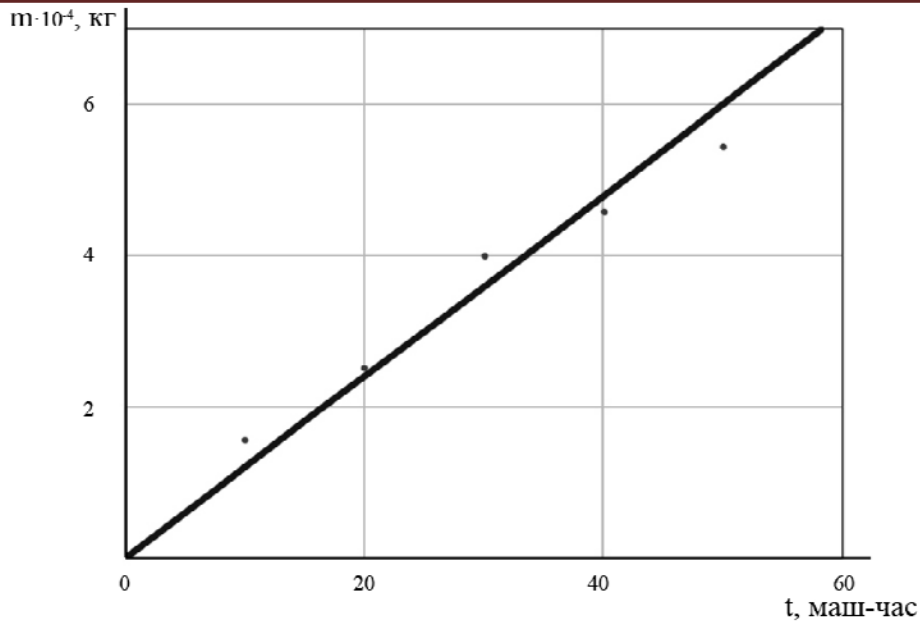


Рисунок 1 – График зависимости износа m режущего элемента от времени t его работы в абразивной среде

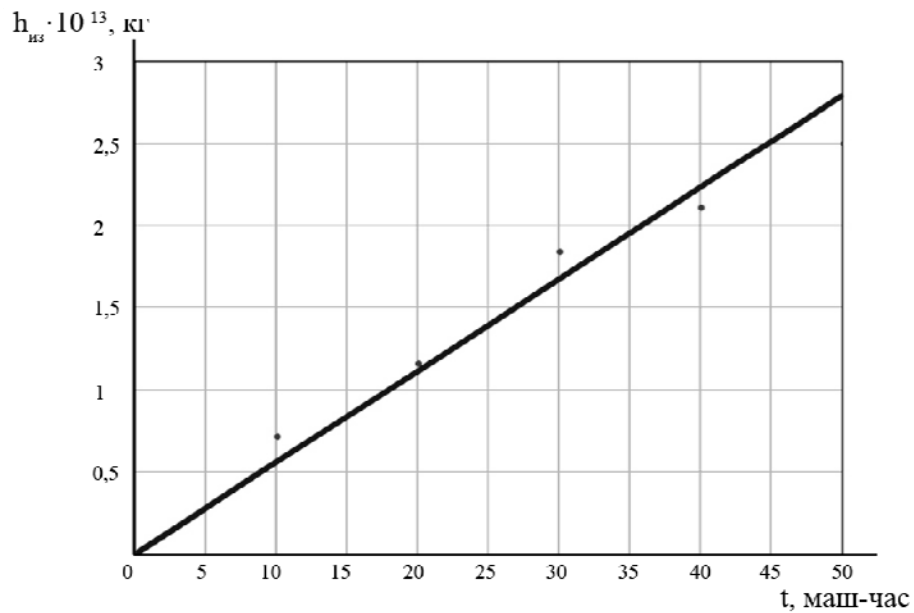


Рисунок 2 – График зависимости величины износа ножа $h_{из}$ от наработки t при первых 50 часах его работы

Тогда изменение толщины ножа в процессе первых 50 маш.-час работы автогрейдера будет находится в пределах $H=H_0-h_{из}$, где H_0 – первоначальная толщина ножа (нож новый) (рис. 3).

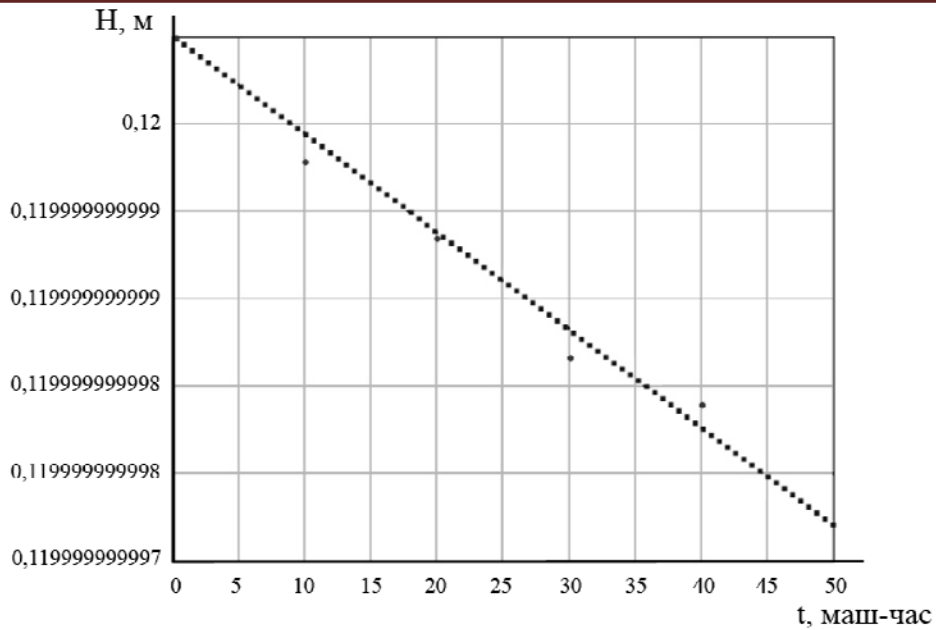
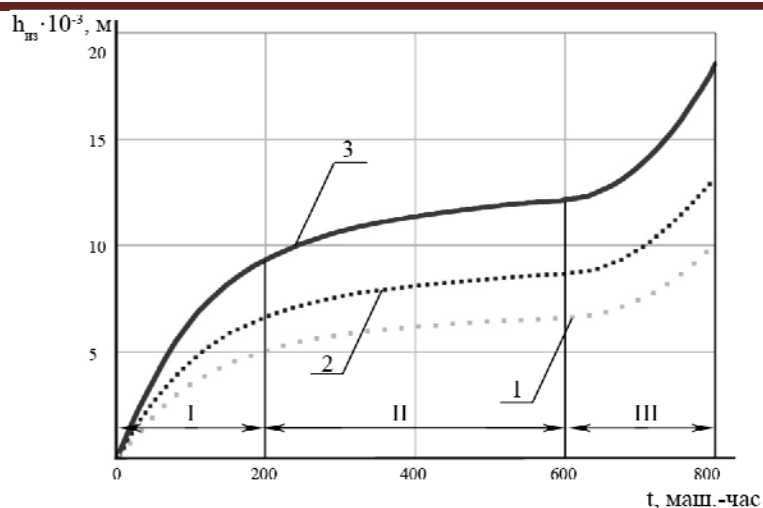


Рисунок 3 – График зависимости изменения толщины ножа H от времени его работы в абразивной среде

Закономерности изменения $h_{из}=f(t)$ для отдельных образцов ножей с однородными свойствами по сечению описываются сравнительно плавными кривыми [2]. Как известно [5], в большинстве случаев при испытании образцов можно выделить два характерных участка. На первом участке (50–100 маш.-час) наблюдается процесс, физика которого аналогична характерному процессу приработке в трибосопряжениях. На втором участке интенсивность изнашивания заметно замедляется. Далее следует третий участок, на котором интенсивность изнашивания резко возрастает.

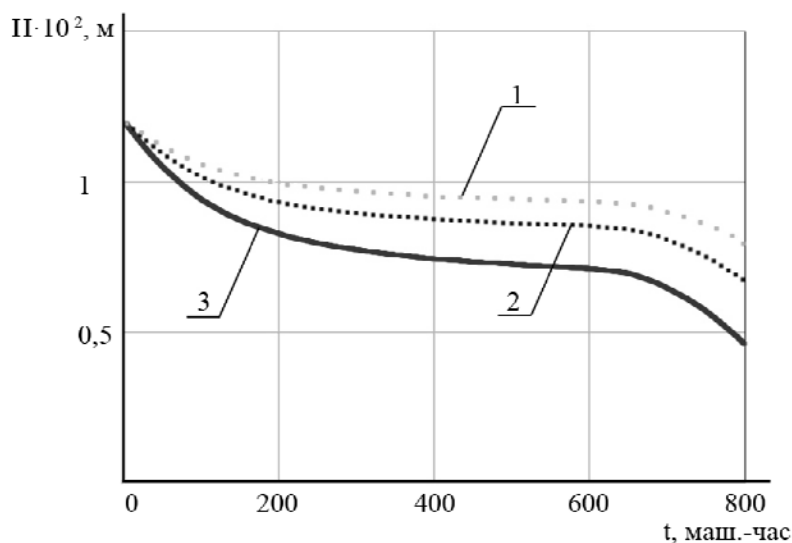
Будем рассматривать первые 700 часов работы ножа в грунте, так как тогда зависимость износа ножа автогрейдера как случайной функции наработки в общем случае может быть представлена в виде $I(t)=a_u t^\beta + b_u$. В данном случае экспериментально определяемый показатель $\beta=1/2$, $a_u=3,91 \cdot 10^{-3}$ и $b_u=0$ [6].

В подтверждение вышесказанному графики, приведенные в [6] и полученные экспериментальным путём, показаны на рис. 2.11. Из графиков видно, что за первые 100 маш.-час работы наблюдается интенсивный линейный закон изнашивания. Далее за 600–700 маш.-час изнашивание замедляется. После 700 маш.-час изнашивание начинает опять интенсивно возрастать.



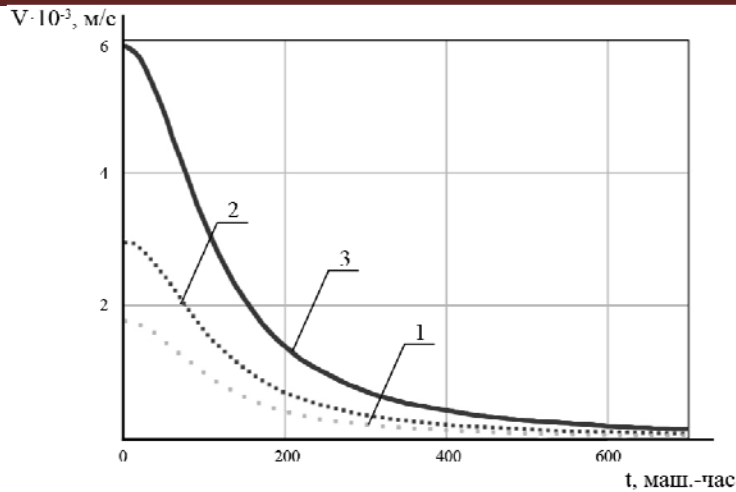
1–I категория грунта, 2–II категория, 3–III категория
Рисунок 4 – График зависимости величины износа $h_{из}$ от наработки t для трёх разных категорий грунта [2]

Используя зависимость $H = H_{max} - h_{из}$, (где H_{max} – максимальная толщина ножа (новый нож)), график изменения толщины ножа H в процессе контакта с абразивной средой будет носить следующий характер (рис. 5):



1–I категория грунта, 2–II категория, 3–III категория
Рисунок 5 – График изменения толщины ножа H от наработки t для разных категорий грунта

Соответственно скорость изнашивания ножа автогрейдера для каждой категории грунта может быть определена как $v = dh_{из}/dt$ (рис. 6) [1].



1–I категория грунта, 2–II категория, 3–III категория
Рисунок 6 – График зависимости скорости износа ножа V от наработки t

Допустим, что $P = P_0 - R_x = P_0 - P_{\max}(\alpha)$ – случайная величина, равная разности несущей способности ножа автогрейдера и действующей максимальной нагрузки, а P_0 – несущая способность, то есть максимальная нагрузка, которую может выдержать пластина ножа, Н.

Рабочее нагружение отвала автогрейдера можно представить с использованием нормального закона распределения плотности вероятностей.

Математическое ожидание нормальных нагрузок обусловлено для каждой рабочей операции комплексом сложных причин.

Причиной отказов РО автогрейдера может быть как технологические дефекты элементов, так и условия эксплуатации. Последние могут являться причиной сохранения прочности ножа ($P_0 > R_x$). В зависимости от P_0 могут возникать пластические остаточные деформации. Тогда закон распределения ресурса РО как функция от динамической нагрузки на ноже R_x и скорости автогрейдера v , будет изменяться по нормальному закону распределения:

$$F(P_{\text{дин}}) = \frac{1}{2\pi S_x \sigma_v} \int_0^{v_x} \int_0^{R_x} e^{-\left[\frac{(x-\bar{x})^2}{2S_x^2} + \frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right]} dx dv. \quad (1)$$

Следовательно, вероятность безотказной работы:

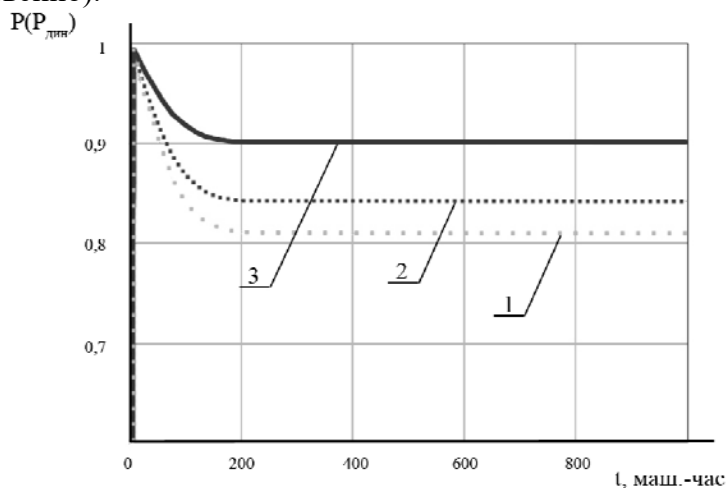
$$P(P_{\text{дин}}) = 1 - \frac{1}{2\pi S_x \sigma_v} \int_0^{v_x} \int_0^{R_x} e^{-\left[\frac{(P-\bar{P})^2}{2S_x^2} + \frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right]} dP dv, \quad (2)$$

Закономерности изменения вероятности безотказной работы ножа автогрейдера $P(P_{\text{дин}})$ в зависимости от времени его эксплуатации в абразивной среде при равномерном износе и при реальном износе, соответственно, показаны, на рис. 7 и рис. 8.

В результате аппроксимации вероятности $P(P_{\text{дин}})$ можно получить зависимость

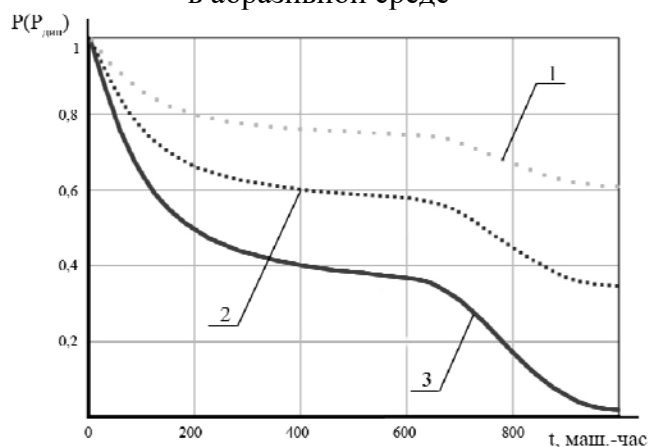
$$P(P_{\text{дин}}) = 1 - 0,02 \cdot t^{1/z}, \quad (3)$$

где z – эмпирический коэффициент, характеризующий категорию грунта ($z = 2,4; 2,13; 2$ – для I, II и III категорий грунта соответственно).



1–I категория грунта, 2–II категория, 3–III категория

Рисунок 7 – График изменения вероятности безотказной работы ножа автогрейдера $P(P_{\text{дин}})$ от времени его работы t при равномерном износе в абразивной среде



1–I категория грунта, 2–II категория, 3–III категория

Рисунок 8 – График изменения вероятности безотказной работы ножа автогрейдера $P(P_{\text{дин}})$ от времени его работы в абразивной среде t

Выводы. Полученные зависимости изменения вероятности безотказной работы ножа $P(P_{\text{дин}})$ от времени его работы при равномерном и неравномерном износе в абразивной среде позволяют спрогнозировать продолжительность работы автогрейдера до момента окончательного разрушения режущего элемента.

Категория грунта оказывает значительное влияние на вероятность безотказной работы ножа автогрейдера: чем выше категория грунта, тем вероятность безотказной работы $P(P_{\text{дин}})$ стремительно убывает, что в свою очередь, обусловлено увеличением удельного сопротивления резанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Д.П. Надёжность роторных траншейных экскаваторов / Д.П. Волков, С.Н. Николаев, И.А. Марченко. – М. : Машиностроение, 1972. – 207 с.
2. Рейш А.К. Повышение износостойкости строительных и дорожных машин / А.К. Рейш – М. : Машиностроение, 1986. – 184 с.
3. Юдников А. С. Скоростное электродуговое упрочнение боронитроалитированием деталей почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин : дис. ... кандидата техн. наук : 05.20.03 / Юдников Александр Сергеевич. – Москва, 2009. – 201 с.
4. Щукин А.В. Снижение износа режущих элементов землеройно-транспортных машин / А.В. Щукин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сер.: Подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование : сб. науч. тр. – Днепропетровск : ВГУЗ ПГАСА, 2013. – Вып.72 – С. 284–290.
5. Хазов Б.Ф. Надёжность строительных и дорожных машин / Б.Ф. Хазов. – М. : Машиностроение, 1979. – 192 с.
6. Анилович В.Я. Надёжность машин в задачах и примерах / В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко. – Харьков : Око, 2001. – 318 с.