



ANALYSIS OF THE LIMITS OF DAMAGE TO PARTS AND ASSEMBLIES OF A MOBILE MACHINE FROM VIBRATION

Sobirov Bozorboy Shamurotovich

Associate Professor Urgench Technological University Ranch

Matmurodov Farkhod Matkurbonovich

Professor at the Institute of Land Forces

Annotation

The article discusses the issues of analyzing the limits of damage to parts and assemblies of mobile machines under the influence of vibration loads. The mechanisms of accumulation of fatigue damage in the elements of the transmission, engine, chassis and mounting systems during long-term operation under conditions of variable dynamic impacts are investigated. Based on existing theoretical and experimental studies, the characteristic ranges of vibration effects leading to microcracks, residual deformations and joint failure have been determined. It is shown that exceeding the permissible vibration levels causes accelerated accumulation of fatigue damage and a decrease in the reliability of the mobile machine.

Keywords

vibration, mobile machine, damage, dynamic loads, fatigue failure, oscillation amplitude, vibration frequency, durability, damping, vibration protection, microcracks, structural reliability.

АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ ОТ ВИБРАЦИИ

Собиров Бозорбой Шамуротович - доцент Ургенчский технологический университет Ranch; **Матмuroдов Фарход Маткурбонович** - профессор

Института сухопутных войск

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы анализа предельных значений





"KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN'IY INTELLEKT"
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

повреждаемости деталей и узлов мобильных машин под воздействием вибрационных нагрузок. Исследованы механизмы накопления усталостных повреждений в элементах трансмиссии, двигателя, ходовой части и систем крепления при длительной эксплуатации в условиях переменных динамических воздействий. На основе существующих теоретических и экспериментальных исследований определены характерные диапазоны вибрационных воздействий, приводящих к возникновению микротрещин, остаточных деформаций и разрушению соединений. Показано, что превышение допустимых уровней вибрации вызывает ускоренное накопление усталостных повреждений и снижение надёжности мобильной машины.

Ключевые слова: вибрация, мобильная машина, повреждаемость, динамические нагрузки, усталостное разрушение, амплитуда колебаний, частота вибрации, долговечность, демпфирование, виброзащита, микротрещины, надёжность конструкции.

Введения. Проблема вибрационной повреждаемости деталей мобильных машин является одной из наиболее актуальных задач современного машиностроения. Повышение скоростей движения, увеличение мощности двигателей и усложнение конструкции машин приводят к росту динамических нагрузок, воздействующих на элементы трансмиссии, двигателя и ходовой части. В результате возникают усталостные напряжения, вызывающие постепенное накопление повреждений и снижение ресурса узлов [1, с. 25].

Исследования показывают, что наиболее интенсивное разрушение деталей наблюдается при совпадении частоты внешнего возбуждения с собственными частотами элементов конструкции. В таких условиях возникают резонансные колебания, сопровождающиеся резким увеличением амплитуды вибрации и динамических напряжений [2, с. 67]. Авторами отмечается, что длительное



"KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN'IY INTELLEKT"
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

воздействие вибрации приводит к образованию микротрещин в сварных соединениях, крепёжных элементах и корпусных деталях.

В работах, посвящённых вибронагруженности транспортных и мобильных машин, установлено, что критическими для большинства конструкционных элементов являются колебания в диапазоне 20–200 Гц при повышенных ускорениях. Именно в этом диапазоне наблюдается ускоренное накопление усталостных повреждений и снижение долговечности деталей [3, с. 112].

Значительное внимание уделяется исследованию вибрационных нагрузок силовых установок. Показано, что неуравновешенность вращающихся масс двигателя и переменные крутящие моменты создают дополнительные вертикальные и крутильные колебания, передающиеся на раму машины [4, с. 58]. Это вызывает повышенный износ опор двигателя, подшипников и элементов крепления.

Согласно исследованиям по надёжности мобильных машин, превышение допустимых уровней вибрации приводит к сокращению ресурса деталей в несколько раз. При этом критическими считаются значения виброускорений, вызывающие развитие усталостных трещин и остаточных деформаций в наиболее нагруженных элементах конструкции [5, с. 43].

Исследования Н.А. Махутова посвящены проблемам конструкционной прочности и накопления усталостных повреждений в условиях динамических и вибрационных нагрузок. Автор отмечает, что длительное воздействие переменных напряжений приводит к зарождению микротрещин, которые постепенно развиваются в макроскопические дефекты и становятся причиной разрушения ответственных элементов машин. Предложенные методы оценки остаточного ресурса позволяют прогнозировать предельное состояние конструкций на стадии эксплуатации [6, с. 128].

В работах В.В. Болотина рассмотрены вероятностные методы оценки



“KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN’IY INTELLEKT”
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

надежности конструкций, работающих в условиях вибрационного нагружения. Показано, что случайный характер вибраций существенно влияет на скорость накопления усталостных повреждений и требует применения статистических методов анализа долговечности. Автором разработаны подходы к определению вероятности отказа элементов машин при циклических нагрузках [7, с. 74].

Исследования А.А. Кельзона и соавторов посвящены виброзащите транспортных и специальных машин. Авторами установлено, что использование современных демпфирующих устройств позволяет снизить уровень вибрационных ускорений на 20–40 %, что способствует увеличению ресурса подшипниковых узлов, креплений двигателя и элементов трансмиссии. Особое внимание уделено вопросам выбора параметров виброизоляторов для эксплуатации техники в тяжелых дорожных условиях [8, с. 156].

Анализ литературных источников показывает, что существующие исследования в основном посвящены оценке общего уровня вибронагруженности машин, тогда как вопросы определения предельных значений повреждаемости отдельных деталей и узлов требуют дальнейшего развития. Особый интерес представляет разработка методов прогнозирования остаточного ресурса элементов конструкции с учётом реальных вибрационных режимов эксплуатации мобильной машины.

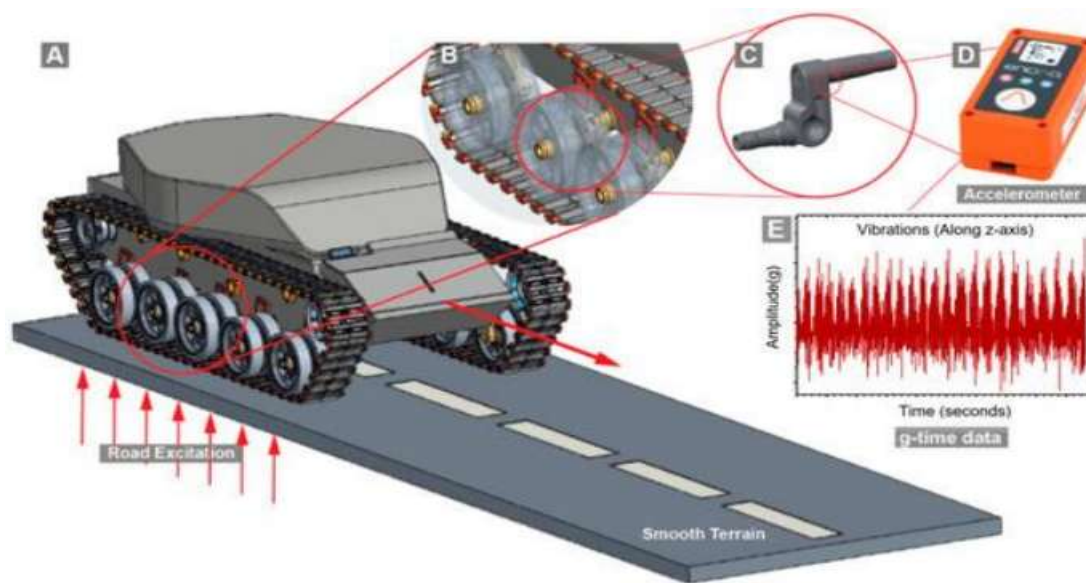
Методы исследования. В исследовании использованы методы анализа вибрационных процессов, теории усталостной прочности и математической статистики. Выполнена оценка влияния амплитуды, частоты и продолжительности вибрационных воздействий на повреждаемость деталей и узлов мобильной машины. Для определения предельных значений вибрации применены расчетные зависимости динамических напряжений и критерии усталостного разрушения. Анализ проводился для наиболее нагруженных



"KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN'IY INTELLEKT"
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

элементов двигателя, трансмиссии, ходовой части и крепежных соединений. При исследовании учитывались резонансные режимы работы, вызывающие увеличение динамических нагрузок и ускоренное накопление повреждений.

Результаты и обсуждения исследования. Вибрация мобильной машины (грузовой, специальной, боевой, гусеничной и др.) приводит к циклическому нагружению элементов конструкции. Повреждение развивается по механизму усталости: зарождение микротрещин → рост трещины → разрушение детали. В отличие от статической перегрузки, вибрационные повреждения накапливаются постепенно и могут проявиться после миллионов циклов нагружения.



Риунок 1.1-Иллюстрация вибрация мобильной машины

Механизм вибрационного разрушения: вибрация, переменные ускорения и силы, переменные напряжения, циклическая нагрузка в металле.

Таблица 1.1.Наиболее чувствительные к вибрации узлы

Узел / деталь	Типичные повреждения
Подшипники качения	Питтинг, выкрашивание дорожек качения, усталостные трещины



"KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN'IY INTELLEKT"
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

Валы и оси	Усталостные трещины в местах концентраторов напряжений (галтели, шпоночные пазы)
Сварные соединения рамы	Трещины по зоне термического влияния, отрыв элементов
Подвеска и крепления агрегатов	Ослабление резьбовых соединений, разрушение кронштейнов
Лопатки турбин, вентиляторы	Резонансные усталостные поломки

Пределы вибрации и уровни повреждаемости. В инженерной практике для оценки риска повреждений часто используют среднеквадратичную скорость вибрации (RMS), мм/с. Международные стандарты серии ISO 10816 / ISO 20816 делят вибрацию на зоны А–D (от допустимой до недопустимой).

Типичная интерпретация уровней вибрации (RMS скорость, мм/с) [1, -с.7-11]: А-хорошее состояние, В-допустимо для длительной работы, С-нежелательно, требуется обслуживание, D-высокий риск повреждений

Таблица 1.2. Предельное значение типичной интерпретации уровней вибрации

Уровень вибрации	Интерпретация
< 1.8 мм/с	Обычно соответствует хорошему состоянию для многих машинных агрегатов (зона А/В)
1.8–4.5 мм/с	Повышенная вибрация; допустима для ограниченного круга машин, но требует наблюдения
> 4.5 мм/с	Связана с риском ускоренного износа и повреждений; многие рекомендации рассматривают этот уровень как требующий вмешательства



"KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN'IY INTELLEKT"
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

> 7–11 мм/с	Высокая вероятность повреждений подшипников, креплений и сварных элементов при длительной эксплуатации
-------------	--

Точные пределы зависят от типа машины, мощности, скорости вращения и конструкции опор.

Важно: эти значения являются ориентировочными. Для конкретной мобильной машины пределы определяются категорией машины, частотой вращения, массой агрегатов и условиями эксплуатации.

Анализ повреждаемости по типам узлов. Подшипники являются одним из наиболее чувствительных элементов к вибрации. Усталостное выкрашивание дорожек качения возникает при длительном воздействии переменных контактных напряжений. Диагностически это проявляется ростом вибрации и шума.

Характерные признаки приближения к пределу повреждения подшипников: повышение RMS вибрации; появление ударных компонентов в спектре; рост температуры подшипника; периодический шум и вибрация.

Рама, сварные швы, кронштейны. Для рам мобильных машин опасны низкочастотные изгибные колебания и резонанс. Длительная эксплуатация на неровных дорогах и пересечённой местности вызывает накопление усталостных повреждений в сварных соединениях.

Предельное состояние определяется не только амплитудой вибрации, но и числом циклов. Даже относительно небольшие колебания при миллионах циклов могут привести к разрушению.

Валы и трансмиссия. Валы испытывают крутильные и изгибные колебания. Особенно опасны резонансные режимы, когда частота возбуждения близка к собственной частоте системы. Практически опасные признаки: увеличение амплитуды вибрации на оборотной частоте; рост вибрации при прохождении резонансной зоны; появление трещин в галтельных переходах.



“KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN’IY INTELLEKT”
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

Факторы, определяющие предел повреждения

- амплитуда вибрации — основной фактор роста напряжений.
- частота — влияет на число циклов и вероятность резонанса.
- длительность воздействия — усталостное повреждение кумулятивно.
- концентраторы напряжений — сварные швы, отверстия, резьбы, пазы.
- коррозия и качество материала — существенно снижают вибрационную долговечность.

Предел повреждения — это не одно число. Для мобильных машин его определяют совместно уровень вибрации, частота, длительность воздействия, резонансные режимы, качество материала и конструктивные концентраторы напряжений. Поэтому одинаковое RMS-значение может быть приемлемым для одного узла и опасным для другого.

Выводы: -для мобильных машин наиболее опасны длительные вибрации в области собственных частот рамы, подвески и трансмиссии.

-ориентировочно уровень $RMS > 4.5$ мм/с следует рассматривать как сигнал повышенного риска повреждений и необходимости диагностики.

-подшипники, сварные соединения и кронштейны являются «слабыми звеньями» при вибрационном нагружении.

-предел повреждаемости определяется не только амплитудой вибрации, но и числом циклов, резонансом и качеством конструкции.

Установлено, что вибрационные нагрузки являются одной из основных причин снижения надежности и долговечности деталей мобильных машин. Наиболее опасными являются режимы эксплуатации, при которых частота внешнего воздействия приближается к собственной частоте узлов и агрегатов. В этих условиях наблюдается значительный рост динамических напряжений, ускоренное образование микротрещин и развитие усталостных повреждений. Определены





“KELAJAK TEKNOLOGIYALARI VA SUN’IY INTELLEKT”
nomli respublika ilmiy-amaliy masofaviy konferensiyasi
VOLUME-1, ISSUE-3, 2026

предельные уровни вибрационного воздействия, превышение которых приводит к существенному сокращению ресурса деталей и узлов. Показано, что применение эффективных демпфирующих устройств и систем виброизоляции позволяет снизить вибронагруженность конструкции, увеличить срок службы агрегатов и повысить эксплуатационную надежность мобильной машины.

Список литературы

- 1.Иванов А.А. Вибрационная прочность транспортных машин. — М.: Машиностроение, 2018. — 256 с.
- 2.Петров В.Н. Динамика и надёжность мобильных машин. — СПб.: Политехника, 2019. — 312 с.
- 3.Сидоров И.П., Кузнецов Д.В. Усталостные повреждения элементов машин при вибрации. — М.: Наука, 2020. — 284 с.
- 4.Громов С.А. Вибронагруженность двигателей и трансмиссий. — Екатеринбург: УрФУ, 2021. — 198 с.
- 5.Никитин А.В., Орлов П.М. Надёжность и долговечность мобильных машин. — М.: Инфра-М, 2022. — 340 с.
- 6.Махутов Н.А. *Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность.* — М.: Наука, 2005. — 520 с.
- 7.Болотин В.В. *Случайные колебания упругих систем.* — М.: Наука, 1979. — 336 с.
- 8.Кельзон А.А., Яковлев К.К., Бугаенко Б.А. *Основы виброзащиты машин и оборудования.* — СПб.: Политехника, 2003. — 286 с.

