

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

ESTIMATION OF FATIGUE RESISTANCE OF WORKING ELEMENTS OF AGRICULTURAL MASHINERY

Олег Черныш

Национальный университет биоресурсов и природоиспользования Украины,
г. Киев, Украина, E-mail: chernyshon@rambler.ru

Надежность и увеличение ресурса современных сельскохозяйственных машин требует использования новых принципов и технологий, а также новых расчетных методов. Такие методы должны обеспечить прочность и надежность деталей и рабочих элементов машин. При этом желательно использовать комплексный подход, который приведет к решению проблемы снижения металлоёмкости, обеспечения надежности деталей и ответственных рабочих элементов. Важнейшим фактором для таких расчетов есть учет случайного характера процесса нагружения, условий эксплуатации, а также технологических и конструктивных параметров. Особенный интерес в этой связи вызывает применение статистических подходов при анализе и определении реально обоснованных критериев расчетного предельного состояния изучаемого объекта – рабочего элемента машины с учетом его конструктивных особенностей и факторов эксплуатации.

При анализе предельного состояния рабочего элемента машины была рассмотрена расчетная модель оценки и определения коэффициента запаса усталостной прочности на основе использования вероятностных характеристик сопротивления усталости и нагружения. При этом случайные процессы нагружения и работоспособность рабочих элементов машин представлены в виде функциональных зависимостей максимального напряжения и предельного напряжения от времени. Данные случайные процессы в интервале эксплуатации детали можно схематизировать таким образом, чтобы получить практически приемлемые для использования расчетные зависимости.

Описана методика расчета коэффициента запаса усталостной прочности с учетом вероятностных характеристик сопротивления усталости и нагружения. Результаты применения указанной методики позволяют по соотношению экстремальных значений функций распределения характеристик сопротивления усталости и нагружения оценить расчетный коэффициент запаса усталостной прочности рассматриваемого рабочего элемента машины с учетом вероятностных аспектов распределения данных характеристик.

Коэффициент запаса усталостной прочности, рабочие элементы сельскохозяйственных машин, статистический подход, циклические нагрузки.

Введение

Надежность и увеличение ресурса сельскохозяйственных машин являются одной из приоритетных задач современного машиностроения. Однако на этом пути некоторые динамические явления (переменные нагрузки, вибрации особенно в условиях возникновения резонанса) ограничивают продуктивность и работоспособность машин. Поэтому для создания сельскохозяйственных машин большей эффективности и надежности необходимо рассматривать новые принципы и технологии, в том числе и методы их расчета. Такие методы должны обеспечить в первую очередь прочность и надежность деталей и рабочих элементов машин в процессе выполнения ними заданных функций.

Нужно отметить, что расчетные методы оценки надежности по отдельным критериям развиваются и совершенствуются [2, 4, 6, 7]. Однако желательно использовать комплексный подход, который будет вести к решению проблемы снижения металлоёмкости и обеспечения надежности деталей и ответственных рабочих элементов машин современной сельскохозяйственной техники.

В условиях действия знакопеременных циклических нагрузок работоспособность рабочих элементов машин зависит от многих технологических параметров производственного процесса, условий среды, физических свойств используемых материалов и особенностей конструкционного исполнения [1-4, 6, 7]. Поэтому вопросы расчета и оценки усталостной прочности рабочих элементов, деталей и их соединений в условиях воздействия на них различной формы, величины и периодичности циклических нагрузок возникают еще на стадии разработки и проектирования машин.

Кроме этого важнейшим фактором для таких расчетов есть учет случайного характера процесса нагружения, что зависит от условий эксплуатации, а также от многих технологических и конструктивных параметров. Поэтому особенный интерес вызывает применение статистических подходов при анализе и определении реально обоснованных критериев расчетного предельного состояния изучаемого объекта – рабочего элемента машины с учетом его конструктивных особенностей, материала и факторов, которые связаны с эксплуатационными условиями.

Такой подход для расчетов на прочность и надежность является наиболее целесообразным и перспективным.

Цель исследований

Для исследования проблемы применения статистического подхода при анализе предельного состояния рабочего элемента машины с учетом его конструктивных и эксплуатационных факторов была поставлена цель рассмотреть расчетную модель оценки и определения коэффициента запаса уста-

лостной прочности на основе использования вероятностных характеристик сопротивления усталости и нагружения.

Методика исследований

Случайные процессы нагружения и работоспособность рабочих элементов машин могут быть представлены в виде функциональных зависимостей максимального напряжения $\sigma(t)$ и предельного напряжения $\sigma_v(t)$ от времени. Данные случайные процессы $\sigma(t)$ и $\sigma_v(t)$ в интервале эксплуатации детали можно схематизировать так, чтобы получить практически приемлемые для использования расчетные зависимости.

Если процесс $\sigma(t)$ нестационарный, то в первом приближении при малых приращениях времени, его можно заменить малыми отрезками стационарных процессов со средними значениями параметров нестационарного процесса. Полученный таким образом стационарный процесс возможно описать функцией распределения случайных характеристик нагружения и за расчетное следует принять состояние, когда разность функций $\sigma_v(t)$ и $\sigma(t)$ достигнет минимума.

Результаты

Были рассмотрены случайные функции распределения характеристик нагружения $p(\sigma)$ и сопротивления усталости $p(\sigma_v)$, которыми можно заменить стационарные случайные процессы $\sigma(t)$ и $\sigma_v(t)$ в интервале времени эксплуатации изделия. В результате задача сводилась к рассмотрению взаимодействия функций $p(\sigma)$ и $p(\sigma_v)$, образованных из сечений стационарных случайных процессов $\sigma(t)$ и $\sigma_v(t)$ в расчетном временном интервале эксплуатации.

При стационарном процессе нагружения $\sigma(t)$ среднее значение и дисперсия характеристик нагружения будут постоянны во времени. При этом вероятностная зависимость предельного напряжения от любого фактора F , который как неслучайный фактор влияет на прочность детали, описывается некоторой известной функцией. В таком случае задачу расчета на прочность при напряжениях, переменных во времени, можно свести к рассмотрению взаимодействия соответствующих одномерных функций распределения.

В случае нормального закона распределения функций $p(\sigma)$ и $p(\sigma_v)$, вероятностная зависимость случайной величины σ_v от фактора F в общем виде можно описать поверхностью плотностей вероятностей:

$$p(\sigma_v) = \frac{1}{m_{\bar{\sigma}_v}(F)\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\sigma_{vp} - \bar{\sigma}_v(F)]^2}{2[m_{\bar{\sigma}_v}^2(F)]^2}\right\}. \quad (1)$$

которая образована в трехмерной системе координат $p(\sigma_v)$, F , σ_v движением заданной функции плотности распределения пределов выносливости по закону изменения $\bar{\sigma}_v(F)$ средних значений пределов выносливости от величины фактора F . Зависимость рассеяния пределов выносливости от величины этого фактора определяется функцией $m_{\bar{\sigma}_v}(F)$.

Аналогично описывается поверхность плотностей вероятностей характеристики нагружения $p(\sigma)$:

$$p(\sigma) = \frac{1}{m_{\bar{\sigma}} \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\sigma_p - \bar{\sigma}(F)}{2m_{\bar{\sigma}}^2}\right\}. \quad (2)$$

Такая поверхность также будет образована в трехмерной системе, но с координатами $p(\sigma)$, F , σ , движением заданной функции плотности распределения характеристик нагружения по закону изменения их среднего значения $\bar{\sigma}(F)$ от величины фактора F . Соответственно зависимость рассеяния характеристик нагружения от фактора F определяется функцией $m_{\bar{\sigma}}(F)$.

Расчетные поверхности функциональных зависимостей (1) и (2) при нормальном законе распределения соответственно характеристик нагружения $p(\sigma)$ и сопротивления усталости $p(\sigma_v)$ представлены на рис.1, в предположении, что зависимость $\bar{\sigma}_v(F)$ является степенной функцией, а $\bar{\sigma}(F)$ прямой, которая параллельна OF .

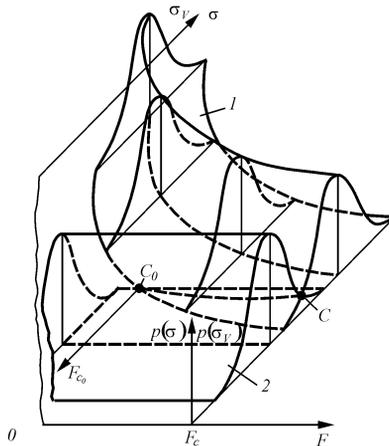


Рис. 1. Расчетные поверхности функций характеристик сопротивления усталости $p(\sigma_v)$ – 1 и нагружения $p(\sigma)$ – 2 при нормальном законе их распределения

Fig. 1. Settlement surfaces of functions of performances of a fatigue resistance $p(\sigma_v)$ – 1 and stressings $p(\sigma)$ – 2 at the normal law of their distributi.

При условии, что заданной величиной фактора F будет некоторое его постоянное значение F_c , то расчетным является сечение поверхностей, (1) и (2), образованное плоскостью $F = F_c = const$:

$$p(\sigma_v) = \frac{1}{m_{\bar{\sigma}_v}(F_c)\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\sigma_{VP} - \bar{\sigma}_v(F_c)]^2}{2[m_{\bar{\sigma}_v}^2(F_c)]^2}\right\}. \quad (3)$$

$$p(\sigma) = \frac{1}{m_{\bar{\sigma}}\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{\sigma_p - \bar{\sigma}(F_c)}{2m_{\bar{\sigma}}^2}\right\}. \quad (4)$$

Таким образом, расчетное состояние рассматриваемого объекта определяется полученными двумя функциями $p(\sigma_v)$ и $p(\sigma)$ распределения соответственно характеристик сопротивления усталости и нагружения.

Для получения условия прочности рассмотрим взаимодействие данных двух функций в расчетном состоянии рабочего элемента машины.

Для этого при заданной величине F_c и расчетном времени t ограничим функцию $p(\sigma_v)$ минимальным значением предела выносливости σ_{Vmin} , а функцию $p(\sigma)$ – максимальным значением действующих напряжений σ_{max} .

В таком случае прочность рабочего элемента удовлетворяется при условии, если нижняя граница $\sigma_{Vmin}(\alpha_{\sigma_v}, \gamma_{\sigma_v})$ рассеяния характеристик сопротивления усталости σ_v , которая установлена с доверительной вероятностью γ_{σ_v} при уровне значимости α_{σ_v} , будет превышать верхнюю границу $\sigma_{max}(\alpha_{\sigma}, \gamma_{\sigma})$ рассеяния характеристик нагружения σ , которая также установлена с доверительной вероятностью γ_{σ} при уровне значимости α_{σ} .

Таким образом, условие прочности имеет вид:

$$\sigma_{Vmin}(\alpha_{\sigma_v}, \gamma_{\sigma_v}) > \sigma_{max}(\alpha_{\sigma}, \gamma_{\sigma}). \quad (5)$$

Действительно, как показывает практика и эксперимент, при расчетах в каждой точке рабочего элемента машины предельные напряжения, которые характеризуют несущую способность в данных условиях эксплуатации, должны всегда превышать действующие напряжения нагружения [2, 6, 7].

Коэффициент запаса усталостной прочности можно получить из соотношения экстремальных значений характеристик сопротивления усталости и нагружения:

$$n = \frac{\sigma_{Vmin}(\alpha_{\sigma_v}, \gamma_{\sigma_v})}{\sigma_{max}(\alpha_{\sigma}, \gamma_{\sigma})}. \quad (6)$$

При условии достижения некоторой вероятности разрушения (например, при $F > F_c$) функции $p(\sigma_v)$ и $p(\sigma)$ должны пересечься, т.к. в этом случае неравенство (5) изменится на следующее:

$$\sigma_{v\min}(\alpha_{\sigma_v}, \gamma_{\sigma_v}) \leq \sigma_{\max}(\alpha_{\sigma}, \gamma_{\sigma}). \quad (7)$$

Выводы

Рассмотренная модель учета статистических данных при анализе предельного состояния рабочего элемента машины по соотношению экстремальных значений $\sigma_{v\min}(\alpha_{\sigma_v}, \gamma_{\sigma_v})$ и $\sigma_{\max}(\alpha_{\sigma}, \gamma_{\sigma})$ соответственно функций $p(\sigma_v)$ и $p(\sigma)$ распределения характеристик сопротивления усталости и нагружения дает возможность определить расчетный коэффициент запаса усталостной прочности рассматриваемого рабочего элемента сельскохозяйственной машины с позиций вероятностных аспектов. Данный подход позволяет повысить надежность и увеличить ресурс работы ответственных деталей и элементов сельскохозяйственных машин с учетом случайного характера процесса циклического нагружения, эксплуатационных условий, а также технологических и конструктивных параметров. Это в свою очередь существенно повышает надежность сельскохозяйственной техники, что в целом обеспечивает безопасность эксплуатации для обслуживающего персонала и эффективность экологически чистого сельскохозяйственного производства.

Список литературы

1. Александров А. В. Сопротивление материалов / А.В. Александров, В. Д. Потапов, Б.П. Державин; под ред. А.В. Александрова. М.: Высш. шк., 2003. – 560 с.
2. Биргер И. А. Сопротивление материалов / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов. – М.: МАИ, 1994. – 511 с.
3. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
4. Болотин В. В., Чирков В. П. Асимптотические оценки для вероятности безотказной работы по моделям типа нагрузка-сопротивление / В.В. Болотин, В.П. Чирков // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1992. – № 6. – С. 3–10.
5. Горшков А.Г. Сопротивление материалов / А. Г. Горшков, В. Н. Трошин, В. И. Шалашилин. М.: Физматлит., 2005. – 544 с.
6. Кулик Н.С. Математические модели накопления повреждений и трещинообразования при действии статических и циклических нагрузок/ Н.С. Кулик, А.Г. Кучер, В.Е. Мильцов // Вісник НАУ. – 2009. – № 3. – С. 3–23.

7. Степнов М.Н. Новый подход к расчету коэффициента запаса прочности при циклическом нагружении / М.Н. Степнов // Вестник машиностроения. – 2004. – № 11. – С. 14-17.

Oleg Nikolaevich Chernysh

ESTIMATION OF FATIGUE RESISTANCE OF WORKING ELEMENTS OF AGRICULTURAL MASHINERY

Abstract

Reliability and increase in a resource of modern agricultural mashinery demands use of new principles and techniques, and also new settlement methods. Such methods should ensure strength and reliability of details and working elements of cars. Thus it is desirable to use the comprehensive approach which will lead to a solution of a problem of lowering of metal consumption, securities of reliability of details and responsible working elements. The account of casual character of process of a stressing, service conditions, and also technological and design data is the major factor for such calculations. Especial interest thereupon calls application of statistical approaches at the assaying and definition of really well-founded criteria of a settlement limiting condition of a studied plant - a working element of the car taking into account its design features and maintenance factors.

At the assaying of a limiting condition of a working element of the car the settlement sample piece of an estimation and definition of factor of a store of fatigue resistance on the basis of use of probability performances of a fatigue resistance and a stressing has been considered. Thus casual processes of a stressing and working capacity of working elements of cars are presented in the form of functional dependences of the maximum voltage and limiting voltage on time. The given casual processes in the range of detail maintenance can be schematised so that to receive settlement dependences almost comprehensible to use.

The design procedure of factor of a store of fatigue resistance taking into account probability performances of a fatigue resistance and a stressing is described. Results of application of the specified technique allow on a ratio of extremes of distribution functions of performances of a fatigue resistance and a stressing to evaluate settlement factor of a store of fatigue resistance of a considered working element of the car taking into account probability aspects of distribution of the given performances.

Factor of a store of fatigue resistance, working elements of agricultural mashinery, the statistical approach, cyclic loads.

O. N. Chernysh

DARBINIŲ ŽEMĖS ŪKIO MAŠINŲ DALIŲ ATSPARUMO NUOVARGIUI VERTINIMAS

Santrauka

Didinant šiuolaikinių žemės ūkio mašinų patikimumą ir darbo resursą reikalinga naudoti naujus principus bei metodus, o taip pat ir naujus skaičiavimo būdus. Tokie metodai turėtų užtikrinti mašinų darbinių elementų ir detalių stiprumą ir patikimumą. Be to pageidautina turėti kompleksišką požiūrį, kuris padėtų pasiekti mažesnę metalo sunaudojimą ir padidinti detalių ir mazgų patikimumą. Labai svarbus tokių skaičiavimų veiksnys – atsitiktinio pobūdžio apkrovų, eksploatacijos sąlygų bei technologinių ir konstrukcinių parametų įvertinimas. Įpatingą dėmesį šiuo atveju reikia atkreipti į statistinių metodų naudojimą, analizuojant ir nustatant tiriamo objekto būvio realiai pagrįstus skaičiuojamuosius ribinius kriterijus, t.y.

Analizuojant mašinos elemento ribinį būvį buvo naudojamas skaičiuojamasis vertinimo modelis bei atsparumo nuovargiui atsargos koeficiento nustatymas, remiantis tikimybinėmis atsparumo nuovargiui bei apkrovų charakteristikomis. Atsitiktiniai apkrovų kitimo procesai ir darbinių elementų darbingumas pateikti funkcinių maksimalių bei ribinių įtempimų priklausomybių nuo laiko pavidalu. Duotuosius atsitiktinius procesus eksploataavimo intervale galima schematizuoti taip, kad būtų galima gauti praktiniuose skaičiavimuose naudojamas priklausomybes.

Darbe aprašyta atsparumo nuovargiui atsargos koeficiento apskaičiavimo metodika įvertinant tikimybinės atsparumo nuovargiui bei apkrovų charakteristikas.

Pateiktos metodikos rezultatai įgalina remiantis eksperimentinių atsparumo nuovargiui ir apkrovų reikšmių pasiskirstymo funkcijomis įvertinti skaičiuojamąjį gaminio atsparumo nuovargiui atsargos koeficientą, atsižvelgiant į atsitiktinį duotų charakteristikų pasiskirstymą.

Atsparumo nuovargiui atsargos koeficientas, žemės ūkio mašinų darbiniai elementai, statistinis sprendimo būdas, cikliškai kintančios apkrovos.