

В. А. Симанович, канд. техн. наук, доцент;
М. Н. Пищов, аспирант; А. И. Смеян, канд. техн. наук, доцент

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ КОЛЕСНЫХ ЛЕСНЫХ АГРЕГАТНЫХ МАШИН

Questions of interaction of a pack of trees with the process equipment are considered at various constructive circuits of the suspension. The accuracy of our hypotheses about energy dissipation distribution is proved by the analytical calculations according to the models of dynamic of motion of a wheeled logging tractor. The circuit specified by a dynamic towing capacity, which is transmitted to a skidder by the tires and affects vertical and longitudinal angular oscillations has 64–57% dispersion energy.

Введение. Работа колесных агрегатных машин на трелевке и вывозке древесины должна производиться комплексно с учетом преобладающих факторов, оказывающих наибольшее влияние и встречающихся чаще в различных условиях их эксплуатации. Основное внимание при работе колесной лесной техники уделяется эксплуатационной надежности, которая не может быть определена машинально в связи с большим количеством факторов объективного и субъективного характера происхождения. Наука и исследования по эксплуатационной надежности как прикладная отрасль знаний базируются на фундаментальных, математических и естественных науках, на тех их разделах и теоретических разработках, которые способствуют решению поставленных задач. Особое значение для таких научных исследований имеет вопрос о применении математического аппарата и привлечении разработанных ранее по вопросам практики методов, позволяющих осуществлять оценку и прогнозирование эксплуатационной надежности специальных машин и сложных систем. Достоверные методы прогнозирования долговечности основных узлов и деталей лесных машин необходимы для обоснования проекта на стадии проектирования транспортного средства с учетом специфики эксплуатационных условий, а также для решения таких конструкторско-технологических вопросов, как:

- выбор оптимальной структуры энергетического агрегата;
- расчет в потребности в запасных частях;
- периодичность плановых технических обслуживания;
- обоснование требований по эксплуатационной надежности сопряженных деталей.

На наш взгляд, главную задачу прогнозирования составляет сокращение сроков доводки проектируемых колесных лесных агрегатных транспортных средств за счет комплексного использования информации о результатах расчетов, испытаний, опытов эксплуатации аналогов в настоящем и прошлом.

Процесс создания более современных с точки зрения конструкторов лесных машин на протяжении всего исторического пути сопровождается повышением мощности силовой ус-

тановки, что приводило к увеличению числа деталей отдельных систем к критическим по надежности. Все это определяет необходимость совершенствования методик расчетного прогнозирования за счет систематизации ранее выполненных работ и исследований, а также широкого использования статистических данных по результатам эксплуатации машин данной модели и расчетов ресурса на ПЭВМ.

Разработка новых машин и доведение их до серийного производства обычно занимает промежуток времени, равный их работе в одной из отраслей хозяйства страны. Необходимо отметить, что современное развитие научно-технического прогресса еще более высокими темпами ускоряют моральное старение машин, поставляемых на серийное производство.

Методы исследований по прогнозированию ресурса работы транспортных средств. Известно большое количество публикаций, посвященных современным методам расчета и прогнозирования надежности систем и отдельных элементов транспортных машин. Авторы каждой из работ выдвигают на первый план свое видение проблемы через призму тех изменений, с которыми они чаще всего встречались и решали задачи их технического усовершенствования с целью повышения надежности.

В настоящее время сложилась устойчивая тенденция прогнозирования надежности транспортных средств по двум направлениям. Первое направление изучает вопросы, связанные с развитием и применением методов математической и статистической теории надежности. Второе направление охватывает методы физической теории надежности, которая предполагает рассмотрение физической сущности возникновения отказов. В этом направлении физический износ является главной причиной отказов и рассматривает различные модели разрушения, основанные на изучении механических, физико-механических процессов и их совокупностей, приводящих к старению материалов и изнашиванию. Задача повышения долговечности узлов и агрегатов колесных лесных машин является и экономической задачей, что в большинстве случаев вытекает из технических предложений конструктивной направленности.

Существует несколько методов для выполнения исследований и расчетов, базирующихся на наличии статистического материала и аппаратно-вычислительного обеспечения самого исследования. В каждом методе есть свои преимущества и недостатки, и чтобы избежать их количественного влияния, необходимо пользоваться комбинированными методами, объединяющими достоинства основных.

Методы расчета основных деталей и узлов специальных колесных лесных машин заимствованы из автотракторостроения и дают возможность с учетом специфики работы оценить динамическую нагруженность, которая и позволяет выйти на прогнозные показатели ресурса работы. В практике расчетных исследований обычно преобладают следующие методы прогнозирования ресурса:

- по результатам завершенных эксплуатационных испытаний;
- по результатам незавершенных эксплуатационных испытаний;
- по результатам ускоренных испытаний на натурных моделях;
- по результатам испытаний имитационными методами на расчетных моделях;
- экономико-вероятностные.

Каждый из указанных методов прогнозирования надежности в той или иной мере зарекомендовал себя с лучшей стороны для каких-то определенных условий. Для таких деталей, как шестерни, валы и другие элементы трансмиссии колесных лесных агрегатных машин ТТР-401, МЛПТ-354, МЛ-127 наиболее перспективным является метод расчета на усталостную долговечность, основанный на гипотезах суммирования повреждений, который предполагает стендовые испытания с использованием специального оборудования.

Источником внешних воздействий для колесных агрегатных машин является трелевочный волок, по которому они транспортируют заготовленную древесину. При машинной разработке лесосек состояние их не улучшилось, а наоборот, условия движения стали более затруднительными. При движении лесной машины с пачкой деревьев по лесосеке приходится преодолевать неровности различного характера, которые вызывают колебательные процессы в узлах и агрегатах трансмиссии, ходовой части и несущих системах технологического оборудования. Установлено, что величина этих нагрузок определяется динамическими параметрами трелевочной системы и характеристиками воздействия трелевочного волокна на нее. Исследования авторов [5] по характеру внешних воздействий показали, что ряд характерных препятствий в виде пней и валежин имеют значительные геометрические размеры, достигающие в отдельных случаях высоты до 0,5 м,

при небольшой протяженности по линии движения. Препятствия порогового типа являются источником экстремальных нагрузок, возникающих в агрегатах трелевочной машины. Автор работы [5] характеризует геометрические формы препятствий, встречающихся на трелевочных волоках на семь различных видов. Наиболее характерным методом представления аналитического описания микропрофиля является представление его в виде стационарной случайной функции и задание его корреляционной функцией и спектральной плотностью. Это обстоятельство позволяет учитывать объективную картину микропрофиля и скорость передвижения транспортного средства. Микропрофиль трелевочных волоков в общем случае является нестационарной случайной функцией, что связано с общими уклонами, подъемами и волнообразностью.

Нестационарность микропрофиля существенно сказывается на среднем квадратичном значении его ординат и практически не сказывается на его корреляционной функции, что позволяет при изучении воздействия производить его выравнивание, т. е. приводить к стационарности. Основной статистической характеристикой случайного процесса является корреляционная функция, по которой могут быть определены дисперсия и спектральная плотность. Для стационарного процесса характерны следующие признаки: стационарным считается процесс $X(t)$ у которого математическое ожидание $m_X(t)$ и дисперсия $D_X(t)$ являются постоянными, а нормированная корреляционная функция зависит только от разности аргументов t_1 и t_2

$$M[X(t)] = m_X(t) = \text{const}, \quad (1)$$

$$D_X(t) = \text{const}, \quad (2)$$

$$R_X(t_1 - t_2) = R_X(\tau), \quad (3)$$

где $M[X(t)]$ – символ математического ожидания; $X(t)$ – случайный процесс воздействия; $\tau = t_1 - t_2$ – аргумент корреляционной функции, т. е. расстояние между сечениями случайного процесса в моменты времени t_1 и t_2 . Корреляционная функция случайного процесса обычно аппроксимируется соответствующими аналитическими выражениями. Процесс подбора аналитического выражения для описания корреляционной функции микропрофиля $R(\tau)$ и спектральной плотности $S(\omega)$, заданных таблицей или графиком, состоит из выбора аппроксимирующей функции и коэффициентов с соблюдением выполнения условий, вытекающих из свойств корреляционных функций стационарных эргодических процессов. Аппроксимирующие аналитические выражения, полученные нами имеют незначительное отличие от зависимостей, полученных исследователями.

Для практической оценки динамической нагруженности необходимо знание дисперсии и спектральной плотности процесса. Обычно спектральную плотность процесса получают с помощью прямого функционального преобразования Фурье:

$$S(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(\tau) \cdot e^{-i w \tau} d\tau. \quad (4)$$

Известно большое количество конечных выражений по определению спектральной плотности. Иногда они очень громоздки, но их использование для практических расчетов не вызывает затруднений, так как общее число членов полинома обычно не превышает четырех. На основании проведенных замеров микропрофиля трелевочных волоков в ОАО «Плещеницлес» нами были получены спектральные плотности воздействия $S_q(w)$, которыми удобно пользоваться для практических расчетов динамических систем в частотной области. В конечном итоге была получена следующая зависимость:

$$S_q(w) = 2R(0) \times \sum_{i=1}^n \left[\frac{2 \cdot \alpha_i \cdot A_i \cdot (\alpha_i^2 + \beta_i^2)}{\alpha_i^2 (\alpha_i^2 + 2 \cdot w^2) + (\beta_i^2 + 2 \cdot \alpha_i^2) + w^2 (w^2 + 2 \cdot \beta_i^2)} \right],$$

где $R(0)$ – корреляционная функция процесса при $\tau = 0$.

Полученные по указанной формуле спектральные плотности для различных скоростей движения подтверждают предположение о том, что спектральная плотность воздействия является функцией убывающей. С увеличением скорости движения колесных лесных машин значение $S_q(w)$ смещается в сторону большего значения частоты, а их абсолютные величины увеличиваются. Особенности составляющих микропрофиля трелевочных волоков ограничивают использование скоростных возможностей колесной лесной техники. Опыт эксплуатации машин ТТР-401, МЛ-127 показал, что рабочие скорости на трелевке зависят от подготовки волоков и при благоприятных условиях работы составляют 5–12 км/ч. Такой широкий диапазон объясняется тем, что при больших расстояниях трелевки скорость возрастает, а при расстоянии 80–120 м колесные машины не могут использовать свои скоростные возможности.

Следующим этапом исследований являлась разработка расчетной модели колесной трелевочно-транспортной системы, позволяющей учитывать внутренние возмущающие воздействия от источника заданной ограниченной мощности, каким является двигатель внутреннего сгорания. На первом этапе исследований раздельно рассматривались две динамические системы и их поведение в эксплуатационных режимах: колесный трактор как активная система

колеса, которой реализуют крутящий момент в касательную силу тяги, и взаимосвязь пачки деревьев с базовым трактором через связующий элемент технологического оборудования.

Это позволило установить частотные диапазоны двух систем и классифицировать колебательные явления по их величине. Последующим этапом являлось соединение представленных подсистем в единую с целью взаимовлияния их друг на друга. Этот этап исследований позволил выявить влияние параметров пачки и конструкции подвеса на величины уровня динамической нагруженности. Оценка динамической нагруженности лесного колесного тягача проводилась по величинам спектральной плотности крутящих моментов на полуосях. На рисунке приведены спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях трелевочного трактора ТТР-401 на 2, 3, 4 и 5-й передачах с пачкой хлыстов объемом 1,4 м³ при движении по трелевочному волоку.

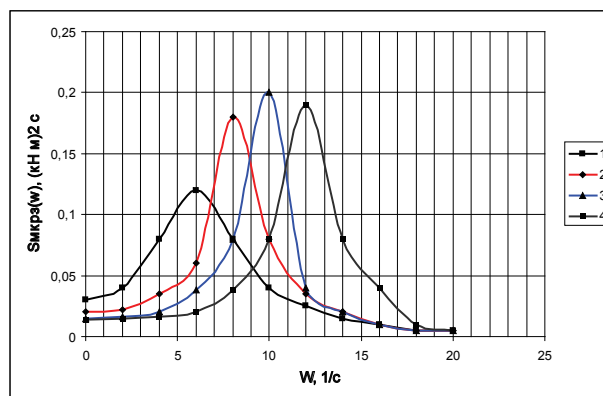


Рисунок. Спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях трелевочного трактора ТТР-401 при движении на различных передачах с пачкой $V = 1,4 \text{ м}^3$

Характер проявления кривых приблизительно одинаков. С возрастанием скорости максимумы частот с увеличением номера передачи сдвигаются в сторону более высоких частот. Так, для второй передачи диапазон максимальных значений $S_{Mkp3}(w)$ находится в частотном диапазоне 4, 5–7 с⁻¹, для 5-й передачи частотный диапазон находится в пределах 11–14 с⁻¹.

Впоследствии для решения задачи по определению долговечности деталей трансмиссии использовалась методика, изложенная в работе [5].

На этапе расчетных исследований определялись характеристики нагрузочного режима: среднее квадратичное отклонение момента σ_{mk} , число циклов W_0 , число максимумов W_1 на километр пути, коэффициент ширины спектра E и средний момент M_{cp} , что позволило по параметрам нагрузочного режима и кривой ус-

талости определяем средний ресурс по формуле основного уравнения гипотезы суммирования повреждений.

$$\bar{L} = \frac{N_{\text{сум}}}{W_{\text{ц}}} = \beta \left[W_{\text{ц}} \int_{\tau_{\text{min}}}^{\tau_{\text{max}}} \frac{f(\tau)}{N(\tau)} d\tau \right]^{-1}$$

где \bar{L} – ресурс деталей в километрах пробега; $N_{\text{сум}}$ – общее число циклов до разрушения; $f(\tau)$ – функция плотности распределения амплитуд напряжения в детали; β – величина, зависящая от материала детали и условий ее нагружения; $W_{\text{ц}}$ – среднее число циклов на 1 км пробега; τ_{min} и τ_{max} – соответственно нижняя и верхняя граница напряжений, участвующих в накоплении усталостного повреждения; τ – текущее значение напряжения. На основании изложенной методики определения ресурса деталей в 2004–2007 годах в ОАО «Плещеницлес» и «Логойском лесхозе» были получены обобщающие результаты исследований надежности колесных трелевочных тракторов ТТР-401 и погрузочно-транспортной машины МЛПТ-354.

Таблица

Распределение повреждений между агрегатами ТТР-401 и МЛПТ-354

Агрегат, система	Распределение повреждений между агрегатами	
	ТТР-401	МЛПТ-354
Двигатель и его системы	8	11,2
Несущая система	12,2	16,8
Ходовая система	16,8	17,9
Трансмиссия	24	21
Технологическое оборудование	28	24
Гидравлическая система	11	10

Выводы. Эксплуатационная оценка работы колесных лесных машин как сложных динамических систем может быть проведена на основании учета комплексных составляющих, полученных с учетом внешних и внутренних факторов переходных и установившихся режимов эксплуатации, позволяющих правильно разграничить их влияние на природу возникновения динамических процессов, описываемых законами статистической динамики. Предложенная методика по эксплуатационной оценке работы может быть распространена на транспортные средства и оборудование, работающие в лесных условиях эксплуатации. Приведенные данные могут служить исходным материалом при проектировании новых лесозаготовительных машин.

Литература

1. Жуков, А. В. Теория лесных машин / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 630 с.
2. Транспортное средство на высокоэластичных движателях. / Н. Ф. Бочаров и [др.]. – М.: Машиностроение, 1974. – 208 с.
3. Галицкий, Е. Н. Исследование динамики движения колесного трелевочного трактора на неустановившихся режимах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Н. Галицкий. – М., 1971. – 21 с.
4. Симанович, В. А. Разработка приведенной расчетной модели «колесный тягач – прицепной модуль – пачка деревьев» / В. А. Симанович, В. С. Исаченков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. промышленность, 2005. – Вып. XIII. – С. 138–142.
5. Аникин, Н. И. Снижение динамической нагруженности и повышение долговечности трансмиссии лесопромышленных колесных тракторов на основе анализа динамических процессов в характерных условиях эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. И. Аникин. – М., 1988. – 26 с.