

УДК 630\*377.4

**В. А. Симанович**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**В. С. Исаченков**, ассистент (БГТУ)

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ ТРАКТОРОВ

В статье представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований динамической нагруженности трансмиссии колесного трелевочного трактора при различных вариантах исполнения технологического оборудования. Даны рекомендации по совершенствованию элементов конструкции технологического оборудования с учетом условий эксплуатации колесного трелевочного трактора.

The article presents the results of experimental and theoretical studies dynamic load transmission skidder with different versions of the process equipment. Given to recommendation on perfection of elements of construction of technological equipment taking into account external of the skidder environments.

**Введение.** Эксплуатационные условия работы колесных трелевочных тракторов ТТР-401 на трелевке леса определяются преимущественно внешними воздействиями, которые вызывают непрерывное изменение крутящего момента в узлах трансмиссии и вертикальных динамических реакций в ходовой системе и технологическом оборудовании.

На начальном этапе исследований были составлены уравнения движения ТТР-401 с последующей корректировкой составляющих и параметров расчетных величин.

Разработанные нами на основе методов системного подхода математические модели, базирующиеся на линейной теории представления происходящих процессов [1, 2], служат аппаратом для решения сложных задач динамического характера. Это позволило на стадии проектирования получить расчетным путем параметры динамических процессов в узлах и агрегатах ТТР-401, а также разработать рекомендации по совершенствованию ее конструкции.

**Основная часть.** Работа колесных трелевочных тракторов ТТР-401 по условиям эксплуатации существенным образом отличается от работы лесовозных автомобилей, тракторов, транспортирующих прицепные и навесные орудия труда общего и сельскохозяйственного назначения, и ограничивается параметрами лесосек, на которых прокладываются магистральные и пасечные волоки, протяженность которых составляет 50...350 м.

В этих ограниченных условиях трактора испытывают в основном два сменяющих друг друга режима – разгон и торможение, и только при расстояниях трелевки, превышающих 350 м, часть пути проходит в режиме установившегося движения при скоростях 2,5...8,5 км/ч. Даже при условии подготовки магистральных и пасечных волоков на поверхности встречаются единичные и повторяющиеся препятствия.

Статистические характеристики магистральных и пасечных волоков были определены по

известным зависимостям [3, 4] и отвечали условиям стационарного случайного процесса. Оценка динамической нагруженности осей и трансмиссии трелевочного трактора проводилась по величинам крутящего момента на передних и задних полуосях трактора. Величина тягового усилия в канате определяла вертикальную нагруженность технологического оборудования и ходовой системы.

Теоретические и эксплуатационные исследования колесного трелевочного трактора ТТР-401 проводились для объемов пачки хлыстов 0,6...1,8 м<sup>3</sup> с интервалом изменения нагрузки через 0,2 м<sup>3</sup>. Замеры проводились на I...V передачах с варьированием скорости в пределах 2,50...8,46 км/ч.

Эксплуатационные исследования колесного трелевочного трактора ТТР-401 проводились на магистральном и пасечном волоках при использовании в серийном исполнении технологического оборудования, а также при введении в ходовую систему трактора дополнительной опорной оси. При теоретических исследованиях рассматривался вариант исполнения ходовой части с дополнительной осью в виде балансирной тележки.

В ходе исследований выяснилось, что наиболее рационально оценку уровня динамической нагруженности ТТР-401 следует производить с учетом условий эксплуатации и режимов нагружения. Переходные режимы работы (трогание с места, переезд единичных неровностей) следует оценивать коэффициентом динамичности по величинам крутящего момента на полуосях ведущих мостов трактора, а установившиеся условия работы наиболее характерно описывают статистические методы исследований.

В табл. 1 приведены величины крутящих моментов на передних и задних полуосях колесного трелевочного трактора ТТР-401 с серийным исполнением технологического оборудования для четырех вариантов объемов пачки хлыстов.

Таблица 1  
Показатели динамической нагруженности  
передней и задней полуосей ТТР-401  
при движении по пасечному волоку

Передача	$V$ , км/ч	$V_{П}$ , м <sup>3</sup>	$M_{КРmax}$ , кН·м ОП/ОЗ	$M[H]$ , кН·м ОП/ОЗ
1	2,50	0,6	0,924/10,221	0,438/4,992
		1,0	0,963/10,127	0,485/4,975
		1,4	1,013/9,966	0,524/4,962
		1,8	1,060/9,965	0,554/5,011
2	4,45	0,6	0,872/9,768	0,438/4,795
		1,0	0,904/9,702	0,454/4,780
		1,4	0,949/9,549	0,495/4,761
		1,8	0,975/9,457	0,520/4,798
3	5,76	0,6	0,785/8,757	0,383/4,333
		1,0	0,814/8,592	0,398/4,286
		1,4	0,839/8,452	0,416/4,257
		1,8	0,862/8,346	0,435/4,253

Динамические величины максимального значения крутящего момента при трогании  $M_{КРmax}$  на передних полуосях для первой передачи возрастают с увеличением объема трелеваемой пачки деревьев от 0,6 м<sup>3</sup> до 1,8 м<sup>3</sup>. Характер проявления указанных зависимостей наблюдается на второй и третьей передачах при указанных объемах транспортируемых пачек хлыстов. Соотношение между величиной максимумов крутящего момента на передних (ОП) и задних полуосях (ОЗ) находится в соотношении 1 : 10. Это объясняется компоновкой машин с рамной конструкцией ходовой части и колесами разного диаметра, а также разгрузкой переднего моста при агрегатировании технологическим оборудованием задней гидравлической навески трактора. Для машин с полурамной конструкцией и равновеликими колесами эта величина снижается для полуосей заднего моста.

При установившемся движении ТТР-401 сумма средних значений крутящих моментов, обеспечивающих равномерное поступательное движение по мере возрастания объемов пачки хлыстов также возрастает, что объяснимо увеличением сил сопротивления на перемещение трактора и пачки хлыстов. Увеличение объема пачки хлыстов с 1,0 м<sup>3</sup> до 1,4 м<sup>3</sup> привело к суммарному увеличению  $M_{КРmax}$  на 4...6%, а при сравнении указанной величины для объемов пачки хлыстов 0,6 м<sup>3</sup> и 1,8 м<sup>3</sup> она увеличилась на 12%.

Расхождение расчетных и экспериментальных величин  $M_{КРmax}$  для передних полуосей ТТР-401 на режимах установившегося движения составляет 6...7%, для задних полуосей 8...9% соответственно.

В табл. 2 приведены значения величин крутящих моментов при трогании и установившемся

движении для колесного трелевочного трактора с технологическим оборудованием, содержащим дополнительную опорную ось. Преодоление сопротивления качению от дополнительной опорной оси приводит к увеличению затрачиваемой мощности. Суммарный крутящий момент на передних и задних полуосях на второй передаче при объеме пачки хлыстов 1,0 м<sup>3</sup> при движении по пасечному волоку со скоростью 4,45 км/ч для серийного варианта технологического оборудования составляет 5,234 кН·м, при введении дополнительной оси увеличивается до 5,602 кН·м. Введение дополнительной опоры позволило произвести частичное перераспределение крутящего момента по полуосям, центр тяжести трактора сместился в сторону переднего моста, что привело к его большей загрузке. Если для третьей передачи при объеме пачки хлыстов 1,4 м<sup>3</sup> значение крутящих моментов при установившемся режиме движения на передней полуоси составляет 0,416 кН·м, то для усовершенствованной конструкции этот показатель составляет 0,977 кН·м. При этом соотношение между динамической нагруженностью передних и задних полуосей для конструкции с дополнительной осью составляет в среднем 1 : 6.

Таблица 2  
Показатели динамической нагруженности  
передней и задней полуосей колесного  
трелевочного трактора с усовершенствованным  
технологическим оборудованием  
при движении по пасечному волоку.

Передача	$V$ , км/ч	$V_{П}$ , м <sup>3</sup>	$M_{КРmax}$ , кН·м ОП/ОЗ	$M[H]$ , кН·м ОП/ОЗ
1	2,50	0,6	1,137/9,252	0,648/4,670
		1,0	1,368/9,342	0,823/4,368
		1,4	1,750/11,799	1,049/6,125
		1,8	1,935/12,985	1,066/6,760
2	4,45	0,6	1,129/9,043	0,646/4,588
		1,0	1,348/9,060	0,819/4,782
		1,4	1,711/11,479	1,026/5,952
		1,8	1,915/12,808	1,062/6,709
3	5,76	0,6	1,109/8,530	0,639/4,379
		1,0	1,302/8,544	0,793/3,844
		1,4	1,626/10,798	0,977/5,588
		1,8	1,855/12,424	1,024/6,575

Это подтверждает наше предположение об уменьшении нагрузки на задний мост трактора, что благоприятно повлияет на долговечность всей конструкции.

Расхождение экспериментальных и расчетных данных по величинам крутящего момента на передних полуосях колесного трелевочного трактора с усовершенствованной конструкцией ходовой системы на переходных режимах

движения составили в абсолютных величинах 0,25...0,45 кН·м. Для задних полуосей эта величина составляет 0,65...1,05 кН·м, причем наибольшие значения отклонений приходится на первую и вторую передачи передвижения.

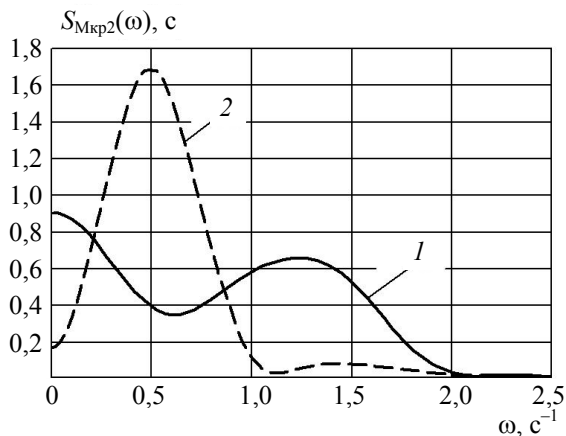


Рис. 1. Нормированные спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях колесного трелевочного трактора ТТР-401 при движении по пасечному волоку на II передаче с  $V_{хл} = 1,2 \text{ м}^3$ : стандартное (1) и усовершенствованное (2) технологическое оборудование

На рис. 1 приведены спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях при движении колесного трелевочного трактора ТТР-401 с пачкой хлыстов  $1,2 \text{ м}^3$  на пасечном волоку для серийного технологического оборудования (кривая 1) и для усовершенствованной конструкции, оборудованной дополнительной опорной осью (кривая 2). Общий уровень динамической нагруженности задней полуоси колесного трелевочного трактора наблюдается на частотах  $0,20 \text{ с}^{-1}$  и  $1,65 \text{ с}^{-1}$ . Для усовершенствованной ходовой системы максимумы спектральных плотностей находятся на частоте  $0,5 \text{ с}^{-1}$ .

Значения спектральных плотностей крутящих моментов на задних полуосях колесного трелевочного трактора ТТР-401 при движении по магистральному волоку для обоих вариантов исполнения технологического оборудования (стандартного и усовершенствованного) представлены на рис. 2.

Следует отметить, что для обоих вариантов наблюдаются два пика максимальных значений спектральных плотностей  $S_{Mkp2}(\omega)$ , причем для конструкции с дополнительной опорной осью они проявляются на частотах  $0,5 \text{ с}^{-1}$  и  $1,6 \text{ с}^{-1}$ .

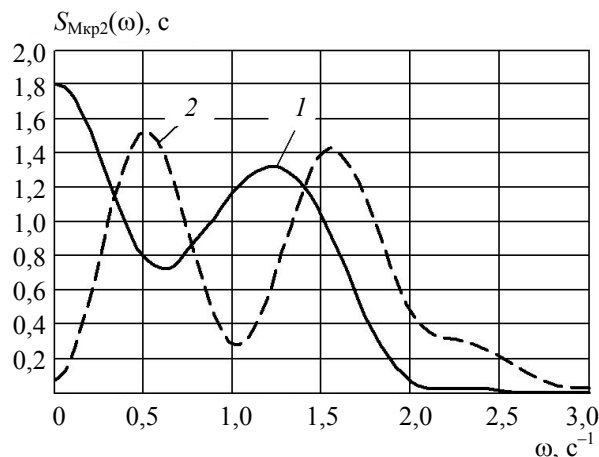


Рис. 2. Нормированные спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях колесного трелевочного трактора ТТР-401 при движении по магистральному волоку на II передаче с  $V_{хл} = 1,2 \text{ м}^3$ : стандартное (1) и усовершенствованное (2) технологическое оборудование

**Выводы.** Проведенные экспериментальные и расчетные исследования позволили установить величины динамического нагружения трансмиссии колесного трелевочного трактора ТТР-401 для серийного и усовершенствованного вариантов ходовой части при работе в различных эксплуатационных условиях.

Установлено, что применение дополнительной опорной оси в технологическом оборудовании позволяет снизить нагруженность полуосей заднего моста за счет перераспределения нагрузки между ними.

### Литература

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Силаев, А. А. Спектральная теория подпрессоривания транспортных машин. М.: Машиностроение, 1972. 192 с.
3. Исаченков В. С., Симанович В. А. Математическая модель колесной трелевочной машины // Труды БГТУ. 2011. № 2 (140): Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 75–81.
4. Исаченков В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров канатно-чокерного технологического оборудования // Труды БГТУ. 2012 № 2 (149): Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 75–81.

Поступила 15.03.2014