

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАНСМИССИИ БУЛЬДОЗЕРА НА БАЗЕ ТРАКТОРА ТП-4

Представлены результаты экспериментальных исследований эксплуатационной нагруженности трансмиссии гусеничного бульдозера на базе трактора ТП-4 со ступенчатой механической и экспериментальной гидромеханической трансмиссиями.

Ключевые слова: бульдозер, трансмиссия, гидротрансформатор, вынужденные колебания, динамическая нагруженность, коэффициент динамичности, баланс эксплуатационной нагруженности.

Экспериментальные исследования проводились для подтверждения достоверности аналитических расчетов по формированию динамической нагруженности механической и гидромеханической трансмиссий исследуемого промышленного трактора невысокого тягового класса при бульдозировании, выявления влияния гидротрансформатора на уровень динамической нагруженности трансмиссионных систем.

Целью экспериментальных исследований являлось определение целесообразности применения гидротрансформатора как защитного средства против крутильных колебаний и динамических нагрузок трансмиссии и двигателя при выполнении экспериментальным трактором бульдозерных работ на грунтах I-II категорий, наиболее распространенных в сельской местности.

При этом ставились следующие задачи исследований экспериментального трактора:

1. Определение действительных нагрузок в трансмиссии и двигателе при выполнении трактором бульдозерных работ на основных рабочих передачах.
2. Исследование влияния гидротрансформатора на крутильные колебания и динамические нагрузки трансмиссии и двигателя.
3. Исследование влияния гидротрансформатора на устранение резонансных режимов работы тракторной трансмиссии.
4. Исследование баланса эксплуатационной нагруженности механической и гидромеханической трансмиссий трактора при выполнении бульдозерных работ.

Выбранный в качестве объекта исследований макетный трактор класса 40 кН, созданный на базе гусеничного трактора ТП-4 производства Алтайского тракторного завода, наиболее полно удовлетворяет всем требованиям, обеспечивающим решение поставленных задач.

На тракторе применялись ступенчатая механическая и экспериментальная гидромеханическая трансмиссии. Замена одного типа трансмиссии другим осуществлялась в малый отрезок времени.

Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики,

статистической динамики и теории планирования эксперимента.

Предварительные испытания показали, что исследуемые процессы нагружения в трансмиссии трактора-бульдозера класса 40 кН являются нормально распределенными, широкополосными и могут быть отнесены к стационарным и эргодическим при длительности реализации не менее 220-250 сек. [1]

В результате экспериментальных исследований установлено, что в любых случаях при выполнении трактором бульдозерных работ через его трансмиссию передается переменный, периодически меняющийся крутящий момент. Частота и амплитуда его изменения зависят от ряда факторов. Частотный спектр этих колебаний весьма широк – от колебаний с периодом 1,5 ... 15 сек. до колебаний с частотой свыше 500 Гц.

Анализ осциллограмм записей крутящих моментов трансмиссии позволил выделить из общего спектра два типа колебаний. Первый тип – колебания с периодом 1,5 ... 15 сек. Они носят случайный характер и в основном вызваны неравномерным сопротивлением грунта из-за его различной плотности, заглублений и выглублений отвала с помощью гидропривода, а также изменениями сопротивления передвижению и ускорениями агрегата. Второй тип нагруженности – колебания с частотой свыше 2 ... 3 Гц. Эти колебания возбуждаются различными возмущающими моментами внутри трансмиссии. Они оказывают существенное влияние на динамическую нагруженность трансмиссии.

Большое число осциллограмм показывает, что крутильные колебания (второй тип) в трансмиссии трактора представляют собой непрерывные случайные колебания вокруг некоторых средних значений, причем, средняя амплитуда и характер колебаний не обнаруживают существенных изменений с течением времени.

Крутильные колебания оказывают значительное влияние на нагрузки в трансмиссии трактора. Характер изменения вынужденных колебаний по длине трансмиссии сильно зависит от ее конструктивных параметров. [1]

* - автор, с которым следует вести переписку.

Анализ полученных диаграмм нормированных спектральных плотностей амплитуд крутящих моментов показывает, что при работе трактора в режиме бульдозирования крутильные колебания в трансмиссии складываются из нескольких компонент. Первая компонента с частотой 5 ... 15 Гц наблюдается на всех валах трансмиссии и двигателя, ее возбудителем являются гусеничные зацепления движителя. Вторая компонента с частотой 25 ... 50 Гц наблюдается на валах карданной передачи, гидротрансформатора, муфты сцепления и двигателя (до полуосей заднего моста эти колебания не проходят, т. к. отфильтровываются зубчатыми зацеплениями КПП, центральной передачи и планетарного механизма поворота). Третья компонента с частотой 100 ... 130 Гц проявляется с незначительной энергией на валах карданной передачи и полуосей заднего моста трактора; колебания возбуждаются зубчатыми зацеплениями центральной передачи и планетарного механизма поворота и через ГТР к двигателю не проходят, т. к. отфильтровываются гидротрансформатором. [1]

Для повышения надежности и долговечности трансмиссии важно было исследовать динамические нагрузки при выполнении землеройных работ, в периоды экстремальных нагружений в момент трогания, как под нагрузкой, так и без нагрузки. При этом динамические нагрузки в трансмиссии оценивались коэффициентом динамичности

$$K_d = \frac{M_{max}}{M_{CP}}, \quad (1)$$

где M_{max} – максимальный крутящий момент в трансмиссии трактора при разгоне на передаче, замеренный по осциллограмме;

M_{CP} – математическое ожидание крутящего момента трансмиссии при выполнении трактором бульдозерных работ на той же передаче.

На рис. 1 приведены коэффициенты динамичности, полученные при разгоне бульдозерного агрегата с поднятым отвалом, а на рис. 2 – коэффициенты динамичности, полученные при разгоне трактора с предварительно заглубленным отвалом.

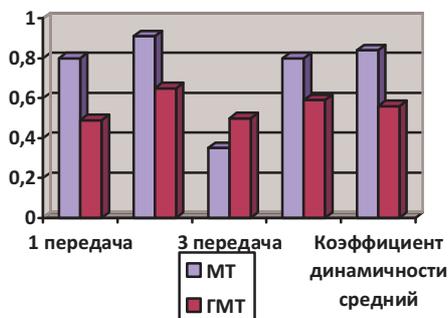


Рис. 1 Коэффициенты динамичности без нагрузки

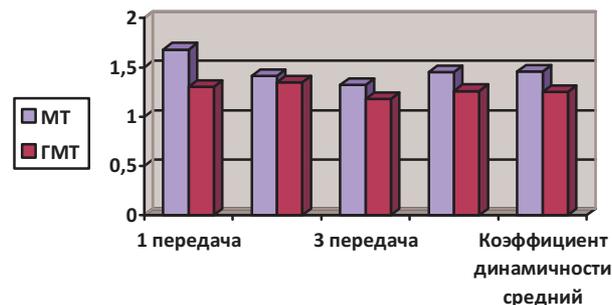


Рис. 2 Коэффициенты динамичности под нагрузкой

Как видно из приведенных рисунков, коэффициент динамичности в механической трансмиссии в среднем на 50 % больше коэффициента динамичности гидромеханической трансмиссии. При этом максимальный крутящий момент, возникающий в процессе трогания бульдозерного агрегата без нагрузки, в обоих типах трансмиссий не превышал средний крутящий момент трансмиссии, полученный при статической обработке большого количества реализаций бульдозирования. При трогании экспериментального трактора с места под нагрузкой максимальный крутящий момент трансмиссии в 1,32 ... 1,68 раза для варианта с механической трансмиссией и в 1,18 ... 1,35 раза – для гидромеханической превышает средний крутящий момент трансмиссии. Средний момент по передачам K_d^{CP} для механической передачи составил 1,46, для гидромеханической – 1,27. Таким образом, при всех равных условиях максимальный крутящий момент в механической трансмиссии при трогании экспериментального трактора под нагрузкой на 15 % выше, чем в гидромеханической трансмиссии.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. При трогании трактора ТП-4Э без нагрузки максимальный крутящий момент в механической и гидромеханической трансмиссиях не превышает среднего статистического по величине.

2. Установка в трансмиссию промышленного трактора класса 40 кН гидротрансформатора позволяет значительно уменьшить в ней динамические моменты при трогании трактора без нагрузки.

3. Максимальный крутящий момент механической трансмиссии высокоэнергонасыщенного трактора класса 40 кН при трогании с предварительно заглубленным отвалом бульдозера в 1,32 ... 1,68 раза превышает средний крутящий момент; гидромеханической трансмиссии - в 1,18 ... 1,35 раза.

4. При разгоне трактора ТП-4Э с предварительно заглубленным отвалом бульдозера коэффициент динамичности в механической транс-

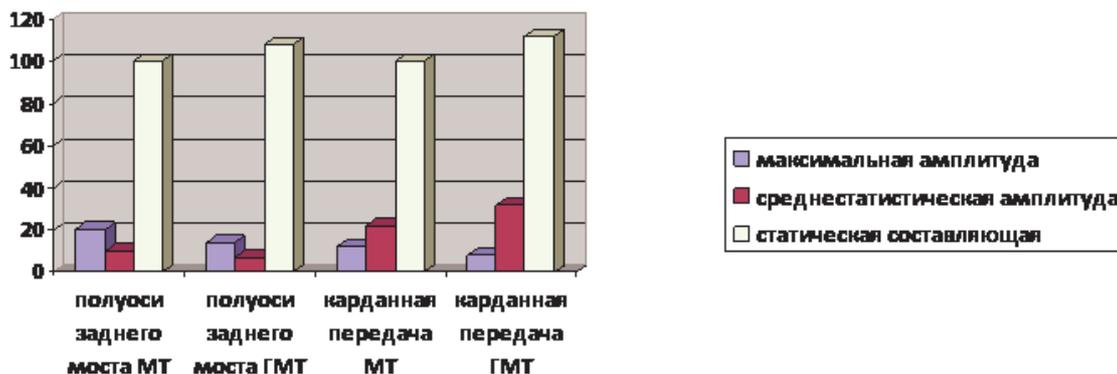


Рис. 3. Диаграммы эксплуатационной нагруженности полуосей заднего моста и кардана для механической и гидромеханической трансмиссий

миссии в среднем на 15 % выше, чем в гидромеханической.

Анализируя баланс эксплуатационной нагруженности крутящим моментом отдельных элементов конструкции трансмиссии, например, полуосей заднего моста или кардана исследуемого трактора при выполнении бульдозерных работ, для двух типов трансмиссий можно отметить следующее. Общий уровень эксплуатационной нагруженности, складывающийся из статической и динамической составляющих, с установкой в трансмиссию гусеничного трактора класса 40 кН непрозрачного гидротрансформатора почти не меняется (уменьшается на 1,5%). Но при этом качественный состав эксплуатационной нагруженности полуосей меняется значительно: во-первых, увеличивается статическая составляющая (на 8%), во-вторых, уменьшается динамическая составляющая (среднестатистических амплитуд – на 3%, максимальных амплитуд – на 5%). Т. е., полезный выход мощности в гидромеханической трансмиссии выше, чем в механической.

На рис. 3 приведены диаграммы эксплуатационной нагруженности крутящим моментом дета-

лей муфты сцепления, кардана (MT) и кардана (GMT). На этих диаграммах показана динамическая составляющая только от вынужденных колебаний среднечастотного диапазона. Здесь наблюдается аналогичная картина:

1. Эксплуатационная нагруженность GMT значительно ниже, чем MT (на 11%).
2. Статическая составляющая на GMT выше, чем на MT (на 12%).
3. Уменьшается динамическая составляющая: среднестатистических амплитуд – на 7,5 %, максимальных амплитуд – на 4 %.

На рис. 4 приведены диаграммы эксплуатационной нагруженности деталей муфты сцепления, кардана, гидротрансформатора от вынужденных колебаний низкочастотного и среднечастотного диапазонов. Статическая составляющая эксплуатационной нагруженности здесь для GMT выше на 12 %, чем для MT; динамическая составляющая на 12 % ниже. Причем, составляющая от крутильных колебаний среднечастотного диапазона уменьшается интенсивнее, чем от крутильных колебаний низкочастотного диапазона.

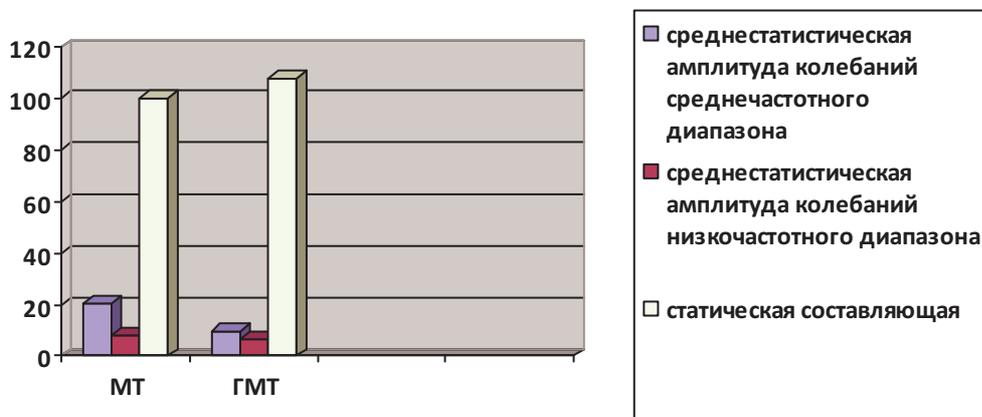


Рис. 4 Диаграммы эксплуатационной нагруженности кардана с учетом динамической нагруженности от крутильных колебаний низкочастотного диапазона

Таким образом, можно отметить: как для деталей муфты сцепления, кардана (МТ) и турбины ГТ, кардана (ГМТ), так и для полуосей заднего моста тенденции качественного изменения эксплуатационной нагруженности при введении в трансмиссию непрозрачного гидротрансформатора остаются неизменными, что позволяет распространить общий вывод по этому вопросу на все детали механической трансмиссии трактора (МТ) и механическую часть гидромеханической трансмиссии (ГМТ). Следовательно, установка непрозрачного гидротрансформатора в трансмиссию гусеничного трактора класса 40 кН влечет при выполнении бульдозерных работ на мягких грунтах следующие изменения качественного состава эксплуатационной нагруженности трансмиссии [1]:

1. Увеличивается статическая составляющая (на 8 ... 12 %).

2. Уменьшается динамическая составляющая (на 8 ... 12 %).

Анализ результатов экспериментальных исследований эксплуатационной нагруженности трансмиссии трактора ТП-4Э в процессе нормальной эксплуатации позволяет отметить:

1. С установкой в трансмиссию исследуемого трактора непрозрачного гидротрансформатора тяговое усилие возросло в среднем на 5,5 % при равенстве всех внешних условий.

2. Статическая нагруженность гидромеханической трансмиссии, судя по крутящим моментам двигателя, полуосей и крюкового усилия, в среднем по всем рабочим передачам на 5 ... 10 % выше, чем механической.

3. Наиболее интенсивны как в механической, так и в гидромеханической трансмиссиях, крутильные колебания, возбуждаемые гусеничными зацеплениями, поскольку максимальные амплитуды этих колебаний могут превышать средние в 2 ... 2,5 раза.

4. Общий уровень эксплуатационной нагруженности, складывающийся из статической и динамической составляющих, с установкой в трансмиссию гусеничного трактора класса 40 кН непрозрачного гидротрансформатора почти не меняется (уменьшается на 1,5 %). Но при этом качественный состав эксплуатационной нагруженности полуосей меняется значительно: во-первых, увеличивается статическая составляющая (на 8%), во-вторых, уменьшается динамическая состав-

ляющая (среднестатистических амплитуд на 3 %, максимальных амплитуд – на 5 %). Т. е., полезный выход мощности в гидромеханической трансмиссии выше, чем в механической.

5. В процессе экспериментальных исследований трактора ТП-4Э при бульдозировании на грунтах I-II категорий резонансов в трансмиссии не обнаружено.

6. При введении в трансмиссию трактора ГТР одновременно с уменьшением среднестатистических амплитуд вынужденных колебаний уменьшаются и максимальные амплитуды (низкочастотные на 11 %, среднечастотные – на 13 %).

7. При самопроизвольных внедрениях отвала бульдозера в грунт в процессе выполнения землеройных работ максимальный крутящий момент превышает среднестатистический: в механической трансмиссии в 1,96 ... 2,24 раза, в гидромеханической трансмиссии – в 1,72 ... 1,85 раза, т. е. K_d в ГМТ на 17 % ниже, чем в МТ.

Таким образом, исследования влияния гидротрансформатора на эксплуатационную нагруженность трансмиссии высокоэнергонасыщенного гусеничного трактора класса 40 кН при бульдозировании в условиях сельскохозяйственного производства показали целесообразность использования гидротрансформатора в целях снижения общего уровня динамической нагруженности трансмиссии.

Литература

1. Климов, А. А. Исследование динамической нагруженности трансмиссии бульдозерного агрегата на базе трактора класса 40 кН на грунтах 1-2 категорий. / А. А. Климов, А. В. Стручков. // Вестн. КрасГАУ. – 2008. – №1. – С. 201-206.

2. Климов, А. А. Экспериментальный промышленный трактор для исследования вопросов оптимизации энергонасыщенности. / А. А. Климов // Совершенствование конструкций и повышение надежности тракторов и погрузчиков. Красноярск, 2003. – С. 12-18.

3. Климов, А. А. Анализ баланса эксплуатационной нагруженности бульдозерного агрегата класса 40 кН. / А. А. Климов, А. В. Стручков // Пути повышения надежности машин и механизмов. – Красноярск, 2007. – С. 20-25.