

УДК 621.114.2.

СОСТОЯНИЕ НАУКИ О НАДЕЖНОСТИ НАЗЕМНЫХ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (НТТС) И ПУТИ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Коблов С.П., Жидков Г.И.

*ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет»,
Волгоград, e-mail: volgop@yandex.ru*

В статье дан анализ надежности НТТС как самостоятельной отрасли знаний, являющейся наукой комплексной. Проанализированы влияния внешних и внутренних нагрузок в структуре исследуемых объектов и установлено, что величина и характер статических и динамических нагрузок в НТТС оказывает решающее влияние на их надежность. Отмечена необходимость согласования научных теорий с философскими требованиями и нашими мировоззрениями при выборе исследуемых проблем. Проанализированы научные теории надежности НТТС и определен общий недостаток – их построение на дифференциальной картине движения тел, которая не отражает физические процессы в динамически нагруженных трансмиссиях НТТС. Таким образом, наука о надежности НТТС должна быть дополнена разделом современной физической теории, позволяющей проводить анализ уровня виброн нагруженности этих средств и его влияние на показатели надежности. Такой теорией является теория силового потока (ТПП), положенная в основу нашего исследования.

Ключевые слова: надежность, виброн нагруженность, силовой поток, трансмиссия, вектор, скоростной фактор, силовой фактор

STATE OF SCIENCE ABOUT GROUND TRAILER VEHICLES (GTV) RELIABILITY AND WAYS OF ITS DEVELOPMENT

Koblov S.P., Zhidkov G.I.

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, e-mail: volgop@yandex.ru

The article analyzes the GTV reliability as an independent branch of knowledge as a complex science. The external and internal loads influence in the investigated objects structure was analyzed and static and dynamic loads dimensions and nature effect on the reliability was established. The necessity of scientific theories and philosophical world view coordination in choosing research issues was shown. Scientific theories of GTV reliability was analyzed and the common disadvantage – the building on bodies movement differential pattern, which does not reflect the physical processes in dynamically loaded GTV transmissions – was defined. Thus, the GTV reliability science must include the modern physical theory, which allows to make the analysis of the vibration loading level and its influence on the reliability. Such a theory of power flow (TPF), forms the basis of our research.

Keywords: reliability, vibration loading, power flow, transmissions, vector, speed factor, power factor

Надежность наземных ТТС (тракторов, автомобилей и др.) является основным показателем их качества, её повышение – одной из актуальных проблем современности.

Наука о надежности как самостоятельная отрасль знаний является комплексной. Наиболее полный перечень её разделов дан в работе [2], где отмечается, что наука о надежности определилась как самостоятельная отрасль знаний, включающая теорию физико-химического старения; статистическую теорию надежности; методы конструирования надежных машин; методы обеспечения надежности в процессе производства; теорию эксплуатации и ремонта машин; экономику надежности машин.

Однако в работе [2] и в большинстве трудов других ученых в области надежности НТТС влияние внешних и внутренних нагрузок, имеющих, как правило, колебательный характер, вопросы изменения этих нагрузок и их разрушающего воздействия в зависимости от сочетания, в машинах локальных колебательных систем (ЛКС) глубоко не рассматриваются, а применяемые при анализе теоретические построения не

всегда соответствуют картине движения тел (факторов силового потока СП) в структуре исследуемых объектов.

Величина и характер статических и динамических нагрузок в НТТС оказывает решающее влияние на их надежность. И проблема здесь состоит в том, что классический закон сложения скоростей и появления отказов от трения и виброускорений здесь не верен, его надо преобразовать аналогично преобразованиям Лоренца, использованным А. Эйнштейном в его теории относительности. При этом законы самих физических явлений (трения и виброускорений) должны оставаться неизменными.

Следуя методологии Лоренца [8] и учитывая разную природу и законы формирования скорости потока отказов V от трения и от виброускорений U , можно получить закон сложения этих скоростей в виде формулы абсолютной скорости потока отказов НТТС V_2 :

$$V_2 = (V_1 + U)/(1 + U \cdot V_1/C^2),$$

где C – предельно допустимая скорость появления отказов НТТС перед сдачей его

в капитальный ремонт (у А. Эйнштейна C – скорость света).

Заметим, что, предлагая новый закон сложения скоростей потоков отказов от трения и виброускорений, мы учитывали замечание М. Бунге о том, что «...научная теория является суммированием и кодированием фактов и слегка дополняет их экстраполяцией» [6] и поэтому в своей работе широко пользовались рекомендациями и выводами философов в области построения научных теорий. Необходима согласованность научных теорий с доминирующей философией (диалектическим материализмом) и нашими мировоззрениями при выборе исследуемых проблем, формировании гипотез, оценке идей и процедур. В частности, философские идеи сыграли чрезвычайно важную роль в процессе становления теории относительности.

Физика имеет дело с законами природы, которые возникают на основе опыта: так считал Г. Галилей и И. Ньютон. Так и в нашем случае – пробел в науке о надежности пытались восполнить многие ученые и исследователи. Остановимся на некоторых из них.

В работе [3] рассмотрен процесс изменения продольных колебаний звеньев гусеничного МТА путем применения упругой связи в механизме навески. Для анализа и расчета таких систем использована теория случайных функций. В этой работе рассматривались лишь низкочастотные колебания элементов, не учитывалось формирование колебаний в ЛКС машинно-тракторных агрегатов (МТА), взаимодействие этих ЛКС и образование при этом спектра высокочастотных колебаний вибраций и виброускорений. Как установлено, эти ускорения в виде упругих волн оказывали разрушающее воздействие на все элементы МТА, в том числе и работающие без трения. Так образовался самостоятельный поток отказов, физическую сущность которого предстояло выявить.

Фундаментальный труд В.С. Шуплякова [8], как отмечает его автор, посвящен рассмотрению той части нагруженности трансмиссии, которая формируется от воздействия на колёса автомобиля неровностей дороги. Построение теории колебаний, нагружающего трансмиссию момента основано на применении аппарата статистической динамики. Таким образом, и здесь основное внимание уделяется рассмотрению низкочастотных колебаний, процессы их формирования в различных ЛКС автомобиля и взаимодействие этих ЛКС не рассматриваются, динамические нагрузки в опорах инерционных вращающихся масс кинетической энергии (интегралы скольжения – по тер-

минологии теории силового потока (ТСП) оцениваются лишь с позиций их влияния на надежность опор и не учитывается их роль в формировании виброускорений. Уравнения движения вращающихся масс приведенной (упрощенной) схемы автомобиля составляются с использованием формул Лагранжа II рода для каждой обобщенной координаты, которыми в данном случае являются приведенные к коленчатому валу двигателя углы поворота вращающихся масс.

Одним из недостатков используемой в работе [8] теории является отступление от философского понимания природы, согласно которому в мире нет ничего, кроме движущейся материи. То есть нет углов поворота вращающихся масс, а есть их скоростные и силовые факторы, произведение которых дает мощностной фактор для трансмиссии НТТС – это скорость (скольжение) и крутящий момент, произведение которых всегда равно передаваемой мощности. Это отступление, носящее скрытый характер, ибо математически здесь ошибки нет – угол закрутки валов и угловая скорость имеют одинаковую размерность, является принципиальным и порождает ряд других ошибочных представлений о формировании колебаний. В частности, расчеты с использованием этих теоретических представлений дают множество частот собственных колебаний (по две для каждой вращающейся массы), в то время как опыт дает одну такую частоту для систем любой сложности (любого числа степеней свободы).

Кроме того, в трансмиссиях НТТС имеют место колебания лишь вращающихся масс, а не моментов (силовых факторов активно-реактивного СП). Вследствие скрытого действия в колебательной системе закона динамического равновесия в ней формируется осредненный поток, а передаваемая мощность остается неизменной. Этим явлением пользуются при проектировании машин. Поэтому процесс изменения амплитуд силового фактора (крутящего момента) силового потока трансмиссии является внутренним процессом, скрытым от наблюдения. Система работает аналогично маятнику часового механизма без внешних проявлений. Внутренние процессы формирования энергетического потока, реактивного по отношению к активному мощностному потоку, состоят из постоянно чередующихся потоков кинетической энергии в инерционных вращающихся массах, отнимающих часть силового фактора [$M_{кр}$] активного мощностного потока и потока потенциальной энергии упругих валов, отдающих эту часть силового фактора обратно. При этом в опорах инерционных

вращающихся масс формируются интегралы скольжения (подробно будут рассмотрены ниже), которые оказывают двойное воздействие на надежность трансмиссии и машины в целом: во-первых, образуются переменные (циклические) нагрузки на опорах вращающихся масс, и, во-вторых, при определенном сочетании ЛКС в тракторе оказывают возмущающее воздействие на соседние системы. Например, интеграл скольжения в опоре (подшипнике) муфты сцепления (ЛКС трансмиссии) оказывает возмущающее воздействие на установленный на резиновых амортизаторах двигатель (ЛКС двигателя), формируя спектр виброускорений этих элементов. Опыты показывают, что эти ускорения оказывают определяющее влияние наряду с трением на их надежность [4].

Таким образом, при наличии колебаний осредненный мощный поток от двигателя к движителю (без учета потерь на трение) остается неизменным, а его крутящий момент изменяется лишь в зависимости от передаточного числа преобразующих устройств трансмиссии (коробки передач, главной и конечных передач и др.). Важной проблемой здесь остается поиск физической теории, позволяющей проводить анализ и расчет колебательных систем, сочетающих в себе энергетические и мощностные потоки, а также проводить анализ взаимодействия различных ЛКС в НТТС.

Наиболее полно методика расчета крутильных колебаний валов (на примере трансмиссии ткацких станков) с использованием уравнений Лагранжа II рода рассмотрена в работе [9]. При рассмотрении вынужденных крутильных колебаний цилиндрических валов постоянного сечения с закрепленными на них n дисками авторы работы [9] учитывают только колебательные движения, вызываемые скручиванием вала: вращение же вала и передача через него активного мощностного потока из рассмотрения выпадают.

Данная физическая теория применительно к анализу крутильных колебаний обладает рядом недостатков, к основным из которых следует отнести то, что она не отвечает таким философским требованиям к научным теориям, как наблюдаемость и простота. Это обстоятельство затрудняет ее использование в инженерной практике, что в сочетании с неточностью получаемых результатов при расчете многомассовых систем является одним из оснований поиска более совершенных физических теорий; – не позволяет решить задачу о взаимодействии в трансмиссиях двух потоков – мощностного активного и сопутствующего ему

энергетического реактивного потока из-за неучета векторной формы скоростных и силовых факторов этих потоков.

Публикации в области колебаний авто-ра работы [7] ограничиваются разработкой методов расчетного определения частот и форм собственных колебаний на основе составления и решения системы уравнений, используя принцип Даламбера, приводя их к виду уравнений Лагранжа II рода. В этих публикациях нет решения задачи до уровня практического использования. Фактически здесь определялись моменты инерции и упругости готовых деталей изделия и их упрощение, то есть отступление от реальной конструкции. Сами же динамические модели трансмиссий исследуемых НТТС с преобразующими устройствами типа «коробка передач» в его трудах оказываются неработоспособными, ибо в них не учитываются реактивные потоки с упруго-демпфирующими устройствами в местах соединения потоков с корпусом исследуемого объекта. В работе не учитывается векторный характер силовых и скоростных факторов сопутствующих друг другу энергетического и мощностного потоков в трансмиссии. Все это вместе с особенностями принятой упомянутой в работе физической теорией порождает ряд ошибочных понятий. Остановимся на некоторых из них.

Во-первых, спектр собственных частот колебаний трансмиссии вытекает из решения принятой системы уравнений, неадекватно описывающей данное физическое явление: опыт дает одну такую частоту для систем любой сложности, легко определяемой, например, методами ТСП, о чем будет сказано ниже. Множество частот колебаний в сложных изделиях техники является следствием взаимодействия их ЛКС и внешних возбуждений.

Во-вторых, взаимозависимость (связность) колебаний в звеньях трансмиссии при единой частоте их колебаний не может существовать, ибо формирование амплитуд колебаний в звеньях трансмиссии имеет местный (локальный) характер, как это имеет место в расположенных рядом часовых механизмах.

В-третьих, в связи с векторной структурой силовых и скоростных факторов сопутствующих друг другу энергетических и мощностных потоков формируемые в звеньях трансмиссии колебания не могут распространяться в валопроводе: агрегаты трансмиссии лишь передают от двигателя к движителю и обратно внешние воздействия, которые в каждом отдельном случае имеют свои частоту и амплитуду колебаний, являются случайными и не зависят от конструкции трансмиссии.

Общим недостатком рассмотренных выше физических теорий является их построение на дифференциальной картине движения тел «от точки к точке, от мгновения к мгновению», которая не отражает физические процессы в динамически нагруженных трансмиссиях НТТС. Более 450 лет тому назад Г. Галилей (1564-1642) в своих знаменитых «Диалогах» [5] доказал, что движение тел может происходить только по замкнутой линии, ибо движение по прямой линии есть движение в никуда. Характерно, что за прошедшее время никто из ученых не опроверг этого вывода, а когда появилась новая физическая теория – теория комплексных передающих систем (теория силового потока ТСП) профессора А.С. Антонова (1902–1986) [1], построенная на упомянутой выше картине движения тел Галилея по замкнутой линии (силовому потоку), она не нашла широкого применения в области автотракторостроения, хотя при анализе колебаний и вибронгруженности машин она является незаменимой.

ТСП построена на основе обобщения свойств механических, электромагнитных, гидравлических и термодинамических частных физических систем и представления движения силовых, скоростных и мощностных факторов в этих системах по замкнутой линии – силовому потоку (СП). В рамках этой теории сформулированы два новых принципа – принцип равновесия узловой точки (учитывающий и реактивные потоки преобразующих устройств) и принцип сохранения движения замкнутого силового потока. Из этих двух основных принципов математически можно получить и третий принцип – принцип сохранения мощности, то есть тот единственный принцип, которым пользуется современная физика. Автор ТСП излагает все законы физики с позиций замкнутости движения и дает свой метод анализа, особенностями которого являются:

– более полное следование положениям философии диалектического материализма; вместо скорости, ускорения и углов закрутки валов используются силовой и скоростной факторы, произведение которых всегда равно мощностному фактору;

– проведению расчетов факторов силового потока предшествует составление схемы силового потока, имеющей высокую степень наглядности (с выделением ЛКС и др.) и предусматривающей возможность математического описания каждого символа – трех типов преобразующих устройств (узловых точек УТ) и трех типов потоков связи этих УТ; то есть составления математической модели исследуемого объекта;

– сформулированы два новых принципа (закона физики) – принцип равновесия УТ и принцип сохранения скоростных факторов замкнутых СП, из которых математически получается принцип сохранения мощностных факторов как следствие первых двух принципов;

– в ТСП также наиболее полно реализуется философское требование к физическим теориям – их простоты в понимании У. Оккама: «То, что можно объяснить посредством меньшего, не следует выражать посредством большего» [6]. В зависимости от сложности решаемой задачи ТСП позволяет найти решение на основе осредненных и действительных (колебательных) силовых потоков, составленных из кинетических обобщенных УТ. Этим свойством не обладает ни одна из известных физических теорий.

Таким образом, наука о надежности НТТС должна быть дополнена разделом современной физической теории, позволяющей проводить анализ уровня вибронгруженности этих средств и его влияние на показатели надежности. Такой теорией является ТСП, которая и положена в основу нашего исследования. Развитие науки о надежности может быть успешным лишь при совершенствовании всех её разделов, в том числе ТСП и, прежде всего, её раздела о крутильных колебаниях и взаимодействии ЛКС.

В результате вышеизложенного можно сделать следующие выводы: существующие физические теории в области исследования наземных мобильных машин, построенные на дифференциальной картине движения тел, предусматривают составление системы дифференциальных уравнений, решение которых дает лишь приближенные результаты; они не позволяют учесть векторную форму факторов силового потока вращательных колебательных систем и раскрыть процессы взаимодействия в этих системах энергетических и мощностных силовых потоков, формирующих колебания. В этих теориях не учитываются реактивные потоки преобразующих устройств, силовых передач мобильных машин, которые являются неотъемлемой частью процессов преобразования факторов силового потока и формирования в этих системах колебаний.

Список литературы

1. Антонов А.С. Комплексные силовые передачи. Теория силового потока и расчет передающих систем. – Л.: Машиностроение, 1981. – 496 с
2. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 430с.

3. Жидков Г.И. Повышение эффективной работы МТА на базе энергонасыщенного гусеничного трактора класса 3 путем применения упругой связи в механизме навески: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 1989. – 146 с.

4. Коблов С.П. Повышение безотказности трактора ДТ-175С в составе МТА за счет снижения уровня динамической нагруженности его системы «двигатель-карданная передача-насосное колесо гидротрансформатора»: дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2005. – 223 с.

5. Кузнецов Б.Г. Галилей. – М.: Изд-во «Наука», 1964. – 318 с.

6. Чудинов Э.М. Теория относительности и философия. – М.: Политиздат, 1974. – 304 с.

7. Шеховцов В.В. Анализ и синтез динамических характеристик автотракторных силовых передач и средств для их испытания: монография; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2004. – 224 с.

8. Шупляков В.С. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля. – М.: Транспорт, 1974. – 328 с.

9. Яблонский А.А., Норейко С.С. Курс теории колебаний. – М.: Высшая школа, 1961. – 207 с.

References

1. Antonov A.S. Kompleksnye silovye peredachi. Teorija silovogo potoka i raschet peredajushhih sistem. L.: Mashinostroenie, 1981. 496 p

2. Elizavetin M.A. Povыshenie nadezhnosti mashin. M.: Mashinostroenie, 1973. 430 p.

3. Zhidkov G.I. Povыshenie jeffektivnoj raboty MTA na baze jenergonasyshhenного gusenichного traktora klassa 3

putem primeneniya uprugoj svyazi v mehanizme naveski. Diss. na soisk. uchen. stepeni kand. tehn. nauk. Volgograd, 1989. 146 p.

4. Koblov S.P. Povыshenie bezotkaznosti traktora DT-175S v sostave MTA za schet snizhenija urovnja dinamicheskoy nagruzhennosti ego sistemy «dvigatel'-kardannaja peredacha-nasosnoe koleso gidrotransformatora». Diss. na soisk. uchen. stepeni kand. tehn. nauk. Volgograd, 2005. 223 p.

5. Kuznecov B.G. Galilej. M.: izdatel'stvo «Nauka», 1964. 318 p.

6. Chudinov Je.M. Teorija otноситel'nosti i filosofija. M.: Politizdat, 1974. 304 p.

7. Shehovcov V.V. Analiz i sintez dinamicheskikh harakteristik avtotraktornyh silovyh peredach i sredstv dlja ih ispytaniya: monografija / Shehovcov V.V.; Volg GTU. Volgograd: RPK «Politehnik», 2004. 224 p.

8. Shupljakov V.S. Kolebanija i nagruzhennost' transmissii avtomobilja. M.: Transport, 1974. 328 p.

9. Jablonskij A.A. Norejko S.S. Kurs teorii kolebanij. M.: Vysshaja shkola, 1961. 207 p.

Рецензенты:

Славуцкий В.М., д.т.н., профессор Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград;

Борисенко И.Б., д.т.н., профессор Волгоградского государственного аграрного университета, г. Волгоград.

Работа поступила в редакцию 29.11.2013.