

Бибик Д.В.

К ВОПРОСУ О ГИДРООБЪЕМНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ

Военная история XX в. и опыт боевого применения бронетанковой техники (БТТ) вооруженными силами разных стран мира показывает, что техническое совершенство какого-либо образца данного вида вооружения в значительной мере определяется выбором компромисса между тремя основными его показателями – *защищенностью, огневой мощностью и подвижностью*. При этом параметры подвижности неявно влияют как на показатели защищенности – более подвижную боевую бронированную машину (ББМ) сложнее поразить, так и на показатели огневой мощи – более подвижная ББМ за более короткий промежуток времени может выйти на позицию, и с большей вероятностью выполнить боевую задачу. Современная военная наука определяет понятие *подвижности ВГМ*, как способность *преодолеть заданный маршрут за определенный промежуток времени*. Подвижность зависит от многих других характеристик – быстроходности, управляемости, приемистости, способности преодолевать трудные участки пути, которые, в свою очередь, зависят от работы трансмиссии. Традиционно в качестве трансмиссий военных гусеничных машин (ВГМ) использовались ступенчатые механические трансмиссии. При этом, несмотря на их сравнительно высокий КПД, машинам с такими трансмиссиями присущи заметные *недостатки*:

- ступенчатое управление передачи мощности от двигателя к ведущим колесам;
- особенности прохождения машиной поворота, который достигается за счет торможения одного борта при сохранении скорости другого борта, в результате чего снижается скорость прохождения поворота машиной в целом;
- низкие эргономические показатели условий труда механика-водителя, обусловленные необходимостью частого переключения передач вручную;
- низкие показатели комфортности экипажа, обусловленные возникновением ударных нагрузок в деталях трансмиссии, которые при наличии механической связи корпуса и движителя приводят к резким толчкам ВГМ в продольном направлении;
- затрудненное управление движением гусеничной машины по дорогам с твердым покрытием с высокой скоростью, так как это требует от механика-водителя очень высокой квалификации, а также низкая маневренность при преодолении препятствия типа «змейка».

Таким образом, требованием времени стало проектирование новых схем и систем трансмиссии, обеспечивающих бесступенчатое регулирование передачу мощности и плавное управление поворотом объектов БТТ. Поэтому для повышения свойств подвижности тяжелых ВГМ конструкторами многих стран предпринимались попытки создания гидро- и электромеханических трансмиссий.

Поскольку до настоящего времени электромеханическая трансмиссия не нашла широкого применения на серийных образцах ВГМ, далее будут рассматриваться особенности применения только гидравлического привода.

При создании гидромеханических трансмиссий транспортных средств можно идти двумя путями:

- создавать полнопоточную трансмиссию;
- создавать трансмиссию, работающую в параллельном потоке мощности.

Первый путь является приемлемым для сравнительно легких транспортных средств – легковых и грузовых автомобилей, тракторов, легких гусеничных машин (массой до 10 т), либо же для тяжелых карьерных самосвалов, имеющих полную массу порядка сотен тонн (гидротрансмиссия фирмы «Секмафер» для самосвала массой 308 т) [1].

Для тяжелых гусеничных машин – танков, боевых машин пехоты, – такая схема является неприемлемой, так как с ростом передаваемого потока мощности нелинейно и в значительной степени возрастают потери в гидравлической трансмиссии. Потери мощности при этом могут достигать 20 % и более, что нивелирует главное преимущество гидротрансмиссий – возможность бесступенчатого и автоматизированного регулирования крутящего момента. Поэтому для этих транспортных машин применяется многопоточная компоновка трансмиссии [1, 2]. В настоящий момент усилия ведущих фирм сосредоточены на проектировании гидромеханических трансмиссий на основе *гидрообъемных передач* (ГОП), работающих в параллельном потоке мощности.

Впервые гидрообъемную механическую трансмиссию (ГОМТ) пытались применить английские конструкторы при создании первых танков во время 1-й мировой войны. Однако первые образцы имели высокую стоимость, обладали большими габаритами, массой и отличались низкой надежностью. И в последующие несколько десятилетий в разных странах не удавалось создать образцы гидropередач, которые были бы лишены указанных недостатков. Лишь в 60-х гг. XX в. на Западе стали появляться приемлемые конструкции ГОП, преимущественно аксиального типа, которые стали постепенно применяться в механизмах поворота танков.

В конце 70-х гг. в КП ХКБМ им. А.А. Морозова была предпринята попытка сделать ГОМТ для танка. Были разработаны и изготовлены роторно-поршневые гидромашинны, подвергнутые затем динамическим испытаниям на экспериментальном стенде. Конструкция гидромашин не была подкреплена серьезными исследованиями и расчетами, что и привело к их поломке, и в итоге работы по ГОП были свернуты более чем на 20 лет [4]. Вторая волна интереса КП ХКБМ к применению гидромашин в танковых трансмиссиях возникла, когда стало известно о создании в США трансмиссии НМРТ-1250, предназначенной для тяжелой бронетехники.

Как свидетельствует практика конструирования и применения гидравлических устройств в технике, гидравлические машины с аксиальным расположением цилиндров работают на более высоких скоростях, чем машины радиального типа. Также они имеют преимущество по массе. Так, при прочих равных условиях, масса аксиальных машин примерно в 2 раза меньше, чем масса радиальных. Однако гидравлические машины радиального типа способны выдерживать значительно большие нагрузки, чем аксиальные. А, кроме того, радиальные роторно-поршневые машины с шариковыми поршнями лишены недостатка радиальных гидромашин с другими типами поршней – они являются быстроходными, и могут применяться в транспортном машиностроении.

Проанализировав ряд работ отечественных ученых [1, 2, 3], можно отметить такие *преимущества* гидрообъемных механических трансмиссий:

– ГОМТ на базе радиально-поршневых гидромашин с шариковыми поршнями обладают наименьшей массой и габаритами по сравнению с трансмиссиями других типов той же мощности, за счет того, что центральный вал трансмиссии проходит внутри оси цапфы ГОП, а картер трансмиссии является одновременно картером гидropередачи;

- применение ГОМТ обеспечивает плавное бесступенчатое регулирование передаточного отношения трансмиссии и скорости движения, а также регулирование поворота ГМ с любым радиусом, что значительно повышает управляемость ВГМ;
 - ГОМТ позволяет работать двигателю ВГМ как в режиме наибольшей мощности, так и в режиме минимального расхода топлива во всех скоростных диапазонах движения;
 - ВГМ, оснащенная ГОМТ, обладает лучшей тяговой характеристикой по сравнению с ВГМ, оснащенной ступенчатой механической трансмиссией;
 - ГОМТ обладают свойством реверса, что дает возможность ВГМ переходить с движения вперед к движению задним ходом без остановки и переключения передач, а также это обеспечивает разворот ВГМ на месте с нулевым радиусом;
 - применение ГОМТ обеспечивает автоматизацию управления движением, что позволяет существенно повысить эргономические показатели условий труда механика-водителя ВГМ;
 - применение ГОМП позволяет повысить надежность силового агрегата и других узлов ВГМ, так как устранена жесткая кинематическая связь между двигателем и движителем, и в гидропередаче происходит демпфирование ударных нагрузок.
- Однако гидрообъемным передачам присущи и некоторые *недостатки*:
- работа гидрообъемных приводов, входящих в состав ГОМТ, в режимах с максимальной нагрузкой приводит к высокому уровню объемных потерь рабочей жидкости, которую затем необходимо отводить, охлаждать и заново направлять в область подпитки;
 - коэффициент полезного действия ГОМТ на 7–10 % ниже по сравнению со ступенчатой механической трансмиссией, что обусловлено потерями на внутреннее трение рабочей жидкости и ее утечками в гидромашинах, которые входят в состав ГОМТ;
 - в ГОМТ могут иметь место резкие перепады давления, в т.ч. и гидравлические удары, которые возникают, когда меняются местами полости давления нагрузки и подпитки, что может привести к снижению ресурса гидропередачи;
 - для нормальной работы ГОМТ важное значение имеет определенная вязкость рабочей жидкости, которая зависит от ее температуры, поэтому работоспособность трансмиссии чувствительна к изменению температуры окружающей среды;
 - внутри ГОМТ при некоторых режимах работы (на поворотах) возникает циркуляция мощности, приводящая к существенным потерям мощности и интенсивному тепловыделению.

Для отечественного танкостроения традиционным является поперечное расположение силового агрегата и трансмиссии в моторно-трансмиссионном отделении (МТО). За счет этого, а также благодаря применению 2-тактных многотопливных двигателей оригинальной конструкции семейства 5ТД (6ТД), достигается уменьшение габаритов и силуэта украинских танков, при одновременном сохранении высокой удельной мощности по сравнению с зарубежными образцами. Оборудование перспективных отечественных боевых бронированных машин гидрообъемными трансмиссиями позволяет создать достаточно компактную конструкцию МТО [5], однако порождает массу чрезвычайно сложных взаимосвязанных проблем, требующих своего решения, которые можно разделить на 2 типа. Это, прежде всего, *вопросы разработки и выбора компоновочных схем*, обеспечивающих размещение сконструированной новой гидромеханической трансмиссии в ограниченном пространстве МТО гусеничной машины. Во вторую группу входят *вопросы постановки и решения ряда физико-механических задач*, таких как обеспечение прочности и жесткости наиболее нагруженных и ответственных дета-

лей и элементов гидропередачи, на которые значительно возрастают нагрузки, что напрямую может сказываться на работоспособности ГОП.

Результатом совместного труда специалистов КП ХКБМ им. А.А. Морозова, ЗАО «НИИГидропривод» и НТУ «ХПИ» стало создание гидрообъемной радиально-поршневой передачи с шариковыми поршнями ГОП-900, не имеющей аналогов в странах СНГ. К настоящему моменту в КП ХКБМ построено 3 гидропередачи ГОП-900, причем 2 из них успешно прошли предварительные ходовые испытания в составе объекта бронетанковой техники (сентябрь 2006 г.), подтвердив тем самым успешность разрабатываемой конструкции. При этом разработчиками гидропередачи в рамках конструкторско-доводочных исследований решались следующие задачи:

- повышения теплостойкости и износостойкости контртел цилиндро-поршневых групп за счет применения специальных, не традиционных для гидроприводов материалов (в том числе керамических, полимерных и композиционных) и рабочих жидкостей;
- обеспечения эффективной смазки поршневых групп, и за счет этого – работоспособности конструкции при работе на холостом ходу при максимальном и минимальном («нулевом») значениях эксцентриситета и в полном диапазоне частот вращения;
- выбора оптимальных значений зазоров в поршневых парах и разработки методики расчета утечек;
- формирования конфигурации и условий течения рабочей жидкости в картере гидропередачи, обеспечивающих минимизацию потерь мощности [6].

Предел технологического совершенства гидропередачи типа ГОП-900 пока не достигнут. Поэтому для более полного использования теоретических преимуществ гидромашин такого типа, все еще остается открытым вопрос *рационального выбора конструктивных параметров* и материалов.

В отечественной литературе накоплен достаточно большой объем знаний в области применения ГОП. Прежде всего, это основополагающие работы Башты Т.М., Прокофьева В.Н., Кисточкина Е.С. Анализ литературных источников [1, 3, 4, 7, 8, 9, 10] показывает, что подавляющее большинство работ по гидрообъемным машинам посвящено методам расчета и построению математических моделей для решения довольно узкого круга задач, среди которых можно указать:

- исследование усилий на отдельных элементах (поршни, плунжеры) гидромашин;
- исследование коэффициента полезного действия гидромашин;
- анализ потерь как механических, так объемных и гидравлических;
- исследования кинематических, гидравлических и энергетических параметров гидропередач;
- изучение вопросов рационального применения ГОП в целом как бесступенчатого редуктора в трансмиссиях гусеничных машин.

Однако в изученных работах практически отсутствуют сведения по радиально-поршневым гидропередачам с шариковыми поршнями, так как гидромашин такого типа пока еще мало распространены, а также *практически не рассмотрены вопросы исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов гидропередач*, их прочности и жесткости. Этой теме посвящены лишь некоторые статьи [11, 12, 13], в которых предприняты попытки исследования НДС отдельных деталей ГОП.

Чтобы восполнить это пробел, в КП ХКБМ проводятся исследования, направленные на повышение эксплуатационных характеристик гидрообъемных механических трансмиссий военных гусеничных машин. Разработана математическая модель дефор-

мирования блока цапфенных распределителей (БЦР) ГОП, и проведено исследование его НДС [14, 15], а также планируется решить следующие научные задачи:

1. Разработать адекватные математические модели для исследования НДС, а также для решения задач оптимизации геометрической формы и конструктивных параметров наиболее нагруженных и ответственных деталей гидрообъемных передач.

2. Оценить влияние конструктивных параметров БЦР гидрообъемной передачи на ее производительность, гидравлические и мощностные потери.

3. Осуществить постановку и решить задачу выбора рациональных конструктивных параметров (в частности – конфигурации рабочих каналов) БЦР ГОП по критериям жесткости.

Из проведенного анализа литературы следует, что на сегодня пока еще отсутствует комплексная математическая модель, отражающая НДС элементов гидропередачи ГОП-900. Поэтому создание такой комплексной модели является первоочередной и актуальной задачей. Данная модель должна обладать следующими свойствами:

– адекватность модели реальным процессам, имеющим место в гидропередаче;
– возможность подтвердить ее адекватность путем проведения косвенных замеров и соответствующих численных экспериментов;

– возможность исследования еще не изученных процессов и явлений, имеющих место в гидропередаче, на этой модели;

– возможность оптимизации геометрических параметров гидропередачи, используя для вычисления функций цели задач оптимизации значения определенных характеристик модели.

В качестве основного инструмента для проведения исследований выбран метод конечных элементов (МКЭ), который стал одним из основных методов исследования НДС машиностроительных конструкций. Создание такой комплексной конечно-элементной модели позволяет всесторонне изучить аспекты деформирования основных элементов гидропередачи ГОП-900, выбрать для них рациональные геометрические параметры, исходя из соображений соблюдения условий жесткости, прочности и потерь. А также позволяет использовать наработки по ГОП-900 при создании целого семейства радиально-поршневых гидропередач с шариковыми поршнями.

Литература

1. Петров В.Г. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин. М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

2. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование / О.М. Бабаев, Л.Н. Игнатов, Е.С. Кисточкин и др. Под общ. ред. Е.С. Кисточкина. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 256 с.

3. Автоматизированное управление гидрообъемными трансмиссиями и механизмами поворота гусеничных машин // Е.Е. Александров, М.Д. Борисюк, Я.В. Грита, В.А. Кононенко. – Харьков: ХГПУ.– 1995. –176 с.

4. Теоретическое обоснование и выбор конструктивных параметров радиально-поршневых гидромашин, работающих в составе ГОМТ гусеничных машин и разработка системы автоматического управления движением гусеничных машин с ГОМТ // Научно-технический отчет. Харьков: НПО «Политехник», 2000. – 242 с.

5. Бабаев О.М., Глущенко В.А., Голубев и др. Гидромеханические трансмиссии – средство повышения конкурентоспособности колесных и гусеничных машин // Приводная техника. – 1998. – №9.

6. Аврунин Г.А., Кабаненко И.В., Хавиль В.В. и др. Объемная гидropередача с шариковыми поршнями ГОП-900: характеристики и технический уровень // Механiка та машинобудування. – 2004. – №1. – С. 14–21.
7. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта, И.З. Зайченко, В.А. Ермаков и др. – М.: Машиностроение, 1969.– 628 с.
8. Машиностроительный гидropривод / Под ред. засл. деят. науки и техники РСФСР докт. техн. наук проф. В.Н. Прокофьева.– М.: Машиностроение, 1978. – 496 с.
9. Ловцов Ю.И. Анализ механических потерь в поршневых гидромашинах. В кн.: Гидropривод и гидроавтоматика в машиностроении.– М.: Машиностроение.– 1966.– С. 255–267.
10. Аврамов В.П., Самородов В.Б., Кузьминский В.А. К расчету усилий, действующих в гидростатически разгруженном поршне радиально-поршневого гидронасоса // Проблемы машиностроения. К.: 1981. Вып. 11. С. 51–55.
11. Пасынков Р.М., Кондрахин Г.А., Елизаров С.П. Расчет напряженно-деформированного состояния корпуса аксиально-поршневого гидромотора // Вестник машиностроения. – 1992. – №5. С. 6–7.
12. Ткачук А.В. К вопросу о влиянии количества нагруженных цилиндров на напряженно-деформированное состояние корпуса гидронасоса ГОП: расчет и эксперимент // Механiка та машинобудування. – 2004. – №2. С. 77–84.
13. Ткачук А.В., Васильев А.Ю., Мартыненко А.В., Веретельник Ю.В. Влияние конструктивных факторов на напряженно-деформированное состояние корпусов гидрообъемных передач // Механiка та машинобудування. – 2004. – №1. С. 78–84.
14. Бибик Д.В., Аврунин Г.А., Кабаненко И.В. Анализ жесткости блока цапфенных распределителей гидрообъемной передачи типа ГОП-900 // та машинобудування. – 2005. – №2. С. 40–44.
15. Аврунин Г.А., Бибик Д.В., Кабаненко И.В. Исследование объемной гидropередачи с шариковыми поршнями // Зб. наук. праць – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 73. – С. 139–145.

УДК 62-585.23

Бібік Д.В.

ДО ПИТАННЯ ПРО ГІДРООБ'ЄМНУ МЕХАНІЧНУ ТРАНСМІСІЮ

В статті розглянуто стан розвитку гiдрооб'ємних передач радіального типу із шариковими поршнями на сучасному етапі. Проаналізовано повноту вивчення питань конструювання гiдрооб'ємних трансмісій типу ГОП-900, та визначено напрямки подальших досліджень із пошуку їх раціональних конструктивних параметрів.