

Диссертационный совет 212.298.09
при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский
государственный университет
(национальный исследовательский
университет)» 454080, г. Челябинск,
пр. им. В. И. Ленина, 76

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора технических наук Трубачева Евгения Семеновича на диссертацию Смирнова Владимира Викторовича «Обоснование выбора кинематических схем и совершенствование метода геометрического расчета механизмов планетарных роторных гидромашин с плавающими сателлитами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин»

Актуальность темы диссертации

Для различных видов машин по мере их развития накапливается достаточно много разнообразных решений, существенно различающихся по схемам, принципам и способам преобразования и передачи энергии и движения. Разнообразие, являющееся благом само по себе, располагающим к лучшему выбору и развитию техники, резко осложняет процесс проектирования на самых начальных его этапах, зачастую делая выбор варианта решения результатом предпочтения из неких, плохо формализованных общих соображений, или вовсе случайным. В таких условиях становятся особенно актуальными работы, направленные на систематизацию накопленных решений в части их классификации, определения положения этих решений среди видов техники более общего уровня, выработке единых функциональных оценок. Сказанное в полной мере относится к механизмам планетарных роторных гидромашин (ПРГМ) с плавающими сателлитами. С одной стороны, накоплено достаточно много их решений, в том числе запатентованных В. Sieniawski,

J. Potulski (Польша), Ishizaki Yoshikimi (Япония), D. Herman, K. W. Charles (США), Ан И-Каном, Г. Ю. Волковым и многими другими, а также серийно производимых; известна пионерская докторская работа Ан И-Кана, в которой впервые рассмотрены фундаментальные и прикладные вопросы проектирования таких механизмов. С другой стороны, накапливающиеся варианты решений, и более сложные (порой кажущиеся неоправданно сложными), и отвечающие современным тенденциям в технологии машиностроения, но, к сожалению, не получающие должного обоснования и сопоставления друг с другом (возможно, дело тут в соблюдении коммерческих секретов), требуют обстоятельного рассмотрения перечисленных вопросов упорядочения как самих этих машин, так и оценки их схем. Сказанное определяет **актуальность** оппонируемой работы, и следует приветствовать намерение автора разрешить наметившееся противоречие.

Краткая оценка содержания работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 175 наименований, изложена на 156 страницах и включает в себя 105 рисунков и 20 таблиц.

Первую главу автор посвятил тщательному рассмотрению спектра известных ПРГМ, методов их расчёта, систематизации и проблемам производства.

Во второй главе предложены две классификации. Первая из них имеет существенную научную новизну и представляет собой несомненный интерес для последующего развития оценок, даваемых объёмным гидромашинам различных видов, в том числе ПРГМ. При этом автор справедливо обращает внимание на то, что последние предпочтительны, поскольку в них замкнутые контуры образуются кинематическими парами, имеющими точечный контакт звеньев – благодаря этому в них можно минимизировать (почти исключить) трение скольжения. Вторая классификация относится собственно к ПРГМ. Новыми классификационными признаками здесь являются: характер движения

ведущего звена (вращательное, планетарное, сложное) и индексы, указывающие на фиксируемое звено и звено несущее каналы. Эта классификация позволила автору выявить ранее не известные схемы ПРГМ, новизна которых подтверждена патентами на изобретения и полезные модели.

Третья глава посвящена методологии геометрического проектирования ПРГМ. На первом этапе выполняется расчет круглозвенного механизма – аналога проектируемого ПРГМ. Далее выбираются циклические функции, характеризующие траектории движения центров сателлитов. На следующем этапе рассчитывается угловое положение сателлита во множестве точек на траектории. Заключительный этап – получение профилей центральных колес как огибающих к профилям сателлита. Новыми в этой методике являются полученные автором формулы для расчета коэффициента «некруглости» центральных колес и коэффициентов изменения длины центровых траекторий сателлитов. Подход, используемый автором, отличается от ранее применявшихся наглядностью и простотой, а также возможностью доведения методики проектирования до инженерного уровня. При таком подходе применяются привычные для современного инженера алгоритм выбора коэффициентов смещения по блокирующим контурам и инструментарий CAD-систем.

Четвертая глава посвящена критериям качества ПРГМ. Рассмотрены:

- геометрические критерии – производительность, остаточный объем рабочих камер, неравномерность потока рабочей среды, а также сечение каналов.

- силовые критерии – предельное давление, механический КПД.

Геометрические критерии, с одной стороны, непросты для оценки. Однако, во-первых, эта непростота во-многом кажущаяся для современного инженера, поскольку оценка производится опять же с помощью сравнительно простых приёмов работы со ставшими привычными CAD-системами. Во-вторых, для ещё большего удобства и оперативной оценки автор предложил упрощённые аппроксимирующие зависимости. Для

«силовых» оценок использовалась методика из работ профессора Ан И-Кана. Итогом главы стало сравнение возможных схем ПРГМ по комплексу критериев. Выявлены схемы, более подходящие для работы в качестве гидромашин и пневмомашин.

Пятая глава посвящена практической реализации машин. Предложены конструкции опытных образцов ПРГМ, выбраны технологии их изготовления и проведены испытания. Основным итогом экспериментов – подтверждение правильности разработанных методик расчета. В целом, опыт использования рассмотренной технологии изготовления некруглых зубчатых колес следует считать положительным.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения, выносимые на защиту, сформулированы на с. 10 диссертации.

Положение 1 – структурная классификация ПРГМ – является обоснованным, поскольку выделяет все существенные признаки известных и перспективных схем ПРГМ: числа волн центральных колёс; выделение центрального звена, являющегося неподвижным и несущего в себе каналы для подвода-отвода среды; вид движения подвижного центрального звена.

Положение 2 – усовершенствованный метод геометрического расчёта ПРГМ – является обоснованным, поскольку содержит последовательное назначение (обоснование) принципиальных параметров ПРГМ. Этот метод интуитивно понятен проектировщику и подразумевает применение привычных современных инструментов автоматизированного проектирования-конструирования.

Положение 3 – о доказанности возможности использования пакетной конструкции зубчатых звеньев – является обоснованным в части того, что возможность показана экспериментально.

Несколько затрудняет анализ обоснованности выводов и рекомендаций их разбросанность по тексту работы, отсутствие их в явном виде в заключениях по главам. Тем не менее:

– вывод о предпочтительности гидромашин с точечным касанием звеньев, замыкающих полезные объёмы (глава 2), – обоснован, поскольку для этих машин возможно почти полное исключение скольжения звеньев;

– выводы о предпочтительности схем ПРГМ по выбранным критериям (глава 4) – являются обоснованными целевым назначением, основными техническими (эксплуатационными) характеристиками ПРГМ и сопоставлением результатов расчётов указанных схем.

Достоверность и новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Исследование в целом является новым, развивающим ранее выполненные исследования ПРГМ. В частности:

– классификация объёмных гидромашин по числу и виду взаимодействия звеньев, замыкающих объём передаваемой среды (глава 2) – является новой, развивающей общее представление об указанных машинах;

– классификация собственно ПРГМ по числу волн центральных колёс, выделению центрального звена, являющегося неподвижным и несущего в себе каналы для подвода-отвода среды, а также по виду движения подвижного центрального звена, – является новой, выделяющей основные существенные их признаки;

– метод геометрического расчёта ПРГМ на основе расчёта планетарного механизма на круглых колёсах и последующей трансформации его в механизм с, в общем случае, некруглыми колёсами – является новым, более простым и наглядным, чем существовавшие ранее, предполагающим использование современных инструментов автоматизированного проектирования-конструирования; он является достоверным поскольку

результаты расчётов по нему нашли подтверждение при экспериментальной проверке – испытаниях опытных образцов ПРГМ;

– результаты численной сравнительной оценки ПРГМ с различными схемами – являются новыми, и достоверными, благодаря корректному применению математического аппарата теории механизмов и машин, математического моделирования и сертифицированного программного обеспечения.

Замечания по диссертационной работе

1. Если мы признаём технологические проблемы для некруглых колёс и, на этом основании, отказываемся от обката при их нарезании, имеет смысл попробовать и для круглых колес иные варианты обработки, облегчающие синтез снятием ограничений, актуальных для эвольвентных зубьев (угол удержания, подрезание и т. п.) – электроэрозионная обработка, листообработка, единичное деление или даже обход по выбранной траектории с помощью концевого инструмента на обрабатывающих центрах.

2. Для «крутых» волн, вероятно, требуется специальная проверка на отсутствие интерференции в тех участках, где кривизны центроид колёс с внутренними зубьями и сателлитов близки друг к другу (например, во угловых участках колеса на рис. 62а).

3. Выбор лазерной листовой резки в качестве основного способа нарезания зубьев – идея, заманчивая сама по себе, благодаря лёгкой реализуемости, цене/производительности, доступности на рынке технологий (всё это справедливые доводы в пользу такого выбора), представляется не вполне обоснованным, поскольку автор совершенно обошёл вниманием такие вопросы как погрешности (и позиционирования луча, и «естественного» уклона на стенках), качества поверхности – при обосновании следует сопоставить эти параметры и их влияние на эксплуатационные характеристики для традиционной технологии зубообработки современных высоконагруженных зубчатых передач и предлагаемой «лазерно-пакетной». Также надо принять во внимание, что

упрочнение при лазерной обработке, на которое рассчитывает автор, в случае зубообработки предварительно термоупрочнённых заготовок может обернуться некоторым разупрочнением.

4. Замечания оформительского плана:

– лучшему пониманию устройства и процессов работы машин (в особенности сложных) помогли бы более чётко обозначенные оси элементов конструкции, а также указание направлений движения подвижных элементов. Может быть следовало привести изображения машин в нескольких последовательных положениях.

– с. 47, в заключении по главе 1 «Остаётся ощущение» – не вполне научный стиль.

– с. 45, « i – передаточное число (местное)» – судя по всему, имеется в виду i – передаточное отношение.

– с. 127 в формуле имеется обозначение S'_{wi} ниже написано, что это объем, хотя эта величина имеет размерность площади.

Сделанные замечания не имеют принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы. Многие из замечаний могут пониматься как пожелание развития работы в направлении совершенствования методов проектирования и производства исследуемых машин.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.02.02 - «Машиноведение, системы приводов и детали машин» в следующих пунктах:

1. «Теория и методы исследования процессов, влияющих на техническое состояние объектов машиностроения, способы управления этими процессами»;

2. «Теория и методы проектирования машин и механизмов, систем приводов, узлов и деталей машин»;

4. «Методы исследования и оценки технического состояния объектов

машиностроения, в том числе на основе компьютерного моделирования»

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы и отражает её основные результаты.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» (далее «Положение...»)

Диссертационная работа Смирнова Владимира Викторовича является законченной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи синтеза и анализа планетарно-роторных гидромашин, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, путём совершенствования методов их проектирования, имеющей значение для проектирования указанных машин (соответствие п. II.9 «Положения...»).

Диссертация написана автором самостоятельно, задача рассмотрена последовательно во всех своих стадиях, начиная от накопленных в науке и технике предпосылок, продолжая систематизацией представлений об исследуемых объектах и их месте в технике гидропривода, предложением метода их проектирования, численной и экспериментальной проверкой достоверности полученных теоретических результатов, то есть работа обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, полученные лично автором. Диссертация, в целом, имеет прикладной характер, в ней приводятся сведения о практическом использовании полученных научных результатов. Предложенные в диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями в области проектирования планетарно-роторных гидромашин (соответствие п. II.10 «Положения...»).

Основные результаты были опубликованы в 29 работах, в том числе 9 статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 3 статьях в журналах, индексируемых базой Scopus; также получено 5 патентов на изобретения и полезные модели (соответствие пп. П.11, П.12, П.13 «Положения...»), все заимствования были выполнены корректно (соответствие п. П.14 «Положения...»). Приведённые выше замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы, многие из них являются несущественными в оценке (относятся к оформлению работы) или имеют характер пожеланий для дальнейших исследований. Автор диссертации – Смирнов Владимир Викторович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 - «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Доктор технических наук по специальности
05.02.18 – «Теория механизмов и машин»,
профессор кафедры «Конструкторско-
технологическая подготовка
машиностроительных производств»,
директор научного подразделения
«Институт механики имени
профессора Гольдфарба В.И.».

Почтовый адрес: Россия, 426069,
Удмуртская Республика, г. Ижевск,
ул. Студенческая, 7, <https://istu.ru>
Тел. раб.: 8 (3412) 77-60-55, доб. 4343
E-mail: trp@istu.ru

Трубачев Евгений Семенович

18.05.2021

Подпись Е. С. Трубачева удостоверяю
Ученый секретарь ФГБОУ ВО
«ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»
доктор технических наук, профессор



Н. С. Сивцев