

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова»
Инженерно-технологический факультет
Кафедра «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование»

«АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ:
ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ
И ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА И ПРОИЗВОДСТВА»

Материалы
VIII Всероссийской научно-практической конференции

Ижевск, 26–27 апреля 2024 года



Издательство УИР ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова
Ижевск 2024

УДК 629+656(082)
ББК 39Я45
А18

Председатель оргкомитета
Н. М. Филькин, доктор технических наук, профессор

Члены оргкомитета
А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор
Р. С. Музафаров, кандидат технических наук, доцент
В. К. Мазец, кандидат технических наук
А. Ф. Мкртчян, кандидат технических наук, доцент

Секретарь *Э. Р. Степанова*

А18 Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции (Ижевск, 26–27 апреля 2024 г.) / [под ред. Н. М. Филькина]. – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2024. – 587 с. – МБ (PDF). – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7526-1049-3

Публикуются статьи VIII Всероссийской научно-практической конференции «Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства», проводимой ежегодно на кафедре автомобилей и металлообрабатывающего оборудования инженерно-технологического факультета ИжГТУ имени М. Т. Калашникова.

Участие в конференции приняли 22 доктора наук, 62 кандидата наук из 45 организаций городов Абакан, Барнаул, Белгород, Бендеры, Брянск, Владивосток, Екатеринбург, Ижевск, Иркутск, Краснодар, Красноярск, Курган, Луганск, Майкоп, Минск, Москва, Набережные Челны, Оренбург, Пермь, Рубцовск, Рязань, Самара, Сарapul, Саратов, Санкт-Петербург, Симферополь, Тольятти, Тула, Тюмень, Уфа, Хабаровск, Челябинск.

Цель конференции – обмен научными исследованиями, проводимыми в области автомобилестроения. Основная проблематика конференции – проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства в автомобилестроении.

Статьи адресованы студентам, магистрантам и аспирантам, а также ученым и представителям производства в области автомобилестроения.

УДК 629+656(082)
ББК 39Я45

ISBN 978-5-7526-1049-3

© ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2024
© Оформление. Издательство УИР ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова, 2024

Содержание

<i>Австрийский В. О.</i> Нормирование моторного топлива городского автобусного транспорта	9
<i>Алексеев С. Н., Щигарцов И. М.</i> Оценка работоспособности технологического оборудования для проверки элементов топливных систем грузовых автомобилей	14
<i>Аметов В. А.</i> Повышение эксплуатационной надежности наземных транспортно-технологических машин путем подконтрольного модифицирования горюче-смазочных материалов	19
<i>Асанбеков К. А., Фоминых С. И., Огнев И. И., Яндуганов О. А.</i> Модернизация тележки для снятия, установки и транспортировки колес автомобилей, грузовиков, автобусов и машин на их шасси	26
<i>Асанбеков К. А., Фоминых С. И., Чумаков П. В., Хвостанцев К. А.</i> Проектирование установки для прокачки гидросистем подвижного состава автомобильного транспорта в условиях ПАО «Аэропорт «Кольцово»	30
<i>Артамонова В. В., Ахунова И. Б., Гук Г. А., Артамонов А. М.</i> Разработка преобразователя ржавчины для защиты металлических поверхностей наземных транспортных средств от коррозии в условиях авторемонтных предприятий	35
<i>Атов М. А., Атов К. А., Надирян С. Л.</i> Особенности пассажирских перевозок в горных условиях Кабардино-Балкарской Республики	39
<i>Атов М. А., Атов К. А., Надирян С. Л.</i> Особенности эксплуатации автопоездов в горных условиях	44
<i>Ахунова И. Б., Артамонова В. В., Гук Г. А.</i> Алгоритм адаптивного регулирования светофорного объекта в условиях изменения нагрузки на городскую улично-дорожную сеть	49
<i>Баранов Е. С., Мкртчян А. Ф.</i> Разработка и реализация интеллектуальных систем управления, использующих нейросети для оптимизации процесса обработки металла на ЧПУ-станках	54
<i>Бараш А. Л.</i> Особенности формирования усеченного потока отказов транспортно-технологических машин и комплексов	59
<i>Бараш А. Л.</i> Особенности применения метода моментов для определения потребности в запасных частях парка транспортно-технологических машин	62
<i>Барыкин А. Ю.</i> Применение средств идентификации груза в транспортной логистике	66
<i>Берёзкин Н. О., Мкртчян А. Ф., Мазец В. К.</i> Устройство для управления охлаждением деталей на станках с ЧПУ на основе нейронечетких алгоритмов	70
<i>Бенца Д. Р., Филькин Н. М.</i> Критический анализ методов аэродинамических испытаний автомобилей	75
<i>Бубнов В. А., Костенко С. Г.</i> Механизм разрушения титановых сплавов при действии сжимающих нагрузок (на примере марки титанового сплава ВТ-6)	81
<i>Буглаев А. М., Мороз А. А., Кривошапка А. П.</i> Исследование вибрации металлорежущих станков	87

<i>Варыгин А. А., Васильев В. А.</i> Разработка и внедрение технологической документации по техническому обслуживанию автомобилей HAVAL JOLION на предприятии ООО «Медведь-Абакан»	91
<i>Васильев И. П., Додонов В. И., Бугаевский В. В.</i> Повышение точности замера дымности тепловозного дизеля путем подогрева измерительной камеры.....	95
<i>Васильев И. П., Сидорчук А. С., Федорова Н. В.</i> Расширение энергетической базы альтернативных топлив путем использования скипидача.....	99
<i>Ветер А. С., Горчаков Ю. Н.</i> Перспективы развития и проблемы эксплуатации беспилотного грузового транспорта.....	103
<i>Власова Н. В.</i> Современные сервисы и услуги, предоставляемые клиентам железнодорожного транспорта в новых экономических условиях	108
<i>Войтеховская Е. А., Попова И. П.</i> Оценка соответствия водителей маршрутам городских пассажирских перевозок	114
<i>Володькин Е. П., Лазарев В. А., Остапенко А. Б.</i> Исследование качества транспортного обслуживания населения в городе Владивостоке	120
<i>Волокушин Р. В., Бараин А. Л.</i> Анализ точности прогнозирования показателей надежности транспортно-технологических машин, выполненного на основе полиномиальных моделей	124
<i>Ганиев М. А., Басыров Р. Р.</i> Конструктивные особенности центробежной муфты сцепления багги ДЗ-мини	127
<i>Гаритов С. Г., Краснова А. А.</i> Расчет воздушных потоков в климатической системе пассажирского транспортного средства	132
<i>Гребенников С. А., Киселев Г. О., Рогожин А. В.</i> Прогнозирование ресурса агрегатов автомобиля с одноименными элементами.....	137
<i>Далида Н. В.</i> Унитарный квадрицикл для лесотехнических работ	143
<i>Далида Н. В., Музафаров Э. Р., Филькин Н. М.</i> Выбор и обоснование типов и размеров трубчатых элементов при создании несущих систем маломощных транспортных средств	146
<i>Данилейченко А. А., Ковтун А. С., Брянцев М. А., Костенко А. В., Поляков А. К.</i> Улучшение показателей автомобильных ДВС применением систем наддува на базе каскадного обменника Крайнока.....	150
<i>Данилейченко А. А., Косьяненко К. А., Заварский Я. Ю., Завгородний М. В.</i> Влияние фаз газораспределения на показатели рабочего процесса двигателя 4Ч7,6/8,0	156
<i>Денисенко Е. А., Горчаков Ю. Н.</i> План реализации проекта по переводу муниципального общественного транспорта города Владивостока на природный газ.....	161
<i>Деревянко А. А., Васильев В. А.</i> Технологии технического обслуживания автомобилей TANK 300 в условиях автомобильного сервиса	166
<i>Добрецов Р. Ю., Демидов Н. Н., Войнаш С. А., Ерыгин В. В.</i> Двухпоточная электромеханическая трансмиссия для колесной машины	170
<i>Добрецов Р. Ю., Красильников А. А., Артемьев А. В.</i> Портальные ведущие мосты для тракторов семейства «Кировец»	176
<i>Должанская К. А., Сгибнева Е. А., Толбаева З. Е., Дронов А. А.</i> Автоматизированная система распознавания и расчета электрических цепей	181

<i>Дорофеев А. Д., Батинов И. В.</i> Разработка и исследование процесса механической запрессовки при сборке устройства «сопло» тепловой завесы с целью оптимизации технологии производства.....	189
<i>Дьяконов А. И., Мкртчян А. Ф., Шильяев С. А.</i> Разработка программно-аппаратного комплекса бесконтактного анализа геометрических параметров и состояния поверхности направляющих технологического оборудования	192
<i>Зайцев А. Б., Галышев Ю. В., Абызов О. В., Метелев А. А., Пономарев П. А.</i> Моделирование характеристик тепловыделения дизеля на базе характеристик впрыска произвольной формы.....	198
<i>Зыков С. Н.</i> Особенности трехмерной электронной геометрии при проектировании технологической оснастки для листовой штамповки деталей транспортнх средств.....	204
<i>Зыков С. Н.</i> Проблематика генерации ЭГМ после процедур физической оцифровки поверхностей детали	209
<i>Зыков С. Н.</i> Структурная модификация электронной геометрической модели при подготовке к конечно-элементному инженерному анализу	213
<i>Зыков С. Н.</i> Частные проблемы электронной геометрии при подготовке к численному эксперименту	218
<i>Зыков С. Н.</i> Электронная геометрическая модель сборки применительно к особенностям генерации расчетной сетки.....	224
<i>Иванушкин А. В., Илдарханов Р. Ф.</i> Импортозамещение в условиях санкций на базе ПАО «КАМАЗ» на примере изготовления кабин	228
<i>Казанцев С. Е., Кузнецов П. Л., Батинов И. В., Хафизов Р. А.</i> Применение окисдно-электролитических конденсаторов при повышенной температуре и влажности.....	233
<i>Карлюк А. П., Еднач В. Н., Шурин К. В.</i> Качественные показатели эффективности магнитной активации дизельного топлива.....	237
<i>Карлюк А. П., Еднач В. Н., Шурин К. В.</i> Магнитные активаторы дизельного топлива двигателей внутреннего сгорания.....	242
<i>Ковалев В. В., Курочка В. С., Николаев В. Б.</i> Особенности выполнения технического обслуживания броневедомобиля «Тигр» (ГАЗ-233114).....	247
<i>Ковтун А. С., Бранспиз М. Ю., Бранспиз Е. В.</i> Результаты моделирования рабочего цикла транспортного двигателя с акустической системой наддува резонансного типа.....	252
<i>Ковтун А. С., Бранспиз М. Ю., Бранспиз Е. В., Пивнев Е. С., Стрижаченко А. А.</i> Перспективы замещения двигателей внутреннего сгорания на большегрузных автомобилях аккумуляторными электросиловыми установками	258
<i>Козлюк Н. Ю., Володькин П. П.</i> Современный подход к элементам пассивной безопасности на примере японского автомобиля MAZDA 2.....	263
<i>Котомчин А. Н., Ляхов Е. Ю., Ляхов Ю. Г.</i> Установка для нанесения полимерной композиции для восстановления посадочных мест под подшипники агрегатов автомобилей	267
<i>Краснова А. А., Гарипов С. Г., Нуретдинов Д. И.</i> Проблемы отечественного производителя LADA в организации гарантийного ремонта автомобилей.....	273
<i>Леонов Е. В., Имамразыев А. И., Галиев Р. М., Нуретдинов Д. И.</i> Определение эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания во время эксплуатации автомобиля.....	279

<i>Лысяков Ф. В., Филькин Н. М.</i> Анализ видов испытаний подвесок автомобилей.....	284
<i>Любченко Д. И., Быкадоров В. В., Данилейченко А. А.</i> Возобновление деятельности промышленного производства после длительного простоя.....	291
<i>Минин В. В., Кузнецов Г. А., Мальков А. Д., Бескровных Д. А., Сайботалов Р. М.</i> Оптимизация энергетических параметров бульдозера с оборудованием рыхлителя.....	296
<i>Мироненко А. А., Газизова С. Р., Басыров Р. Р.</i> Инновационные автомобили «КАМАЗ»: перспективы развития и технологии будущего.....	301
<i>Михеева Д. А., Шкарина Т. Ю.</i> Анализ особенностей рынка автомобильных грузовых перевозок на современном этапе	307
<i>Музафаров Р. С., Музафаров Э. Р.</i> Исследование методов утилизации тяговых аккумуляторных батарей.....	320
<i>Неволин Д. Г., Цариков А. А., Сорогин И. Г.</i> Обзор натуральных методов исследования пассажиропотоков на городском общественном транспорте	341
<i>Никишин В. Н., Мавлеев И. Р.</i> Расчетная оценка напряжений в стыке коренной опоры от монтажных сил.....	347
<i>Оленцевич В. А., Куличкова И. Е.</i> Эффективность технических решений, направленных на увеличение пропускных способностей диспетчерских участков Восточного полигона железных дорог.....	352
<i>Оленцевич В. А., Шестакова Е. С.</i> Вопросы эффективности организации работы с местными вагонами	357
<i>Павлов С. А., Курдин П. Г.</i> Анализ причин отказов и методов восстановления работоспособности коленчатого вала дизельного двигателя автомобиля «КАМАЗ»	361
<i>Панюков Д. И., Кургашов И. С., Юнушев А. Д.</i> Модернизация технологического процесса обслуживания и ремонта подвески автомобиля	365
<i>Панюков Д. И., Юнушев А. Д.</i> Модернизация процесса технического обслуживания и ремонта рулевого управления	370
<i>Подорванов С. Е., Бугрин Е. Н.</i> Особенности применения САПР «Компас-3D» для оформления электронных моделей деталей по ГОСТ 2.056–2014	375
<i>Полуктов В. А., Марусина И. Д.</i> Разработка схемы информационной поддержки процесса контроля технического состояния НТТМ.....	381
<i>Попов И. П., Филькин Н. М., Харин В. В., Митюнин А. А., Парышев Н. Д.</i> Осциллятор с нефиксированной частотой колебаний для механизмов НТТМ.....	385
<i>Попов И. П., Филькин Н. М., Харин В. В., Митюнин А. А., Парышев Н. Д.</i> Резонанс и антирезонанс скоростей в механизмах НТТМ.....	391
<i>Попов И. П., Филькин Н. М., Харин В. В., Митюнин А. А., Парышев Н. Д.</i> Учет динамических свойств дисперсных материалов при разработке механизмов НТТМ	400
<i>Попова И. П., Васильев В. И.</i> Комплексный подход к обеспечению комфортности и безопасности передвижения лиц с ограниченными возможностями здоровья в зоне регулируемых перекрестков	407
<i>Прагер Д. С., Володькин П. П.</i> Зарубежный опыт по предотвращению ДТП на пешеходных зонах	413
<i>Пузаков А. В.</i> Результаты моделирования неисправностей автомобильного генератора	421

<i>Самарин П. С., Батинов И. В.</i> Технологии ремонта и производства несущих систем автомобилей и машиностроительного оборудования при помощи сварки	425
<i>Сарсенов А. А., Коростелев С. А.</i> Оценка влияния шага цевочного зацепления на его нагруженность	430
<i>Сидоров Р. Р., Филькин Н. М.</i> Анализ методик испытаний тормозных дисков и барабанных тормозов на стенде	435
<i>Смолянкина Е. А., Мкртчян А. Ф.</i> Повышение долговечности направляющих пластин ленточнопильного станка путем замены твердосплава на карбонкерамику	440
<i>Солодовников Д. Н., Цыганков А. В.</i> Организационная структура предприятий, эксплуатирующих автотранспорт, работающий на газовом топливе	445
<i>Солодовников Д. Н., Цыганков А. В.</i> Оценка ресурсных характеристик силового агрегата, использующего газ в качестве топлива	448
<i>Соломатин Н. С.</i> Рост парка собственных легковых автомобилей в Российской Федерации	453
<i>Старунский А. В., Назаров П. А.</i> Совершенствование конструкции режущего инструмента для обработки резанием полимерных материалов	456
<i>Сызранцев В. Н., Сызранцева К. В., Сердюк И. С.</i> Сопоставительный анализ нагруженности цилиндрической передачи с прямыми и бочкообразными зубьями в условиях перекоса осей колес	460
<i>Титов Д. И., Костяев В. И.</i> Прочностной анализ методом конечных элементов	465
<i>Титов Д. И., Костяев В. И.</i> Реверс-инжиниринг (обратная разработка) как метод исследования и проектирования деталей, узлов, сборок	471
<i>Толочко Н. К., Авраменко П. В., Кравцов В. Б., Хартанович А. М.</i> Применение аддитивных технологий для изготовления литейных выплавляемых моделей	476
<i>Трифанов К. С., Власова Н. В.</i> Анализ и инновационные технологии перевозок грузов в контейнерах железнодорожным транспортом в современных условиях	482
<i>Тропин Н. С., Васильев В. А.</i> Разработка технологической документации по техническому обслуживанию автомобилей OMODAC5 на предприятии ООО «Медведь Абакан»	488
<i>Трушин Н. Н.</i> Планетарная коробка передач на основе механизма Ravigneaux	493
<i>Туровец А. М., Кузьмин А. Н.</i> Перспективы применения генеративных моделей нейронных сетей в подготовке специалистов в области транспортной логистики	497
<i>Туровец А. М., Печуров А. Д., Пластинин А. В.</i> Проблемы разработки показателей уровня сервиса при выборе логистического оператора	503
<i>Туровец А. М., Солодовникова Д. А.</i> Анализ проектов инициативы сотрудничества «Пояс и путь» для стимулирования экономического роста и развития глобальной торговли	508
<i>Умурзаков И. К., Гаврилов К. В.</i> Применение различного типа приводов в топливных насосах высокого давления дизелей	514

<i>Фасхиев Х. А.</i> Нормативная стендовая долговечность балок управляемых мостов грузовых автомобилей.....	519
<i>Фасхиев Х. А.</i> Прогнозирование эксплуатационного расхода топлива грузового автомобиля.....	524
<i>Фасхиев Х. А.</i> Расчет конкурентной цены коммерческого электромобиля	531
<i>Фасхиев Х. А.</i> Требования к статической прочности балок управляемых мостов грузовых автомобилей.....	538
<i>Фролов А. В., Горчаков Ю. Н.</i> Современные методы аэродинамических испытаний грузовых автомобилей.....	546
<i>Хабидуллина В. А., Нигметзянова В. М.</i> Оценка эффективности эксплуатации автомобильного транспорта при междугородных перевозках фруктов	552
<i>Чигодаев Н. Е.</i> О механизме образования текстуры стружки	556
<i>Шишкин В. А., Батинов И. В.</i> Оптимизация производства лифтовых направляющих с применением технологии нанесения регулярных микрорельефов для повышения эксплуатационных характеристик	562
<i>Шпак П. С., Сычева Е. Г.</i> Аспекты устойчивого развития транспортных предприятий на основе внедрения цифровых технологий.....	566
<i>Щурин К. В., Тарасенко В. Е.</i> Оптимизация показателей надежности технических систем	571
<i>Яковчук П. С., Кривоцов С. Н.</i> Методика обработки сигнала цифровых датчиков массового расхода воздуха автомобильных двигателей.....	577
<i>Янута А. С., Корнейчук Н. И.</i> Исследование микротвердости железохромового покрытия для восстановления посадочных мест под подшипники деталей автомобилей	581

Структурная модификация электронной геометрической модели при подготовке к конечно-элементному инженерному анализу

С. Н. Зыков, кандидат технических наук, профессор
Удмуртский государственный университет, Ижевск
zikov.sergei@yandex.ru

Статья посвящена проблематике построения конечно-элементной сетки для проведения численного прочностного анализа деталей и сборок, входящих в состав конструкции транспортных средств. Рассматривается схема особенностей предварительной подготовки электронных геометрических моделей для последующего создания оптимальной расчетной сетки. На примере виртуальной геометрии сборки коленчатого вала показана процедура перестроения и разделения исходной геометрии на составляющие элементарные сегменты с дальнейшей возможностью простейшей генерации на их основе набора согласованных сеток и их объединения в единую оптимизированную расчетную модель для проведения численного инженерного анализа.

Ключевые слова: детали транспортных средств, электронная геометрическая модель, оптимизация геометрии, конечно-элементное разбиение.

Введение

Конечно-элементный инженерный анализ в настоящее время является составной частью проектной деятельности при создании деталей, узлов и механизмов транспортных средств, например, разнообразных технологических машин и квадроциклов [1, 2]. Современные математические методы позволяют на этапе проектирования осуществлять количественную и качественную оценку прочностного отклика конструкции на воздействии различных эксплуатационных нагрузок и своевременно вносить необходимые конструктивные правки. Использование электронных геометрических моделей (ЭГМ), которые являются основой для генерации конечно-элементной сетки численного анализа, является нормой современного промышленного производства. При этом состав и порядок использования этих специфических электронных данных регламентируются в ряде нормативных актов [3], нацеленных на их унифицированное использование в различных системах, имеющих собственный специфические алгоритмы построения и хранения сложной трехмерной графической информации. К ним относятся программные комплексы инженерного анализа с конечно-элементной пространственной моделью. В общем случае они имеют достаточно развитый автоматизированный инструментальный построения расчетной сетки на базе трехмерной геометрии практически

любой организации. Однако автоматическая конечно-элементная генерация далеко не всегда является оптимальной как с позиции минимизации количества элементов, так и качества локализации желаемых зон наиболее точных либо, наоборот, вспомогательных расчетов. Внесение методологической ясности в этом вопросе является актуальной задачей.

Подготовка ЭГМ для оптимального конечно-элементного разбиения

Рассмотрим схему (рис. 1), где представлена детальная подготовка ЭГМ для оптимального конечно-элементного разбиения при подготовке к виртуальному эксперименту численного прочностного анализа.



Рис. 1. Схема детальной подготовки ЭГМ для оптимального конечно-элементного разбиения

Сначала необходимо рассмотреть проблематику имеющейся в наличии электронной геометрии и ее пригодность к процедурам конечно-элементной генерации. В идеальном случае ЭГМ деталей и сборок, подготовленные дизайнерами, конструкторами, технологами, имеют единый адаптивный формат хранения с операционной средой численного анализа. Однако на практике это далеко не всегда так, что приводит к потерям при трансляции в расчетные модули части информации и необходимости доработки недостающей геометрии.

При подготовке к инженерным расчетам не единичных деталей, а связанного набора деталей, следует отметить дополнительные работы по созданию единой полнотелой ЭГМ сборки, поскольку расчетная сетка должна представлять собой неразрывный континуум. На этом этапе при работе с про-

стейшими геометрическими образованиями автоматическая генерация конечно-элементной модели (КЭМ) в большинстве расчетных модулей уже возможна при достаточно удовлетворительном качестве формы и количестве элементов, после которой можно переходить к выполнению вычислительных процедур. Однако при работе со сложными многокомпонентными сборками полностью автоматизированное конечно-элементное разбиение не всегда приводит к оптимальным результатам. Необходимо проводить ряд вспомогательных геометрических перестроений.

Оптимизация расчетной конечно-элементной сетки при помощи вспомогательных геометрических перестроений

Начиная процесс построения конечно-элементной модели, необходимо ясно представлять, что виртуальная трехмерная электронная геометрия представляет собой не нечто монолитное и непрерывно целое, но набор связанных друг с другом по определенным границам сопряжения геометрическим образованиям, имеющим собственную математику построения. Другими словами, геометрическая модель – сегментированное образование. Именно геометрия отдельных сегментов является основой конечно-элементного разбиения всей модели. Чем сложнее и запутанней система сегментации ЭГМ, тем сложнее будет ЭГМ на ее основе.

Последовательность процесса оптимизации:

- разделение исходной геометрии модели на наиболее простые связанные между собой сегменты при сохранении общей суммарной формы сборки;
- разбиение полученных простейших сегментов на конечные элементы с учетом будущего поузлового сопряжения с конечно-элементной сеткой смежного сегмента;
- объединение КЭМ простейших сегментов в едином виртуальном пространстве с обязательной процедурой сопряжения путем поузлового слияния по узлам одинаковой геометрической локации.

Рассмотрим данный процесс на примере виртуальной геометрической модели коленчатого вала, показанного на рисунке 2, сборка которого состоит из следующих элементов: 1 – маховик, 2 – цапфа задняя, 3 – щека, 4 – цапфа передняя, 5 – шестерня.

Создание общей (не по отдельным деталям) ЭГМ такой сборки для нужд дальнейшего конечно-элементного разбиения с использованием современного инструментария графических систем не вызывает сложностей. Однако автоматизированная генерация КМЭ в данном случае приводит как минимум к неоправданному росту количества конечных элементов по множеству ребер, которые имеются в наличии. Одним из решений этой проблемы явилось разделение отдельных деталей на простейшие объемы (рис. 3).

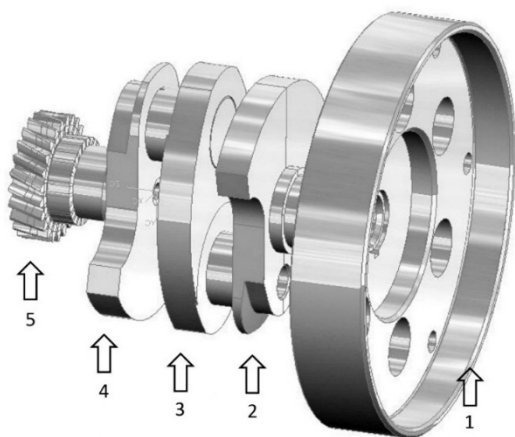


Рис. 2. Виртуальная геометрическая модель сборки коленчатого вала:
 1 – маховик; 2 – цапфа задняя; 3 – щека; 4 – цапфа передняя; 5 – шестерня

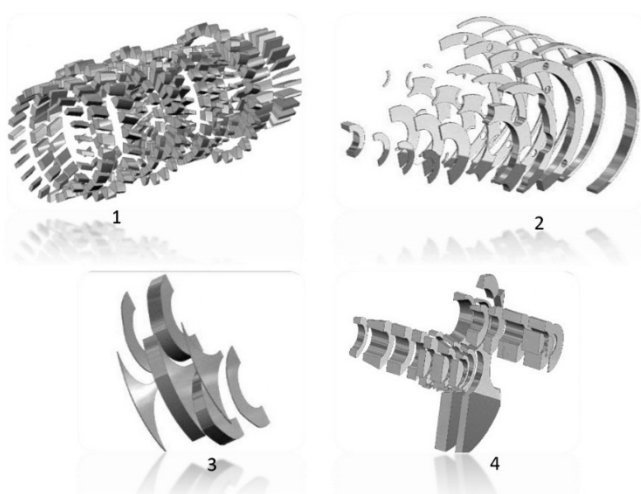


Рис. 3. Разбиение на простейшие объемы шестерни 1, маховика 2, щеки 3, цапфы 4

Необходимость разбиения образующего большого количества простейших объемов и генерации на каждом из них конечно-элементной сетки, безусловно, является трудоемкой процедурой. Качество получившейся КЭМ, безусловно, выше, чем полностью автоматизированный вариант (рис. 4).

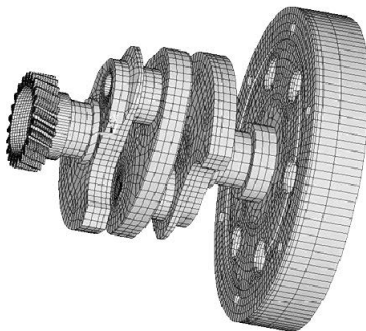


Рис. 4. Конечно-элементная модель коленчатого вала

Заключение

Численный виртуальный эксперимент по оценочному определению прочностных характеристик деталей, узлов и механизмов транспортных средств является неотъемлемой частью современного процесса проектирования. В связи с этим задачи оптимизации конечно-элементного разбиения создаваемых профильными специалистами трехмерных электронных графических образов достаточно актуальны. Использование процедур сегментации сложной геометрии на простейшие объемы является одним из способов их решения. Несмотря на увеличение трудозатрат по генерации расчетной сетки (которая носит в данном случае полуавтоматический, а не автоматический характер), можно добиться создания конечно-элементной модели с минимальным количеством узлов. При этом полученную расчетную сетку можно дополнительно модифицировать путем увеличения их количества в областях, где требуется более точное описание напряженно-деформируемого состояния, получаемого в результате проведения численного эксперимента.

Список литературы и источников

1. *Зыков, С. Н.* Исследования виртуального макета унифицированной машины технологического электротранспорта по частным критериям прочностных свойств / Э. Р. Музафаров, Н. М. Филькин, С. Н. Зыков // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство.* – 2023. – № 23. – С. 102–106. – Текст : непосредственный.
2. *Зыков, С. Н.* Электронные геометрические модели при проектировании и производстве НТТМ // *Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции.* – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2023. – С. 230–235. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 2.052–2015. Межгосударственный стандарт. Электронная модель изделия. – URL: <https://gostassistant.ru/doc/b5184f71-333d-476d-bd32-27c2055be1e1> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст : электронный.