

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 4С7,6/8,0	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 оксидно-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

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

Частные проблемы электронной геометрии при подготовке к численному эксперименту

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

Представленный в статье материал содержит информацию по проблематике подготовки электронной геометрии деталей и узлов транспортных средств для проведения численного инженерного эксперимента. Обращено внимания на разность в математике построений цифровых электронных моделей, создаваемых проектировщиками в системах геометрического моделирования, к расчетной конечно-элементной модели, следствием чего часто проявляется невозможность автоматизированного разбиения отдельных областей на конечные элементы без предварительной трансформации исходной базовой геометрии. На примере модели средней стойки автомобиля ИЖ-2126 описана суть этих проблем и приемы их устранения.

Ключевые слова: численный анализ, электронная геометрия, оптимизация, конечно-элементное разбиение, оптимизация построения.

Введение

Построение электронных геометрических моделей является важной частью работ в условиях современного промышленного производства, поскольку на их основе построены логические цепочки многих технологических процессов [1, 2]. В общем рассмотрении сама работа по созданию подобной геометрии представляет собой значимую часть инженерного искусства, в котором активно используются возможности различных программных систем параметрического моделирования. Как в любом искусстве путь создания окончательного виртуального образа объекта, особенно в отношении объектов со сложной пространственной геометрией, сугубо индивидуален для каждого проектировщика. Он зависит не только от его навыков и умений, но и от специфических инструментальных возможностей той или иной графической системы, предназначенной для генерации непрерывного геометрического континуума электронного образа детали, состоящего из набора элементов различной формы и математики построения.

Окончательный вариант электронной геометрической модели (ЭГМ) обычно точно соответствует проектному замыслу инженера-конструктора. Однако для решения ряда проектно-производственных задач такая полная и точная геометрия является не только излишней, но и создает препятствие для выполнения тех или иных стандартных процедур. К одной из них отно-

сится численный инженерный анализ с использование метода конечных элементов, где требуется исходная электронная геометрия с простыми равновесными формами составляющих частей (лоскутов) модели для создания качественной конечно-элементной модели (КЭМ). Рассмотрим данную проблематику на примере средней стойки автомобиля ИЖ-2126.

Оптимизация геометрии для проведения инженерного анализа

Как было сказано выше, ЭГМ любой детали, имеющей сложный рельеф поверхности, состоит из множества геометрических лоскутов со своей математикой построения, связанных по взаимным границам, где должны иметь ту или иную кривизну сопряжения для обеспечения гладкости переходов. На рисунке 1 представлена виртуальная трехмерная геометрическая модель средней стойки, которая является составной частью кузова автомобиля и изготавливается из листового металла. На ЭГМ виден состав так называемой лоскутной геометрии:

- основные геометрические образования, определяющие общую форму изделия;
- геометрия, описывающая отверстия и проемы в изделии;
- соединительные поверхности, обеспечивающие непрерывность и гладкость переходов между основными геометрическими образованиями.

Рассмотрим подробно, какие проблемы могут возникнуть при конечно-элементном разбиении подобного лоскутного образования виртуальной ЭГМ на примере ее центральной части (рис. 2).

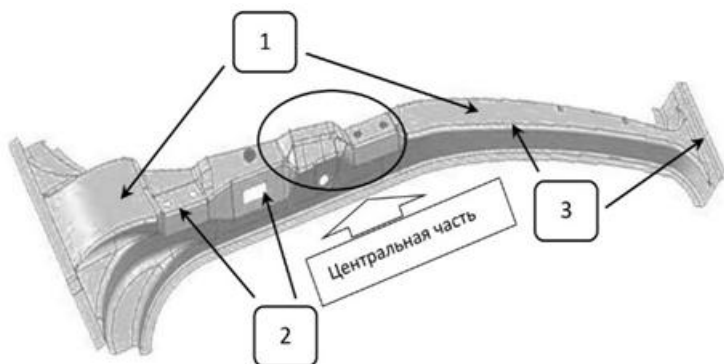


Рис. 1. Лоскутная геометрия ЭГМ средней стойки автомобиля ИЖ-2126

Рассматривая указанную проблематику необходимо указать на особенность автоматического и полуавтоматического разбиения на конечные элементы электронной геометрии. Она состоит в том, что в первую очередь этой процедуре подвергаются границы «лоскутов», из которых состоит модель.

После этой процедуры на основании созданных пограничных узлов сетки разбиваются межграницные области. Зная эту особенность и рассмотрев представленную на рисунке 2 центральную область ЭГМ стойки, которая состоит из множества примитивов разнообразной формы, можно заметить, что при однотипном подходе к их автоматическому разбиению вполне вероятным является возникновение сложных ситуаций сеточной генерации, заключающейся в чрезмерном локальном дроблении сетки, что нежелательно с позиции оптимальности, либо полной невозможности разбиения отдельных областей.

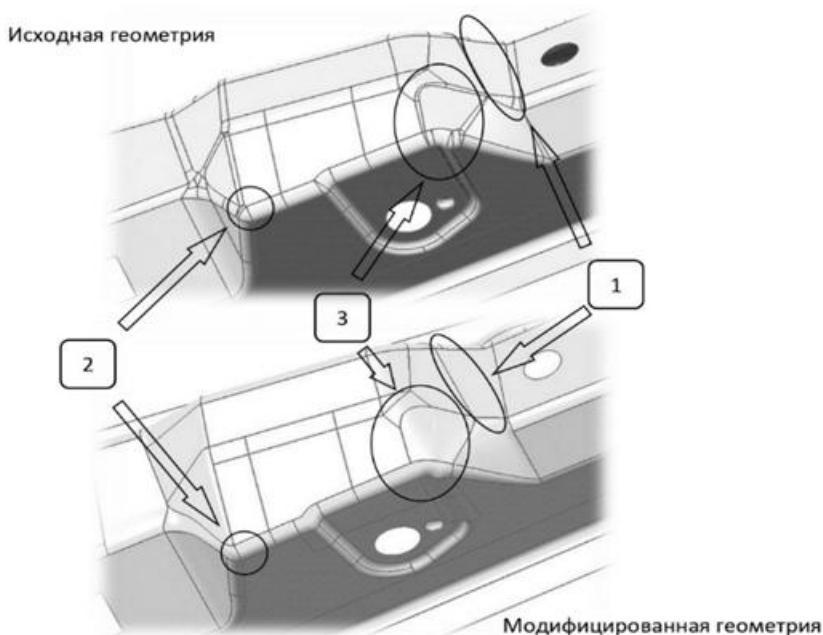


Рис. 2. Проблемные области ЭГМ центральной части средней стойки

В показанном на рисунке 2 примере выделенной области ЭГМ с точки зрения создания расчетной сетки можно выделить проблемы в следующих областях.

Область 1. Наличие длинной и чрезвычайно узкой поверхности

Инструментарий CAD-систем в первую очередь нацелен на точное следование заданным параметрическим настройкам геометрических параметров виртуальных образований. Поэтому при сопряжении основных образующих поверхностей детали нередко образуются узкие поверхности, которые с по-

зиции правильности математической реализации абсолютно справедливы. Практика показывает, что минимальный размер ребра подобного образования может достигать инструментальной погрешности геометрического построения САД-системы. При этом длина максимального ребра может быть визуально сопоставима с общими габаритами детали. Данную поверхность можно воспринимать как имеющую явную тенденцию к вырождению в пространственную кривую. Проводить в таком случае разбиение на равновесные конечные элементы крайне проблематично (если вообще возможно) и нецелесообразно, поскольку происходит чрезмерное дробление с образованием большого количества мелких элементов, совершенно не влияющих на точность вычислений.

Область 2. Наличие поверхности в форме трехмерного треугольника

По тем же причинам работы инструментария точной геометрической реализации в САД-системах могут возникать и достаточно сложные пространственные треугольники. Как можно видеть, один из углов данного образования имеет незначительное раскрытие. В критическом случае угловой размер может доходить до инструментальной погрешности построения модели, а значит (как и в случае с *областью 1*) вырождению двух сторон угла в одну пространственную кривую. Данная геометрия «лоскута» формирует не только проблему чрезмерного дробления при конечно-элементном разбиения, но и проблему невозможности инструментальной генерации сетки.

Область 3. Наличие множественного набора связанных поверхностей небольшого размера

Возникновение подобных образований обычно происходит также в результате работы специализированных процедур электронного построения САД-систем, нацеленных на обеспечение необходимой кривизны областей соединения основных образующих поверхностей ЭГМ детали: скругления, фаски и т.п. Наличие подобных образований, компактно локализованных в значимом количестве, приводит при конечно-элементном разбиении к совсем не обязательному дроблению сетки (увеличению количества конечных элементов) в локализациях, где получение подробного результата предстоящего численного эксперимента не является необходимым.

На нижнем изображении рисунка 2 представлен тот же центральный участок электронной геометрической модели средней стойки после изменения указанных локальных проблемных областей. Можно заметить, что форма и структура связанных «лоскутов» геометрии проблемных областей после модификации претерпела значительные изменения: геометрические образования стали более простой формы, количество «лоскутов» кардинально уменьшилось.

В целом полученная модель имеет определенное несоответствие с точной базовой геометрией (верхнее изображение на рисунке 2). Практика показывает, что при подобных трансформациях появляются локальные отклонения от

исходного состояния, достигающие 0,2 мм. Однако необходимо иметь в виду, что полученная измененная ЭГМ является лишь промежуточным звеном к созданию *расчетной конечно-элементной модели*, которая, в свою очередь, является гораздо более грубым подобием исходной ЭГМ со значительно большим отклонением от нее, поскольку применяется в приближенных оценочных расчетах методом конечных элементов.

Бесспорно, не все детали и узлы транспортных средств, в отношении электронных геометрических моделей которых в процессе проектирования существует необходимость проведения численного инженерного анализа, имеют сложную геометрию поверхности, не позволяющую без серьезной модификации осуществить конечно-элементное разбиение. Поэтому общую схему КЭМ на базе имеющихся ЭГМ можно представить так, как изображено на рисунке 3.



Рис. 3. Схема подготовки конечно-элементной модели на основе проектной ЭГМ

Заключение

На основании приведенного выше материала можно заключить, что качественный инженерный анализ конструкции, узлов и механизмов транспортных средств требует достаточно серьезной работы над исходной трехмерной виртуальной геометрией, чтобы ликвидировать проблемы последующего создания расчетной конечно-элементной сетки. Виртуальная модель, созданная конструкторами-проектировщиками, существенно отличается по математике реализации от конечно-элементной модели (КЭМ) в силу специфики используемого инструментария геометрических построений. Особенно это заметно на примере кузовных деталей сложной пространственной формы, где составляющие цельный образ геометрические образования зачастую не согласуются с возможностями сеточной генерации программных систем инже-

нерного анализа. Поэтому, как видно из предоставленного примера модификации проблемных областей ЭГМ центральной части средней стойки кузова автомобиля ИЖ-2126, одной из значимых решаемых задач подготовки численного эксперимента является анализ исходного электронного образа на предмет возможности создания КЭМ и исключение геометрических проблем, препятствующих созданию качественной расчетной сетки.

Список литературы и источников

1. *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.
2. *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.