

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Технология автоматизированного машиностроения
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Исследование и методика моделирования испытаний конструкций на прочность

Обучающийся

Р.И. Романова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент В.А. Гуляев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Содержание

Введение.....	4
1 Методика расчетного сопровождения проектирования силовой схемы кузова.....	6
1.1 Проектирование силовой схемы автомобиля с учетом требований по низкоскоростным ударам.....	6
1.2 Описание известных тестов испытаний конструкции автомобильного кузова.....	7
2 Средства контроля деформации элементов автомобильного кузова.....	31
2.1 Описание средств контроля деформации элементов конструкции....	31
2.2 Конструкционные и технологические характеристики средств контроля деформаций.....	32
2.3 Определение аналогичных устройств других производителей.....	37
2.4 Недостатки и достоинства выбранного средства контроля.....	48
3 Разработка математической модели деформируемого барьера.....	54
Заключение.....	67
Список используемых источников.....	68

Введение

В ходе выполнения диссертационной работы «были проведены теоретические исследования, направленные на исследование основных проблем, возникающих на ранних стадиях проектирования современного автомобиля в последние 2-3 года. Это, в первую очередь, требования, связанные с новыми европейскими законодательными нормами по безопасности и потребительские требования, такие, как тесты страховых компаний и жесткостные характеристики кузова автомобиля. Разработаны методики проектирования силовой схемы автомобиля исходя из требований страховых компаний, высокоскоростного бокового удара, жесткости и прочности автомобиля. Получившаяся в результате разработки методик технология в черновом варианте была опробована на примере КЭ моделей новых и перспективных автомобилей ВАЗ» [11].

Бурное развитие производства и эксплуатации автомобилей во всех странах и непрерывно возрастающая интенсивность и плотность автомобильного движения в городах и на дорогах, к сожалению, сопровождаются большим числом аварий, так что обеспечение безопасности автомобильного движения становится важнейшей проблемой.

В ходе «выполнения работы реализованы и опробованы на реальных автомобилях ВАЗ:

- технология расчетного сопровождения проектирования силовой схемы кузова исходя из требований по жесткости и ударной прочности (тест Даннера, высокоскоростной удар);
- технология расчетного сопровождения проектирования интерьера автомобиля;
- комплекс типовых математических моделей для расчета на удар на предпроектной стадии;
- комплекс типовых КЭ моделей для оценки соответствия конструкции требованиям технического задания на автомобиль» [32].

Безопасность конструкции гарантируется в том случае, если при данных критериях плотности конструкции и эффективности использования материала действующие наружные силы не вызывают остаточных деформаций и повреждений после заданного пробега в километрах, когда отношение предельных сил к действующим силам больше единицы.

Такое определение запаса прочности несколько отличается от классического, так как вводится понятие предельных сил, а не разрушающих.

По продолжительности проведения испытания разделяют на нормальные и ускоренные. Нормальные испытания – это испытания автомобиля, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации в такой же срок, как и в предусмотренных условиях и режимах эксплуатации. При ускоренных испытаниях необходимую информацию получают в более короткий срок.

Ускоренные испытания по степени интенсификации разделяют на форсированные и сокращенные соответственно или повреждения. Форсированные испытания проводят при увеличенных нагрузках (температурах, давлениях, скоростях и так далее). При сокращенных испытаниях результаты обрабатывают с использованием методов экстраполяции и тому подобное.

«Результаты работы позволят спланировать ресурсы и последовательность проведения НИР и ОКР, обеспечивающие возможность продажи российских автомобилей на Европейских рынках и их конкурентоспособность» [36].

«Результаты работы будут использованы для создания и внедрения в технических вузах новых специализированных курсов, позволяющих организовать подготовку специалистов в области расчетного сопровождения проектирования автомобилей и безопасности. В этих же курсах может быть использовано разработанное программное обеспечение и результаты моделирования, выполненные в рамках выполнения этой программы» [18].

1 Методика расчетного сопровождения проектирования силовой схемы кузова

1.1 Проектирование силовой схемы автомобиля с учетом требований по низкоскоростным ударам

«Автомобиль, помимо технических параметров, характеризуется своими потребительскими свойствами. Одним из таких свойств является отношение стоимости затрат на восстановление автомобиля после аварии к общей стоимости автомобиля.

Для того, чтобы количественно оценить показатель стоимости затрат на восстановление автомобиля проводят испытания автомобиля на малой скорости. По повреждениям автомобиля, полученным в результате испытания, определяют объем восстановительных работ и перечень деталей, подлежащих замене.

На основании анализа повреждения автомобиля рассчитывают стоимость затрат на запчасти и на ремонт автомобиля. В качестве оценочных параметров применяют параметры стоимости восстановления относительно его цены. Эти показатели используют страховые компании для определения стоимости страховой суммы автомобиля.

Чем ниже показатели стоимости восстановления автомобиля, тем более привлекательно этот автомобиль выглядит в глазах потребителя.

Кроме того, в Европе, США и Канаде существуют законодательные требования по ударам транспортного средства на малой скорости в другое транспортное средство или жесткое препятствие. Требования по результатам этих испытаний обычно везде одинаковые — сохранение функциональности кузова транспортного средства, важнейших внутренних систем и осветительных приборов, достаточное чтобы безопасно продолжить движение после удара.

Все известные на сегодняшний день требования к методикам проведения испытаний легковых автомобилей на малых скоростях делятся на: законодательные требования и потребительские требования (требования страховых компаний).

Тесты страховых компаний предъявляют к конструкции автомобиля более жесткие требования, чем текущее законодательство. Поэтому рассмотрим случай доводки автомобиля с учетом требований по низкоскоростным ударам на примере применяющихся европейскими страховыми компаниями тестов Даннера» [15].

1.2 Описание известных тестов испытаний конструкции автомобильного кузова

«Зарубежные страховые компании для определения суммы страхового взноса пользуются понятием класса страхования, который определяется как функция двух переменных: величины затрат на ремонт поврежденного после аварии автомобиля и индекса частоты повреждений (статистического значения объединения страховых компаний, свидетельствующего о том, насколько часто конкретный тип автомобиля попадает в аварии)» [25].

«Ниже проведена методика определения класса страхования.

Этап 1: определение среднего значения повреждений «SD»

На основании данных, полученных после испытаний автомобиля на малых скоростях, определяется, путем подстановки в формулу (1), показатель «SD».

$$"SD" = \frac{(54\%P + 16\%B + 30\%З) * 100 * 1.13}{СЗ}, \quad (1)$$

где P – затраты на ремонт повреждений передней части автомобиля;

B - затраты на ремонт повреждений боковой части автомобиля;

$З$ - затраты на ремонт повреждений задней части автомобиля;

СЗ – средние затраты на ремонт всех повреждений, регистрируемых страховыми компаниями (это значение ежегодно изменяется и на 2022 год составляло 2100 Е);

1.13 – коэффициент (индекс) предполагаемых накладных расходов в результате аварии (например, стоимость проката автомобиля или буксировка попавшего в аварию автомобиля)» [10].

Этап 2: «определение индекса частоты повреждений «SH»

Индекс частоты повреждений – это статистическое значение объединения страховых компаний, свидетельствующее о том, насколько часто конкретный тип автомобиля (с привязкой к торговой марке) попадает в аварии. Эти цифры не раскрываются общественности, и у каждого изготовителя имеется информация только по значениям для собственных торговых марок.

Этап 3: определение востребованности повреждений «SB»

По данным, полученным в процессе выполнения этапа 1 и этапа 2, определяется востребованность повреждений по формуле (2):

$$"SB" = \frac{SD * SH * 0.94}{100}, \quad (2)$$

где 0.94 – поправка для индекса частоты повреждений (по мере повышения изготовителем восстанавливаемости автомобилей)» [14].

Этап 4: «определение класса страхования «VK».

Решение о присвоении автомобилю определенного класса страхования (а следовательно и величины страхового взноса) принимается на основании данных таблицы 1 и рисунка 1» [15].

Таблица 1 – Зависимость класса страхования от востребованности повреждений

SB	10-39	40-49	50-59	. . .	130-139	140-149	и т. д.
VK	10	11	12	. . .	20	21	и т. д.

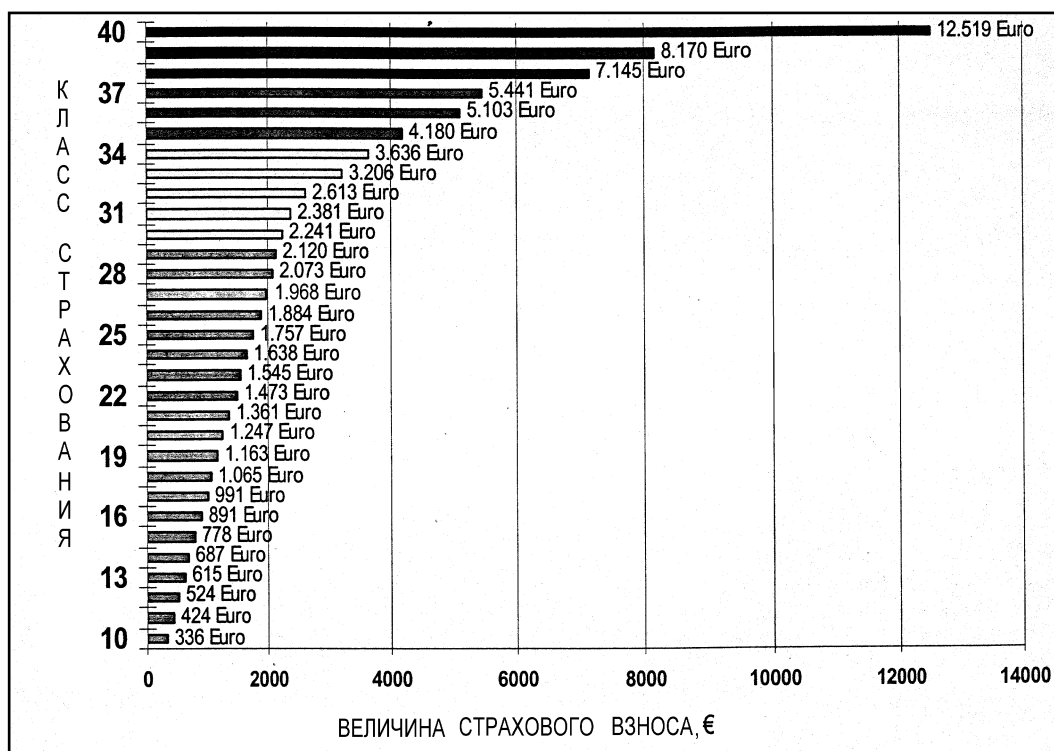


Рисунок 1 – Зависимость суммы страхового взноса от класса страхования

«Рассмотрим выборку показателей стоимости восстановления для автомобилей различных классов зарубежных изготовителей (таблицы 2- 5)

Как видно из таблицы 5, средние показатели стоимости восстановления автомобиля самые высокие для автомобилей малого класса, самые низкие – для автомобилей класса SUV.

Это объясняется тем, что в среднем для разных классов цены на автомобили отличаются в порядке возрастания, самые низкие для автомобилей малого класса, самые высокие – для автомобилей класса SUV (таблицы 2-5). Кроме того, отличается характер повреждений автомобилей различных классов» [15].

Таблица 2 – Статистические данные по стоимости восстановления автомобилей различных классов. Автомобили малого класса

Марка автомобиля	Стоимость автомобиля, \$	Стоимость восстановления			Стоимость восстановления / стоимость автомобиля.
		Стоимость работ, \$	Стоимость запчастей, \$	Общая стоимость, \$	
Holden Barina 1,4L 3 Door Hatch	17470	709	2565	3273	18,70%
Hyundai Accent GL 1,5L 3 Door Hatch	14690	1335	1634	2969	20,20%
Toyota Echo 1,3L 3 Door Hatch	17393	1872	2311	4182	24,00%
Mitsubishi Mirage 1,5L 3 Door Hatch	17690	1680	3212	4892	27,70%
Daewoo Lanos SE 1,5L 3 Door Hatch	13990	1699	2298	3997	28,60%
Kia Rio 1,5L 5 Door Hatch	15990	1816	2852	4668	29,20%
Mazda 121 Metro Shades 1,5L 5 Door Hatch	19240	1933	3689	5621	29,20%
Daewoo Matiz 0,8L 5 Door Hatch	12740	1607	2131	3739	29,30%
Daihatsu Sirion 1,0L 5 Door Manual Hatch	14520	1522	2861	4383	30,20%
Ford Ka ² 1,3L 3 Door Manual Hatch	15990	1862	3839	5700	35,60%

Таблица 3 – Статистические данные по стоимости восстановления автомобилей различных классов. Автомобили малого/среднего класса

Марка автомобиля	Стоимость автомобиля, \$	Стоимость восстановления			Стоимость восстановления / стоимость автомобиля.
		Стоимость работ, \$	Стоимость запчастей, \$	Общая стоимость, \$	
Subaru Impreza - WRX 2,0L Turbo 5 Door Hatch	41940	1444	2763	4207	10,00%
Subaru Impreza RS 2,5L 4 Door Sedan	32990	1430	2173	3604	10,90%
Peugeot 307 XS 1,6L 5 Door Hatch	25990	676	3383	4059	15,60%
Toyota Corolla Seca Ascent 1,8L 5 Door Hatch	21630	1509	2963	4471	20,70%
Hyundai Elantra GL 1,8L 5 Door Hatch	20180	1900	2345	4245	21,00%
Holden Astra City 1,8L 5 Door Manual Hatch	22370	1327	3567	4894	21,90%
Honda Civic Vi 1,7L 5 Door Hatch	27950	2052	4234	6286	22,50%
Mitsubishi Lancer GLi 1,5L 2 Door Coupe	18990	1680	2959	4639	24,40%
Nissan Pulsar ST 1,8L 5 Door Hatch	21990	2041	3501	5541	25,20%
Mazda 323 Astina 1,8L 5 Door Hatch	19990	1787	4300	6088	30,50%
Nissan Pulsar LX 1,6L 4 Door Sedan	20490	2199	4179	6378	31,10%

Таблица 4 – Статистические данные по стоимости восстановления автомобилей различных классов. Автомобили класса SUV

Марка автомобиля	Стоимость автомобиля, \$	Стоимость восстановления			Стоимость восстановления / стоимость автомобиля.
		Стоимость работ, \$	Стоимость запчастей, \$	Общая стоимость, \$	
Subaru Outback 2.5L 4 Door Automatic Wagon	40180	1572	2258	3830	9,50%
Subaru Forester XS 2.5L 4 Door Automatic Wagon	36490	1389	2168	3557	9,70%
Mitsubishi Pajero iO 2.0L 4 Door Manual Wagon	29990	1341	1974	3315	11,10%
Suzuki Grand Vitara Sports 2.5L 4 Door Automatic Wagon	32890	2011	1901	3912	11,90%
Nissan X-Trail ST 2.5L 4 Door Manual Wagon	31990	2074	3983	6057	18,90%
Honda CR-V Sports 2.4L 4 Door Automatic Wagon	38490	1395	6014	7409	19,20%
Kia Sportage 2.0L 4 Door Manual Wagon	24990	1694	3470	5164	20,70%
Toyota RAV4 Edge 2.0L 4 Door Manual Wagon	32145	1362	5938	7300	22,70%
Daihatsu Terios DX 1.3L 4 Door Manual Wagon	18790	1619	3471	5090	27,10%

Таблица 5 – Средние показатели стоимости восстановления автомобиля при фронтальном ударе

Параметр	Класс малых автомобилей	Класс средних / малых автомобилей	Класс SUV
Доля стоимости восстановления от стоимости автомобиля	25%	23%	17%
Доля стоимости работы при восстановлении от стоимости автомобиля	9%	7%	6%
Доля стоимости заменяемых запчастей от стоимости автомобиля	16%	14%	11%

«Снижения стоимости ремонта повреждений автомобиля при низкоскоростном фронтальном столкновении можно достичь с помощью специальных энергоемких съемных элементов, которые предотвратили бы деформацию несъемных деталей кузова автомобиля. Проектирование начинается с определения силовой структуры передней части автомобиля для эффективного энергогашения в ходе фронтального столкновения по методике теста Даннера. Требуется минимизировать деформацию несъемных узлов автомобиля. На рисунке 2 приводятся две характерные схемы энергогашения:

В первой схеме гашение энергии удара происходит за счет деформации балки бампера. Во второй - за счет деформации крэш-бокса.

Основным параметром, который требуется определить, является длина «L» энергоемкого элемента» [15].

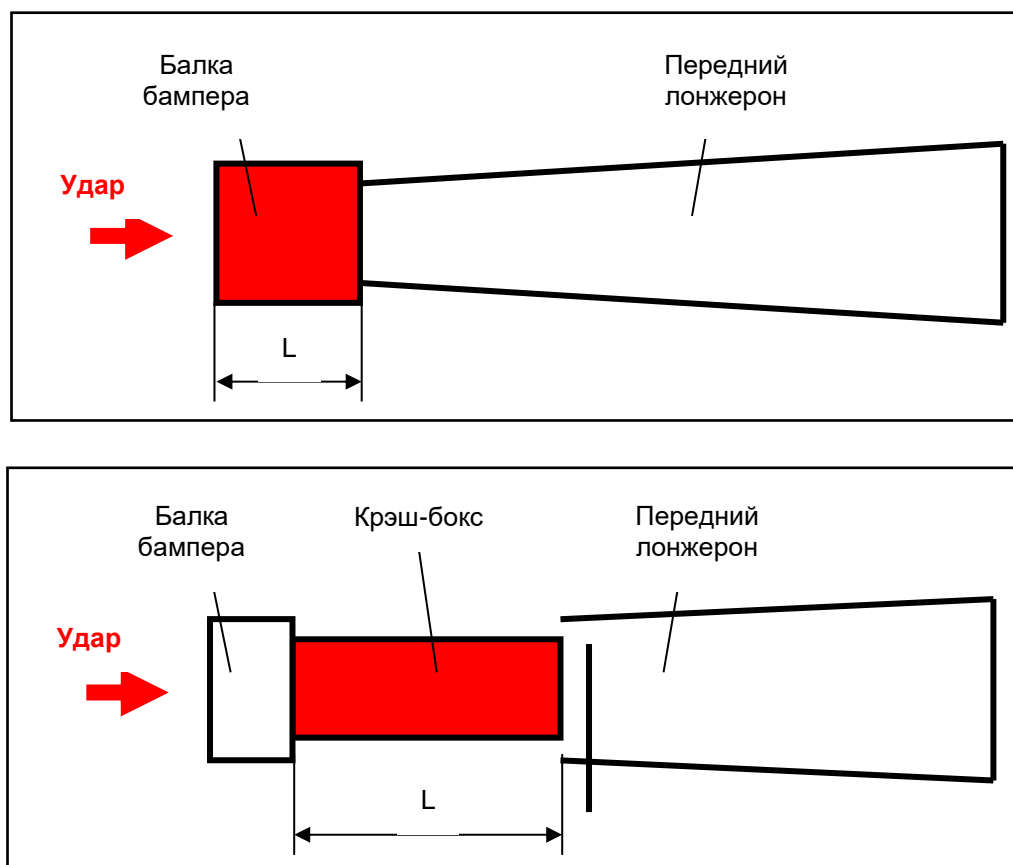


Рисунок 2 – Схемы энергогашения при низкоскоростном ударе

«Определение длины энергоемкого элемента для приведенных схем энергогашения одинаково: эффективная деформация определяется из равенства энергии деформации энергоемкого элемента энергии удара и составляет 70% от полной длины элемента.

Исходными данными являются:

Скорость удара $V=4,17\text{м/с}$ - требования испытаний;

Масса автомобиля - тех. задание;

Критическое продольное усилие для переднего лонжерона при динамическом нагружении - проектные рекомендации.

На рисунке 3 приведены результаты расчетов длины энергоемкого элемента в зависимости от массы автомобиля и критического усилия переднего лонжерона» [15].

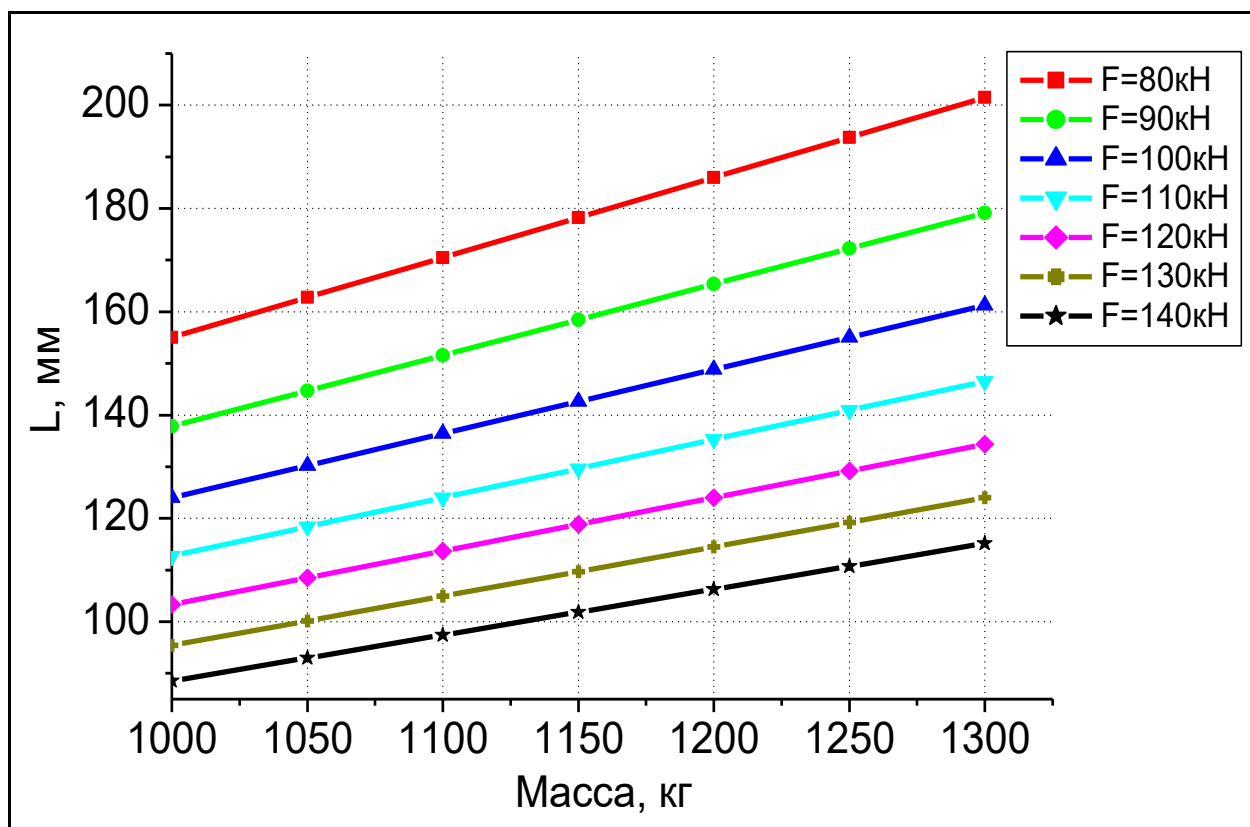


Рисунок 3 – Полная длина энергоемкого элемента в зависимости от массы автомобиля и критической нагрузки переднего лонжерона

«Одним из первых этапов синтеза силовой схемы перспективного автомобиля является моделирование низкоскоростного удара и выбор оптимальной конструкции балки бампера.

Традиционно используемый материал для изготовления балки бампера – сталь. Основные преимущества применения стали – дешевизна и высокая энергоемкость, однако такие недостатки стали как большой удельный вес, и сложность технологического процесса выявляют необходимость поиска новых материалов» [33].

«Некоторые зарубежные производители для изготовления балки бампера применяют алюминий, который обладает сравнительно низким удельным весом, простотой технологии изготовления (литая балка) и достаточной по сравнению со сталью удельной энергоемкостью» [13].

В данной работе «проводилось исследование энергопоглощающих свойств алюминиевых бамперов.

В качестве базовой была принята силовая схема легкового автомобиля с типичными силовыми элементами каркаса.

Удар автомобиля о недеформируемый барьер на скорости 15 км/ч проводится согласно предписаниям теста Даннера с 40%-ным перекрытием» [3].

Анализ производился в несколько этапов:

«Динамический расчет для шести алюминиевых балок бампера с различными поперечными сечениями. Этот этап позволил оценить зависимость энергопоглощающих свойств от конфигурации поперечного сечения» [27].

«Динамический расчет балки бампера типа «а» (рис. 4) с ее разбиением на характерные участки (продольные зоны - горизонтальные и вертикальные ребра и четыре поперечные зоны, принципиально отличающиеся по величине энергопоглощения). Этот этап позволил выявить участки балки, обладающие наибольшей энергопоглощающей способностью, а также оценить энергоемкость каждой части балки» [23].

«Динамический расчет балки бампера типа «а» с круглым вырезом напротив лонжерона. Данный вариант расчета позволил оценить потери в энергопоглощении, которые необходимо скомпенсировать вводом дополнительного элемента – крэш-бокса.

Динамический расчет балки бампера типа «а» со вставленным в нее алюминиевым крэш-боксом в зоне, расположенной напротив лонжерона. Расчет производился для нескольких типов крэш-боксов» [31].

«Динамический расчет балки бампера типа «а» с различным набором толщин вертикальных и горизонтальных ребер. На этом этапе шел поиск наилучшего варианта конструкции, обладающего оптимальной жесткостью, которая с одной стороны наиболее энергоемка, с другой стороны достаточно мала для того, чтобы, полностью деформируясь, не передавать усилие на лонжерон кузова» [12].

«Динамический расчет прямой балки бампера с поперечным сечением, аналогичным поперечному сечению балки бампера типа «а». На данном этапе оценивалось влияние кривизны балки на ее энергопоглощающие свойства.

Критерием оценки момента потери устойчивости лонжерона был выбран рост усилий в сечении лонжерона.

Характеристики алюминия:

Плотность – $2.8 \cdot 10^{-6}$ кг/мм³

Модуль Юнга – 70 ГПа

Коэффициент Пуассона – 0.3

Напряжение текучести – 0.245 ГПа

Модуль упрочнения – 0.5 ГПа

Энергия удара автомобиля равна:

$$E = m \cdot V^2 / 2,$$

где m - масса автомобиля, V - скорость автомобиля» [22].

«Масса автомобиля принята равной 1150 кг. Скорость автомобиля 4.17 м/с. Таким образом, энергия удара

$$E = 1150 \cdot 4,17^2 / 2 = 9998.6175 = 10(\text{кДж}).$$

Толщина ребер балок всех типов была задана по 2 мм.

Все типы балок бампера имеют высоту 10 0мм.

Динамический расчет балок бампера различных поперечных сечений позволил определить:

Момент потери устойчивости переднего лонжерона, то есть момент окончания эффективного энергопоглощения балки бампера» [35].

«Энергию, поглощенную бампером до начала деформации лонжерона.

Остаточную кинетическую энергию и скорость автомобиля в момент времени, соответствующий окончанию эффективного энергопоглощения балки» [15].

Результаты расчетов сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов различных вариантов поперечного сечения балки бампера

«Тип балки	Момент потери устойчивости лонжерона, мс	Энергия, поглощенная бампером, кДж	Остаточная кинетическая энергия, кДж	Остаточная скорость автомобиля, мс» [24]
а	26	5,81	4,15	2,69
б	25,5	2,40	7,60	3,64
в	24	3,51	6,49	3,36
г	23	4,67	5,33	3,04
д	24	3,85	6,15	3,27
е	25	5,54	4,46	2,79

«В результате расчетов становится очевидным, что при толщине стенок 2мм наиболее энергоемкой из рассмотренных является балка бампера с сечением типа «а».

Для оценки энергоемкости каждой части балки был произведен динамический расчет с разбиением балки на 16 частей. Каждое ребро, находящееся в зоне 40 %-ного перекрытия, было разбито на три части: внутреннюю (ближайшую к оси симметрии), среднюю (напротив лонжерона) и крайнюю, а также в отдельную группу была выделена часть балки, не

находящаяся в зоне перекрытия. Внешние горизонтальные ребра были взяты в группы попарно (рисунки 4-6)» [15]. Результаты расчета приведены в таблице 7.

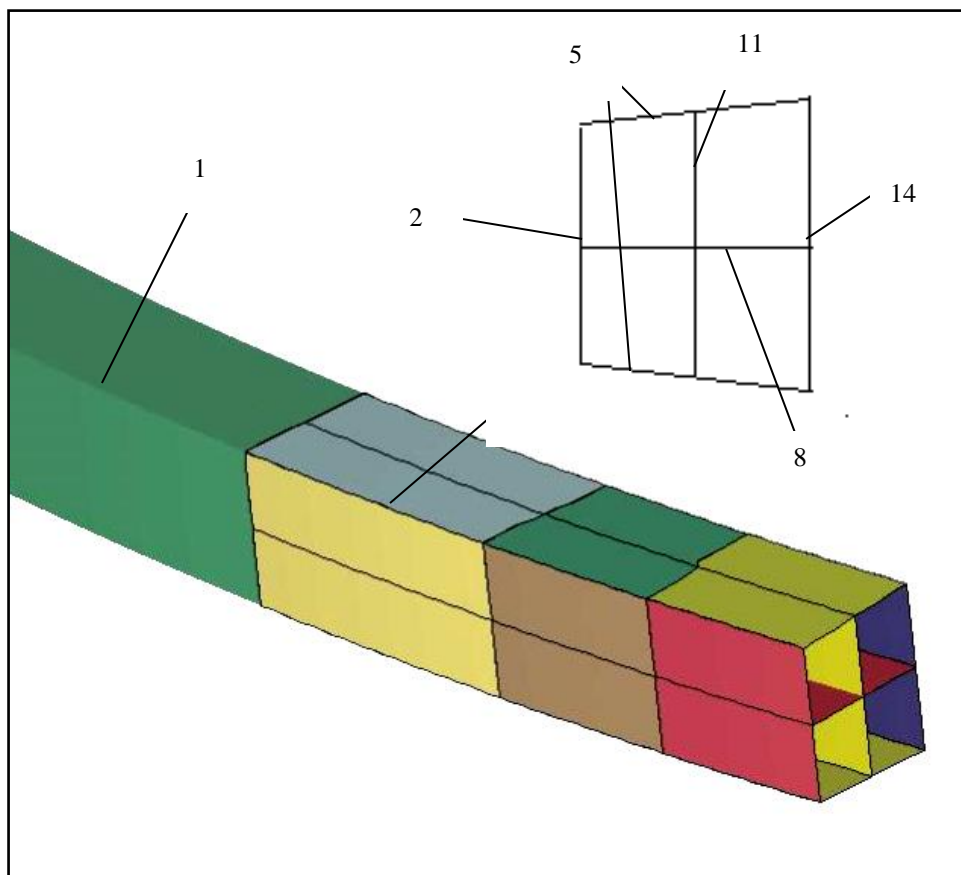


Рисунок 4 – Разделение балки на характерные участки

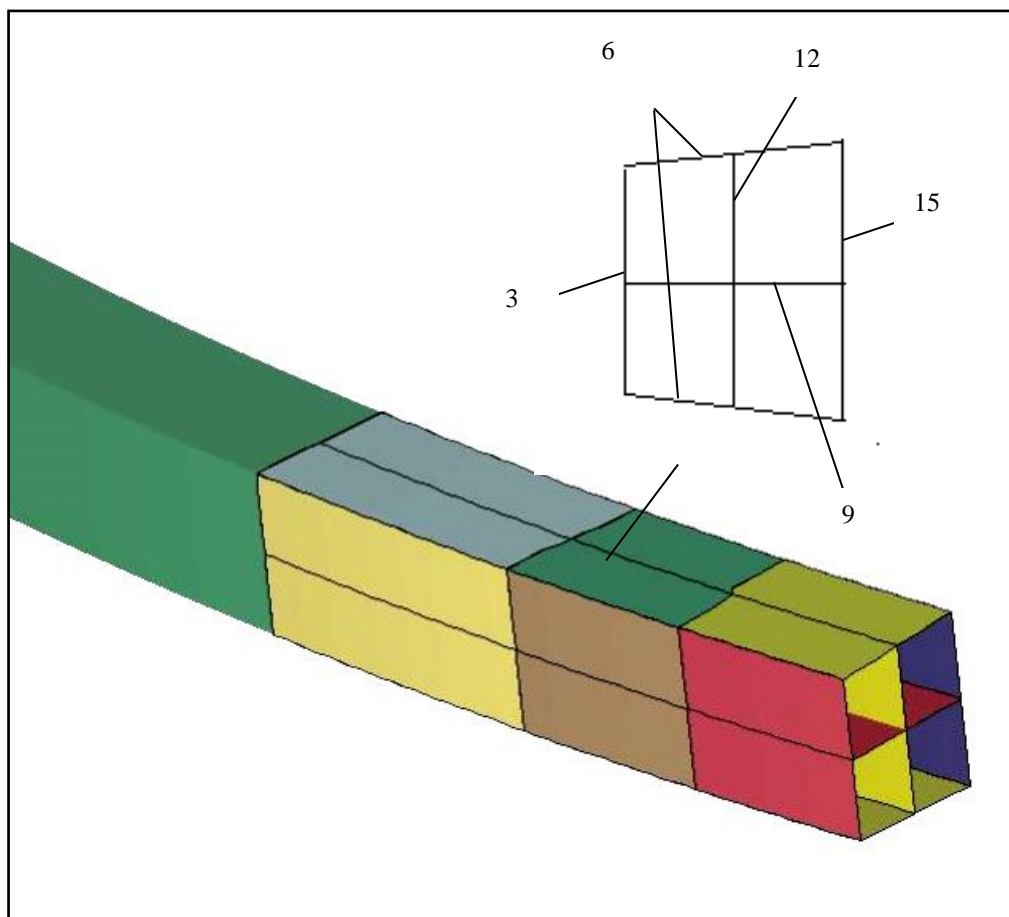


Рисунок 5 – Разделение средней части балки на характерные участки

7

13

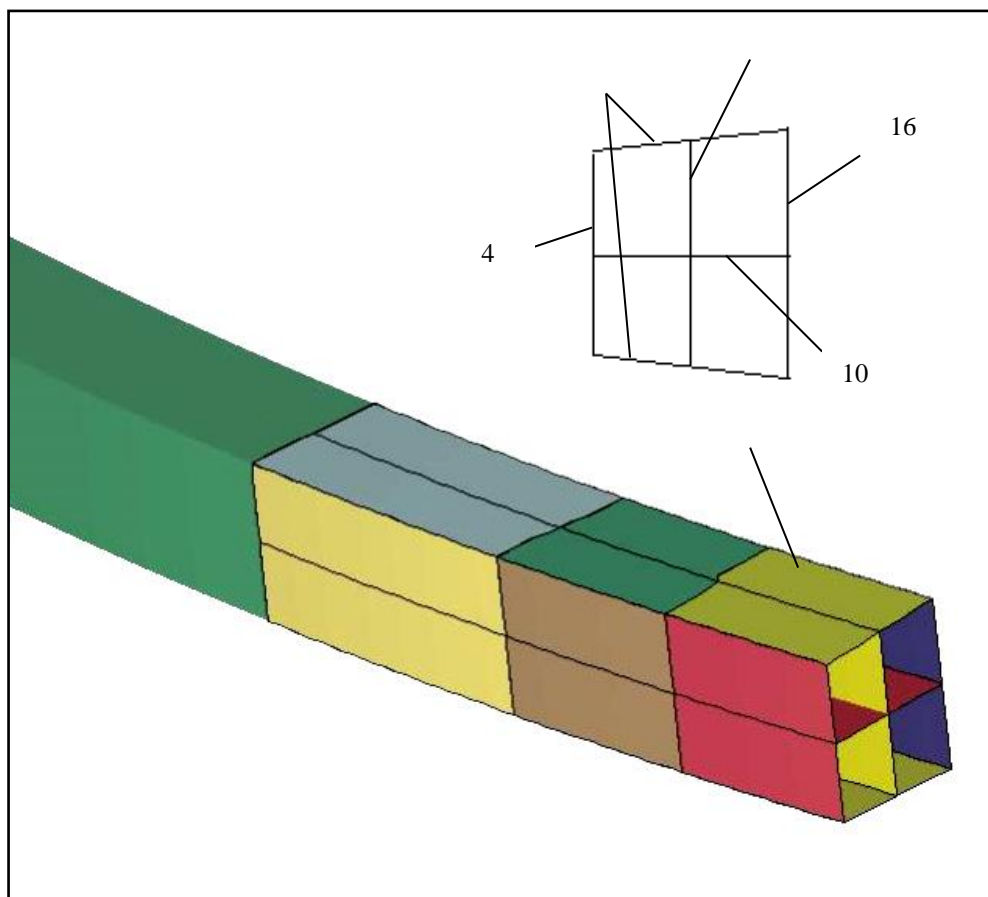


Рисунок 6 – Разделение крайней части балки на характерные участки

Таблица 7 – Распределение внутренней энергии деформации по частям балки бампера

№ «части»	Поглощенная энергия (Дж)	% от общей энергии
1	19	0,33
2	262	4,50
3	172	2,96
4	67	1,15
5	1035	17,81
6	1585	27,27
7	340	5,85
8	493	8,48
9	710	12,21
10	235	4,04
11	141	2,42
12	133	2,28
13	22	0,38
14	271	4,66
15	260	4,47
16	66	1,14
Всего	5811	100» [30]

«Если проанализировать картину энергопоглощения по поперечным частям (внутренней, средней и крайней), нетрудно заметить, что основную долю энергии гасит часть балки, находящаяся напротив лонжерона (средняя).

Еобщ.внутр=2202 Дж=37,89%

Еобщ.средн=2860 Дж=49,22%

Еобщ.крайн=749 Дж=12,89%

Энергетика ребер средней части балки приведена в таблице 8» [15].

Таблица 8 – Распределение внутренней энергии деформации по ребрам балки бампера

«Название ребра	Номер части	Поглощенная энергия, Дж	% от суммарной энергии средней части
Внешнее вертикальное	3	172	6,01
Внешние горизонтальные	6	1585	55,42
Внутреннее горизонтальное	9	710	24,83
Внутреннее вертикальное	12	133	4,65
Заднее	15	260	9,09» [20]

«Таким образом, становится очевидным, что наиболее энергоемкими являются внешние горизонтальные ребра.

Расчет балки бампера с поперечным сечением типа 1 с отверстиями под крэш-боксы напротив лонжеронов (рисунок 7) проводился для оценки потери энергоемкости балки бампера с крэш-боксом» [15].

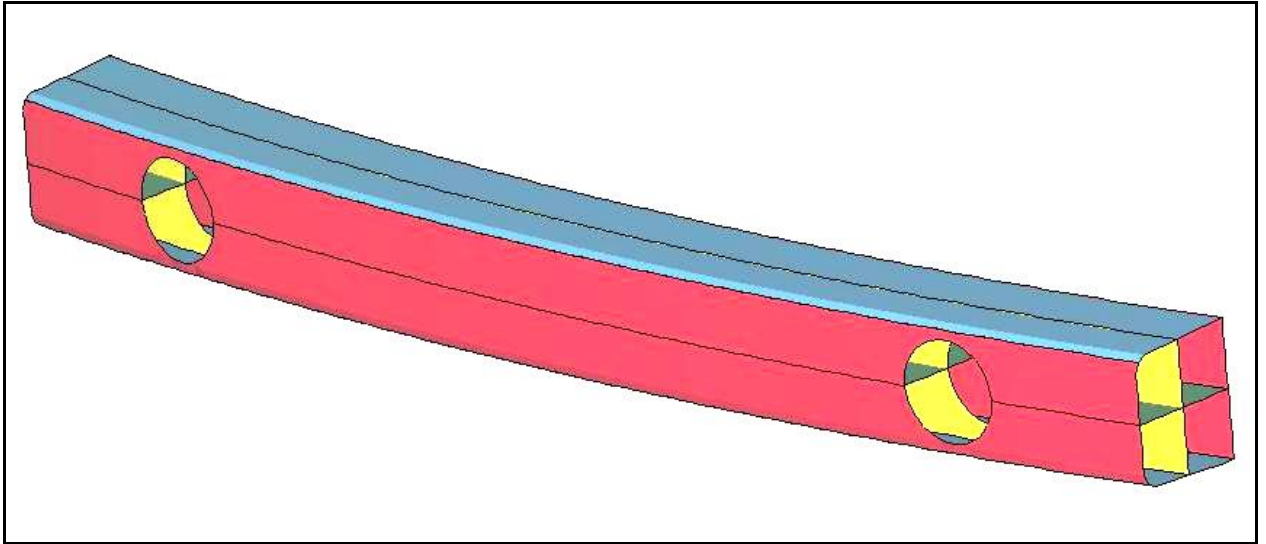


Рисунок 7 – Общий вид балки с отверстием под крэш-бокс напротив лонжерона

«В результате динамического расчета были получены следующие данные:

Момент начала деформации лонжерона – 23 мс.

Энергоемкость бампера – 4825 Дж.

Остаточная кинетическая энергия – 5175 Дж.

Остаточная скорость автомобиля – 3м/с.

Потеря энергоемкости балки бампера с отверстиями относительно первоначального варианта составила $\Delta E = 0,99 \text{ кДж} (17\%)$.

Данный этап расчетов позволил оценить возможность включения дополнительного энергогасящего элемента. Для этого в отверстие напротив лонжерона был вставлен крэшбокс с крестообразным поперечным сечением и прямой образующей (рисунок 8). Толщина стенок крэш-бокса – 2 мм» [15].

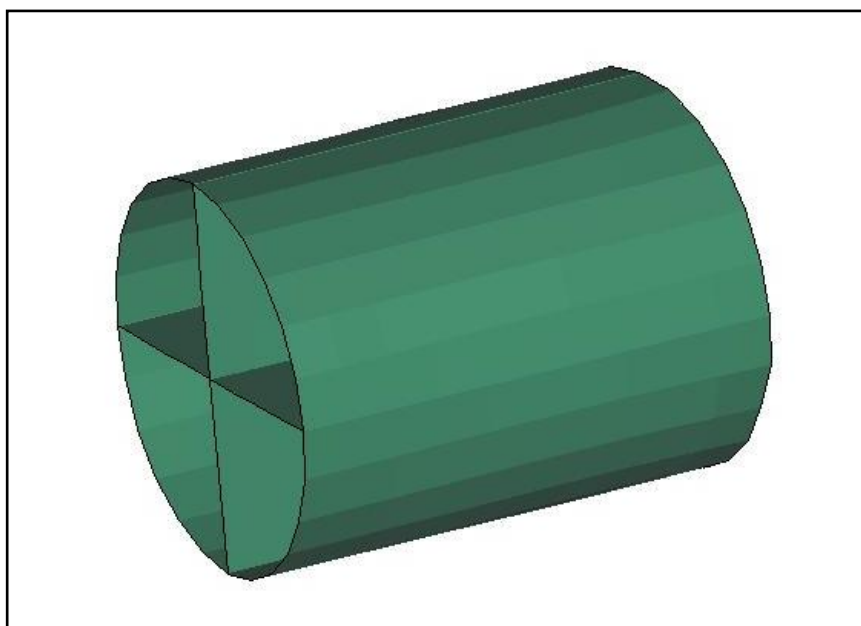


Рисунок 8 – Первый вариант конструкции крэш-бокса

«Расчет показал, что жесткость конструкция балки бампера с крэш-боксом выше продольной жесткости лонжерона. Потеря устойчивости лонжерона произошла в самом начале ударного процесса.

Для уменьшения жесткости энергогасящей системы проводились следующие мероприятия по изменению данной конструкции крэш-бокса:

Уменьшение толщины стенок до 1 мм.

Конструкция крэш-бокса без внутренних переборок.

Крэш-бокс без переборок с дном навстречу удару и толщиной соединителя балки бампера и лонжерона – 4 мм.

Попытки снизить жесткость крэш-бокса не дали положительного эффекта.

Следующим шагом стало включение в схему новой конструкции крэш-бокса, показанной на рисунке 9. При той же толщине стенок (2 мм) эта конструкция обладает меньшей жесткостью, то есть большей податливостью во время удара.

Результаты расчета оказались существенно лучше по сравнению с предыдущими, но качественно значительно уступали результатам расчетов варианта конструкции балки без крэш-бокса:

Момент начала деформации лонжерона – 14 миллисекунд.

Поглощенная балкой и крэш-боксом энергия – 3,5 кДж.

Динамика деформации усовершенствованного крэш-бокса и лонжерона представлена на рисунке 10» [15].

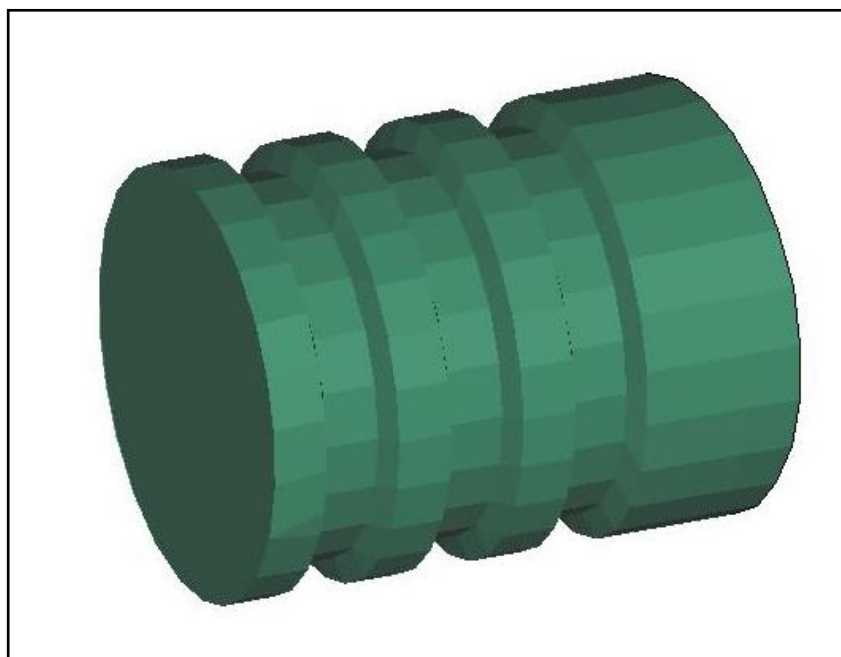


Рисунок 9 – Второй вариант конструкции крэш-бокса

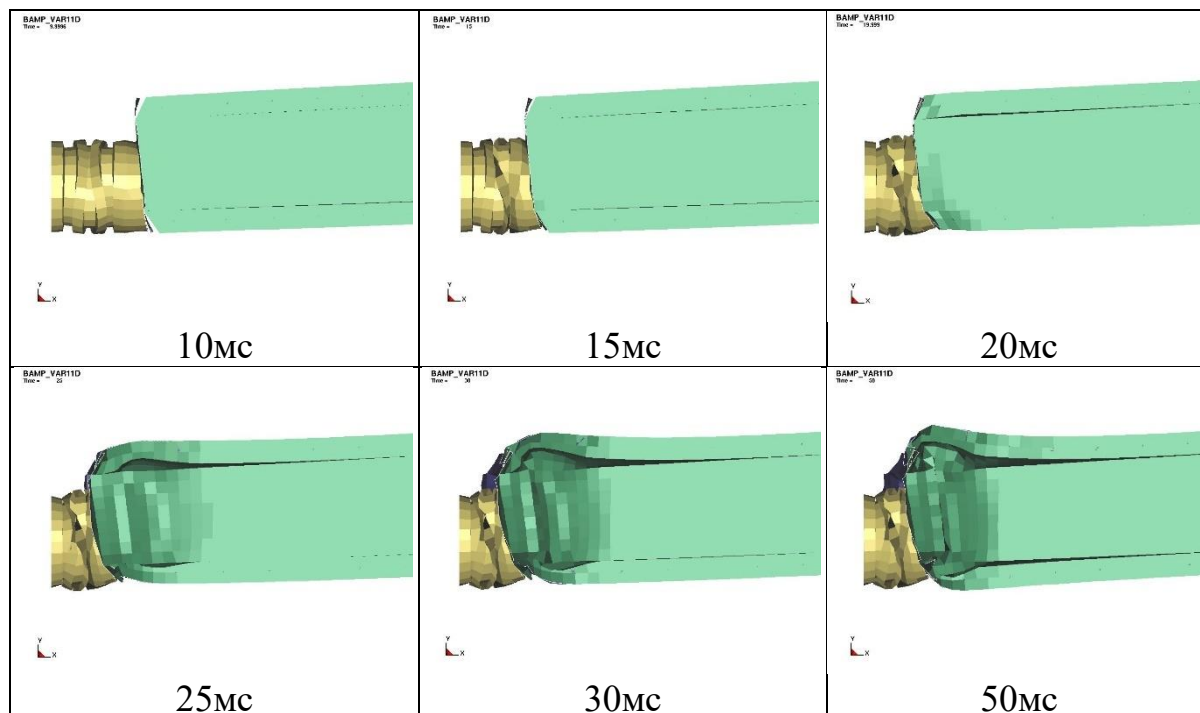


Рисунок 10 – Динамика деформации крэш-бокса и лонжерона

«По результатам, полученным на данном этапе, можно сделать вывод: использование дополнительного энергогасящего элемента в рамках рассматриваемой конструкции балки бампера неэффективно.

На данном этапе расчетов была выявлена зависимость энергоемкости конструкции от толщины горизонтальных и вертикальных ребер алюминиевой балки типа 1 (таблица 9).

Было рассчитано три варианта:

1с – толщина горизонтальных ребер 2,5 мм,

1d – толщина горизонтальных ребер 3 мм,

1e – толщина всех ребер 2,5 мм.

Оказалось, что увеличение толщины горизонтальных ребер до 2,5 мм повысило энергоемкость балки до 7,1 кДж ($\Delta = 1,3$ кДж).

Однако, увеличение толщины горизонтальных ребер до 3 мм, как и увеличение толщины всех ребер до 2,5 мм повлекло повышение жесткости

конструкции балки по сравнению с лонжероном, что заметно ухудшило энергогашение. Результаты расчетов сведены в таблице 9» [15].

Таблица 9 – Результаты расчетов балки бампера с различными толщинами ребер

№	«Момент начала деформации лонжерона, мс	Внутренняя энергия бампера, кДж	Остаточная кинетическая энергия, кДж	Остаточная скорость, м/с» [34]
1с	27	7,100	2,900	2,25
1d	17	5,36	4,64	2,84
1e	3.5	0,55	9,45	4,05

«Таким образом, наиболее оптимальным вариантом соотношения толщины ребер является вариант 1с – вертикальные ребра толщиной 2 мм, горизонтальные ребра 2,5 мм.

Динамика деформации балки бампера и лонжерона для варианта 1с представлена на рисунке 11.

Длина деформированной части лонжерона составила 71 мм» [15].

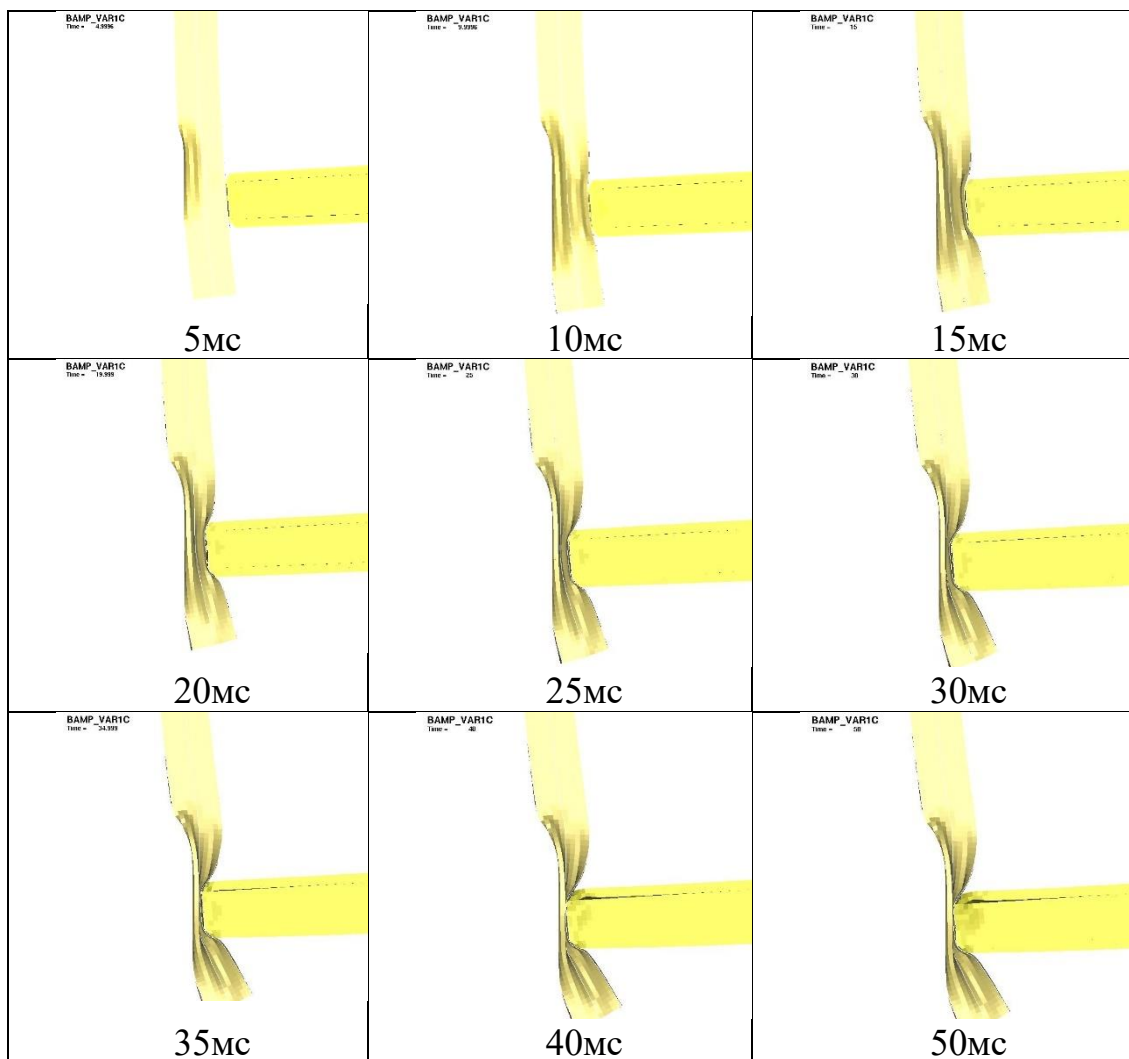


Рисунок 11 – Динамика деформации балки и лонжерона

«Для включения в силовую схему прямой балки бампера была изменена геометрия лонжеронов, поэтому произвести объективную сравнительную оценку энергопоглощения сложно (рисунок 12).

Момент окончания эффективного энергопоглощения балки определялся по изменению энергопоглощения лонжеронов. Энергия, погашенная изогнутой балкой – $E(29\text{мс})=6,4\text{кДж}$, энергия погашенная прямой балкой – $E(31,5\text{мс})=6,6\text{кДж}$.

На рисунках 13 и 14 показаны диаграммы поглощенной балками энергии в зависимости от времени и деформации балки. Общая энергоемкость выше у изогнутой балки, полезная – у прямой, поэтому дать однозначную оценку изменения энергоемкости нельзя» [15].

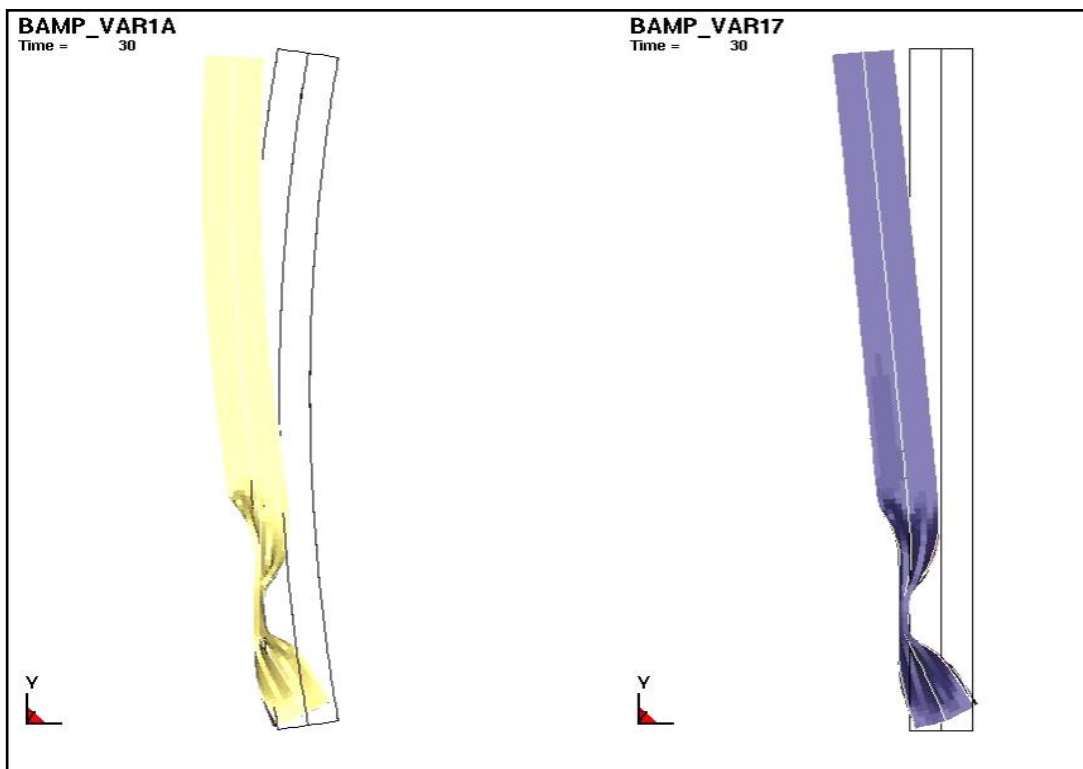


Рисунок 12 – Сравнение деформации балок бампера прямой и изогнутой на 30 мс

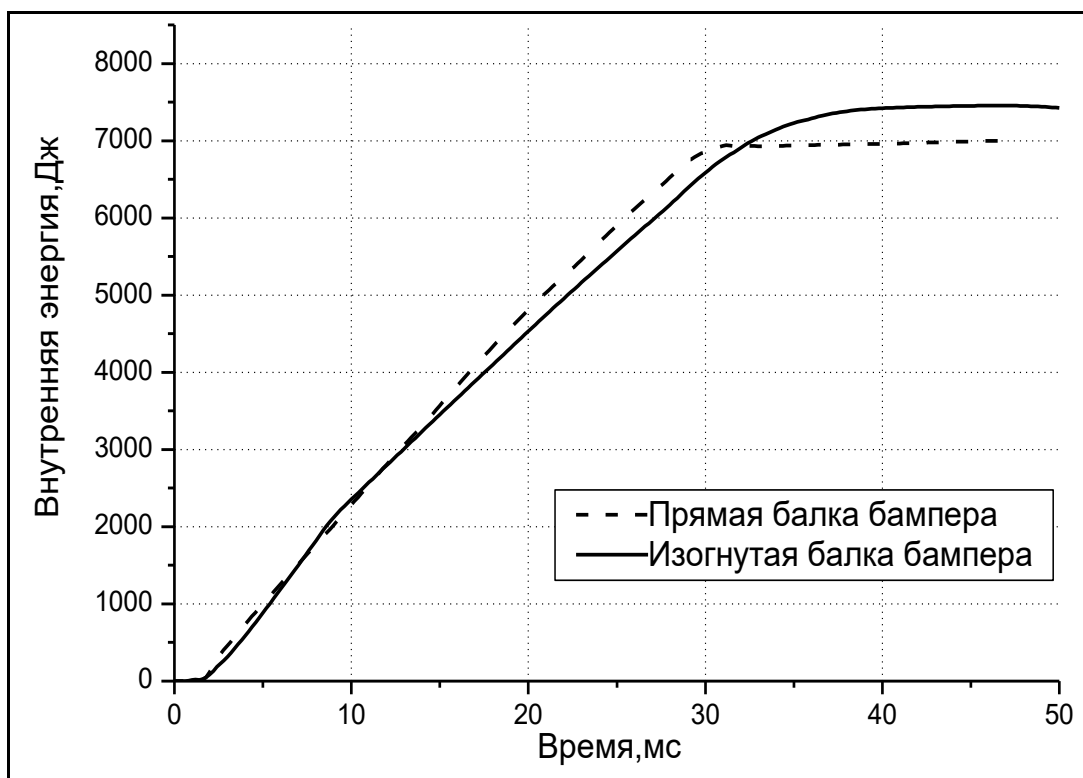


Рисунок 13 – Диаграммы энергопоглощения прямой и изогнутой балок

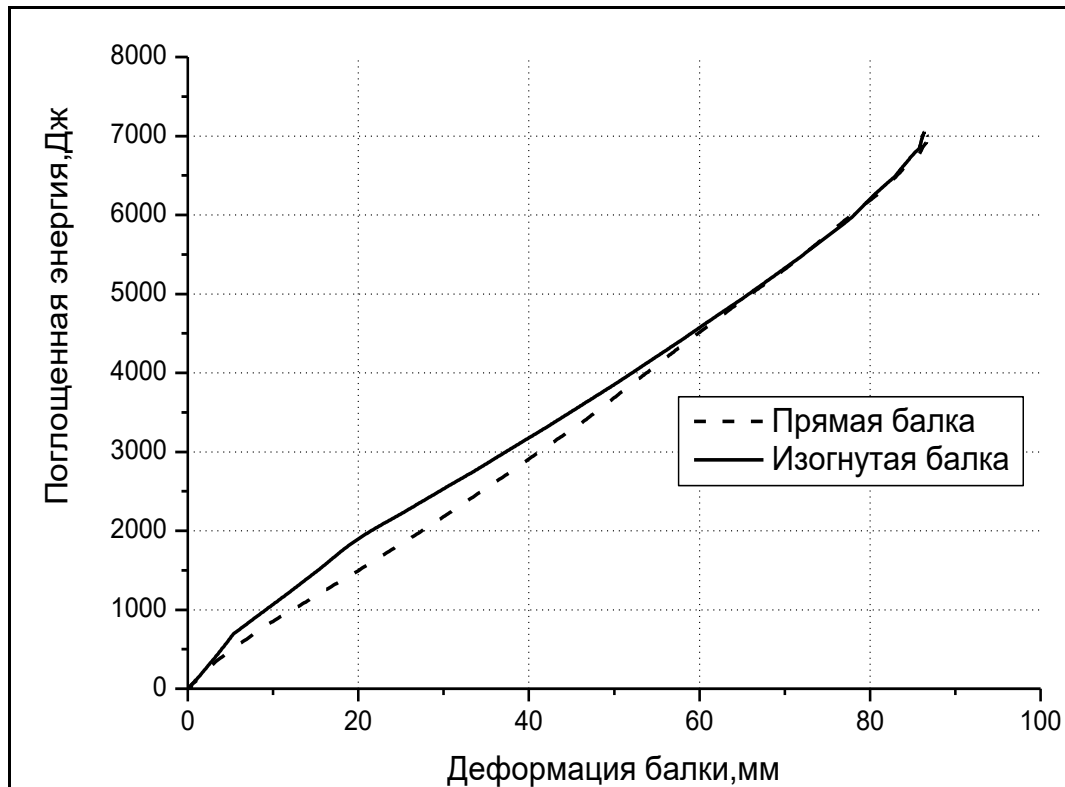


Рисунок 14 – Зависимость поглощения энергии от деформации балки

Вывод: данная кривизна балки бампера не оказывает существенного влияния на энергопоглощающие свойства.

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

«Наибольшей энергоемкостью при толщине стенок 2 мм обладает балка типа «а».

Самой энергоемкой частью являются внешние горизонтальные ребра;

Отверстие напротив лонжерона ухудшает поглощение энергии на 17%;

Использование дополнительного энергогасящего элемента в рамках рассматриваемой конструкции балки неэффективно;

Наилучшее соотношение толщин ребер балки типа «а» - горизонтальные ребра 2,5 мм, вертикальные ребра 2 мм;

Кривизна балки в рассматриваемой силовой схеме не оказывает влияния на энергопоглощающие свойства» [21].

2 Средства контроля деформации элементов автомобильного кузова

2.1 Описание средств контроля деформации элементов конструкции

Марка прибора НИИК-2028ФК, дополнительно оснащённый оптико-электронной системой НИИК-890 и программным обеспечением «ТЕХНОкоорд™». Внешний вид представлен на рисунке 15.

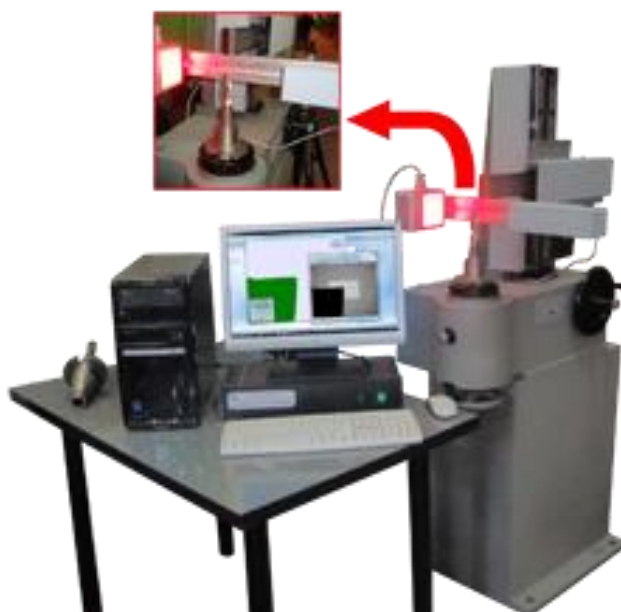


Рисунок 15 – Прибор НИИК-2028ФК

Повышение профессиональной квалификации в области предварительной настройки контрольного приспособления, что включает в себя изучение оборудования, программного обеспечения для него и методов работы с ним, а также методы интеграции данного класса оборудования в производственный процесс.

Поставленные цели можно будет считать достигнутыми при решении минимально необходимых для этого задач. В этот минимум входят следующие задачи.

2.2 Конструкционные и технологические характеристики средств контроля деформаций

Конструкция прибора включает в себя цельнолитое основание в виде тумбы, изготовленной из чугуна, стойки, каретки с установленной на ней траверсой с визирующим устройством с подсветкой. В основание встроены шпиндель с конусом 50 AT5 по ГОСТ 15945-82 и механизмы грубого и точного перемещения каретки. Конус имеет фиксатор положения необходимый для закрепления инструментального комплекта (режущий инструмент совместно с вспомогательным) с помощью специального маховика с винтом. На траверсе размещена видеокамера с подсветкой, которая совместно с преобразователями оптических измерений и электронного блока управления НИИК-801 входит в состав оптико-электронной измерительной системы НИИК-890.

Электронный блок управления НИИК-801 посредством кабеля USB соединён с системным блоком компьютера рабочего места оператора под управлением операционной системы WINDOWS™. На рабочем месте соответственно размещены дисплей, клавиатура и оптическая мышь. В качестве дополнительной опции возможна поставка принтера для печати этикеток с параметрами проверенного и настроенного инструмента.

Стол для размещения системного блока с клавиатурой и дисплеем должен быть согласно ГОСТ Р 50923-96 размером 600 мм в глубину и 1200 мм в ширину, высоту достаточную для работы с компьютером стоя. Размещается он с левой стороны от прибора для удобства работы оператора.

В оптико-электронной измерительной системе НИИК-890 используются несколько моделей видеокамер в зависимости от параметров прибора, в котором она используется – это VEC-245, VEC-535, SONY XCD-SX90CR. Наилучшие характеристики имеет камера VEC-535 [4]. Это наибольший размер матрицы и наименьший размер пикселя, а также самое наименьшее соотношение шумов к сигналу и более высокая светочувствительность.

Оптическая система видеокамеры даёт десятикратное увеличение. Поле зрения объектива равно 30×30 мм. Именно она используется в нашем случае.

Линейные перемещения видеокамеры относительно измеряемого инструмента измеряются с помощью преобразователей линейных измерений модели Лир-7М и имеющих дискретность 0,001 мм. Это оптоэлектронный линейный энкодер на современной элементной базе производства Renishaw (модель RGH24), предназначен для измерения величины перемещений в виде цифрового сигнала с последующей передачей его в электронный блок управления. На рисунке 16 приведён эскиз преобразователя ЛИР - 7М. Эскиз взят с сайта производителя компании ОАО «Специальное Конструкторское Бюро Измерительных Систем» С-Петербург.

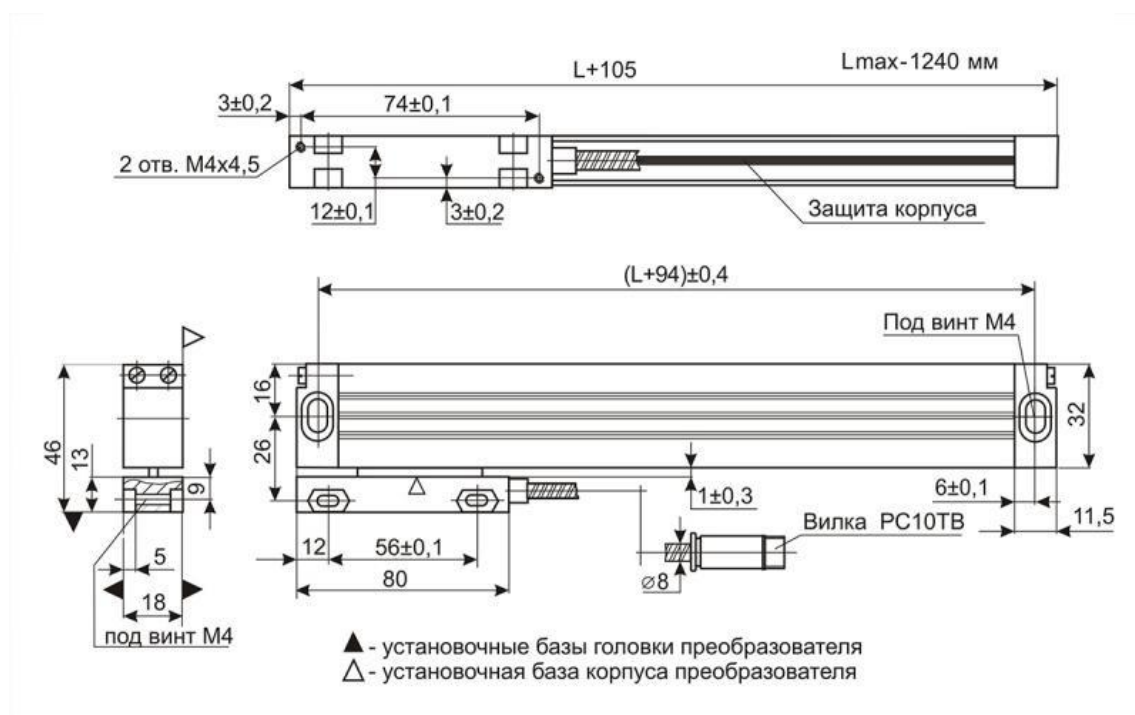


Рисунок 16 – Эскиз преобразователя линейных перемещений модели Лир-7М.

На рисунке 17 представлена схема работы оптического энкодера закрытого типа.

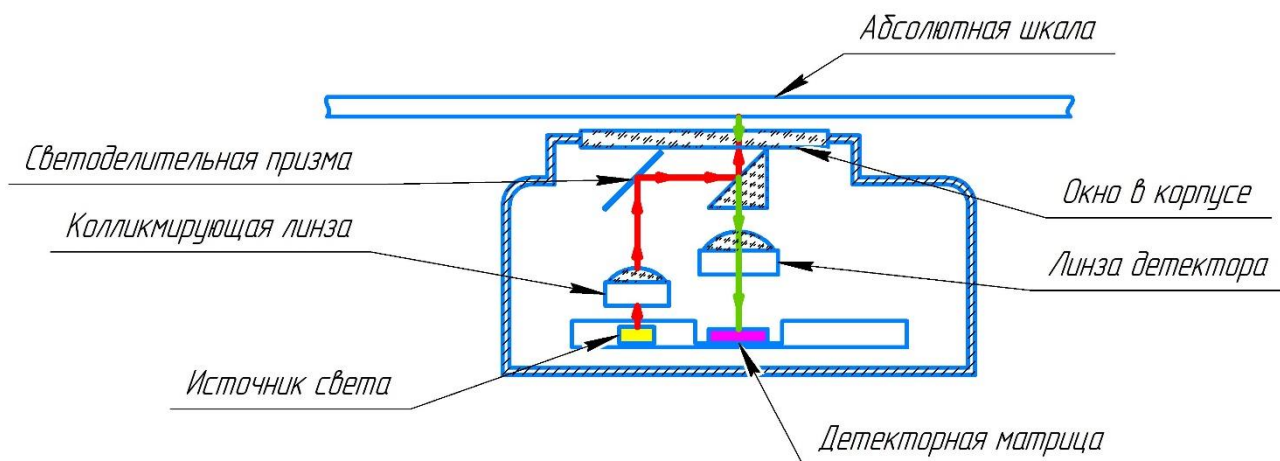


Рисунок 17 – Схема работы оптического энкодера закрытого типа

Для обработки цифрового сигнала применяется программное обеспечение ПО-23 электронного блока управления НИИК-801, с которым совместим в свою очередь программный пакет ТЕХНОкоорд™.

Данное программное обеспечение, ПО-23 является основным для базовой модификации, исследуемого прибора, которая имеет обозначение НИИК-2028Ф.

Программное обеспечение ТЕХНОкоорд™ (последняя известная мне актуальная версия 5.2 2020 года) устанавливается в отдельном системном блоке под управлением операционной системы WINDOWS (версий 7, 8, 10) и применяется для обработки и хранения данных, полученных при измерении деформаций [5].

С помощью этого программного обеспечения можно производить простейшие измерения, практически повторяющие приёмы работы существовавших ранее оптико-механических приборов, а также на основе цифровых вычислений производить ранее не доступные операции. В число которых входит возможность выявления на раннем этапе величины износа, отклонения от эталонной формы и биения многолезвийного инструмента, встроенная база инструмента, передача на станок данных о инструменте, а также возможность организации управления, передачи на склад и хранения

подготовленного инструмента с помощью баз данных при помощи распечатанных штрих кодов. И это позволяет вывести процесс подготовки инструмента на новый (более высокий) уровень.

Для измерения конструкции применяются различные схемы как основанные на экспортированной САD-модели, так и без неё. Поддерживаются САD-модели программ КОМПАС-3D, AutoCAD и других.

Для работы с прибором могут быть допущены лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста и специально подготовленные операторы 3-4-го разрядов имеющие квалификацию слесаря инструментальщика и ознакомившиеся с руководством по эксплуатации, прошедшие инструктаж по охране труда [9].

Прибор НИИК-2028ФК предназначен для работы в помещениях с отсутствием в воздухе примесей агрессивных газов, паров и пыли, при температуре 20 ± 5 °С. Давление воздуха в помещении должно быть в пределах 760 ± 30 миллиметров ртутного столба, влажность воздуха должна не превышать восьмидесяти процентов. Для защиты от поражения электрическим током к прибору в обязательном порядке подводится защитное заземление, а перед ним стелиться диэлектрический коврик из резины.

Для контроля и предварительной настройки прибор имеет специальную контрольную аттестованную оправку БВ-2027.00.001, выполненную с прецизионной точностью.

При установке контролируют чистоту посадочных поверхностей шпинделя и оправки. При этом перед работой в системном блоке запускается программа мастер калибровки камеры, с помощью которой проводится диагностика оптической головки, рассчитывается размер пикселя, настраивается подсветка, определяется цвет фона и цвет детали.

Искомые координаты режущей кромки оправки высвечиваются на экране монитора в соответствующих полях программы. Их значения должны соответствовать параметрам, обозначенным на аттестованной оправке.

Чтобы провести измерение выбранного инструмента, нужно предварительно закрепить его в шпинделе при необходимости применив соответствующее вспомогательное приспособление, запустить программу «стандартная оптическая схема», в окне программы нажать кнопку произвести измерение, навести камеру на измеряемый элемент с помощью маховиков каретки и траверсы, при этом вращая шпиндель для выявления крайнего положения, произвести захват кадра. При этом контур инструмента совмещают с перекрестием на экране согласно карты измерений. В левом нижнем углу окна программы в соответствующих полях появятся значения по осям X и Z, что соответствует параметрам вылета и диаметра инструмента. Полученные параметры можно сохранить сразу в предварительно заполненном файле отчёта или заполнить его позже.

Во время захвата кадра производится стабилизация изображения снижающая уровень шума сигнала и выделение контура [3]. Результатом является массив точек, образующих контур инструмента, с помощью которых будет проводиться анализ формы и размеров и данные которого сохраняются в базе данных программы после нажатия кнопки сохранить.

После получения данных измерений, они становятся доступными во вкладке «Расчёты на плоскости» программного обеспечения ТЕХНОкоорд™. В вкладке «открыть» выбираем файл с сохранёнными данными открываем его. Соответственно в окне появиться измеренный контур. Полученные данные инструмента анализируются и с их помощью можно произвести контроль размеров и параметров недоступные при других видах измерений.

Для прибора НИИК-2028ФК время на сборку комплекта (адаптер и концевая фреза) 0,6 минуты, установить, провести измерение внести распечатка бирки 0,7 минуты, снять разобрать комплект наклеить бирку на фрезу 0,7 минуты. Полученные данные по времени измерения согласуются с значениями общеотраслевого справочника по нормам времени на измерение полученные данные лучше справочных [2]. В итоге получаем две минуты на

комплект. С учётом времени на отдых и личные надобности оператор в час произведёт до 25 однотипных измерений или до 200 в рабочую смену.

За счёт того, что отклонение настроенных инструментальных комплектов известна и минимальна, замена изношенных и поломанных на станке будет проведена с минимальными потерями времени.

2.3 Определение аналогичных устройств других производителей

На основе анализа технических характеристик исследуемого объекта работы определяю некоторые аналогичные приборы других производителей. Определяющими факторами являются величины размеров измеряемого инструмента, модель конуса шпинделя, схожесть конструкции, функционал программного обеспечения, необходимое для размещения приборов пространство и параметры окружающей среды, параметры энергоснабжения.

Первым наиболее полным аналогом исследуемого мной объекта является предыдущая модель прибора НИИК-2028ФК, прибор размерной настройки инструмента сверлильной, фрезерной и расточной групп, НИИК-2027К [4].

Основное отличие от представленного выше проявляются в размере измеряемого диаметра равного 280 мм вместо 300 мм и более старой электронной базе. На пример вместо линейного преобразователя ЛИР-7М установлен преобразователь ЛИР-7, использующий другую элементную базу. А также более старое программное обеспечение. В остальном технические характеристики, паспорта и инструкции по эксплуатации практически идентичны.

Приборы других производителей начального уровня, к которому по характеристикам относится исследуемый прибор, имеют довольно серьёзные отличия по конструкции и программному обеспечению. По конструкции и компоновке наиболее близок пресеттер компании KELCH Kenova set line V224 [7]. Он имеет неподвижную вертикальную колонну, но горизонтальная

каретка установлена поперёк основания, а видеокамера размещена вдоль. Но он не подходит по диаметру измеряемого инструмента 200 мм.

По параметрам измеряемых габаритов инструмента и базирующим инструмент устройству из известных мне наиболее близок к исследуемому в работе прибору пресеттер M.CONTI PRIME итальянского производства [6].

Пресеттер M.CONTI PRIME конструктивно состоит из сваренного из стали и термообработанного основания, стоящего на тумбе, стальной вертикальной стойки, измерительной скобы с закреплённой на ней видеокамеры с светодиодной подсветкой, моноблочного компьютера, который совместно с видеокамерой и линейными измерителями выполняет функции измерительного устройства, процессора обработки полученных данных и вывода данных на экран.

Прибор оснащён закалёнными направляющими, размещённым внутри корпусов основания и вертикальной стойки по которым вертикальная стойка и измерительная скоба перемещаются на шарикоподшипниках. Линейные преобразователи смонтированы на направляющих, настроечные винты линейных перемещений смонтированы также в корпусах стойки и основания прибора.

Как стойка, так и измерительная скоба имеют возможность быстрого перемещения без необходимости вращения маховиков винтов. После быстрого перемещения видеокамера для совмещения визирных линий с контуром инструмента подстраивается винтами.

Внешний вид показан на рисунке 18.

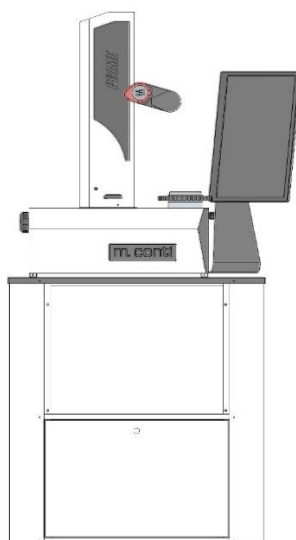


Рисунок 18 – Эскиз прибора размерной настройки инструмента M.CONTI PRIME

У пресеттера M.CONTI PRIME конструкция шпинделя, позволяет проводить измерения инструментальных комплектов с конусами ISO-BT (AT5 конус 50), высокоскоростным HSK и CAPTO с помощью сменных инструментальных втулок с контрольной насечкой. Причём втулки - это сменные шпиндели прибора. Технические характеристики прибора предварительной настройки инструмента M.CONTI PRIME представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики прибора размерной настройки режущего инструмента вне станка M.CONTI PRIME

Характеристика	Величина, размер, параметр
Диапазон измерений ось X (диаметр)	300 мм
Диапазон измерений ось Z	400 мм
Блокировка осей	Ручная
Количество направлений. Z	1
Количество направлений. X	1
Плоскостность Z и X	0,005 мм
Точность измерений X/Z	0,001 мм

Продолжение таблицы 10

Характеристика	Величина, размер, параметр
Монитор	19" «вертикальный»
Разрешение экрана	1280 x 738
Программное обеспечение	CVS SMART
Площадь изображения	5 x 5 мм
Кратность увеличения	40x
Установка прибора на нуль	Контрольная метка
Сеть	LAN/WI FI
USB ports/HUB	5 port
Операционная система	Windows 10
Post Processor	Опционально
Ячейки памяти точек начала координат	50
Ячейки памяти наименований инструмента	5000
Система блокировки	Не доступно
Напряжение питания	110 / 230V
Тумба-основание	В комплекте
Вес нетто (без тумбы основания)	90 кг

Программное обеспечение прибора размерной настройки режущего инструмента вне станка M.CONTI PRIME является разработкой специалистов компании и функционально оно схоже с ПО «ТЕХНОкоорд™».

С помощью программного обеспечения «Conti Vision Systems SMART™» можно провести юстировку прибора, провести измерение инструмента по предварительно загруженному шаблону проводить настройку инструмента на основе загруженных данных (точек начала координат) для до пятидесяти единиц оборудования предприятия. При этом опционально при загрузке дополнительного модуля можно сразу готовить данные для постпроцессоров станков, не прибегая к дополнительной обработке данных измерений вне прибора. Прибор оснащён интерфейсами LAN и WI-FI сети интернет, что позволяет обмениваться данными о настроенном инструменте с

складами накопителями и станочным парком, производить удалённое обслуживание программного обеспечения прибора (обновление и замена шаблонов инструмента). С помощью USB портов производится сохранение данных на внешние носители, создание резервных копий, подключение принтера этикеток поставляемого совместно с прибором. На рисунке 19 изображён интерфейс пресеттера, выводимый на экран монитора во время измерений с обозначением полей

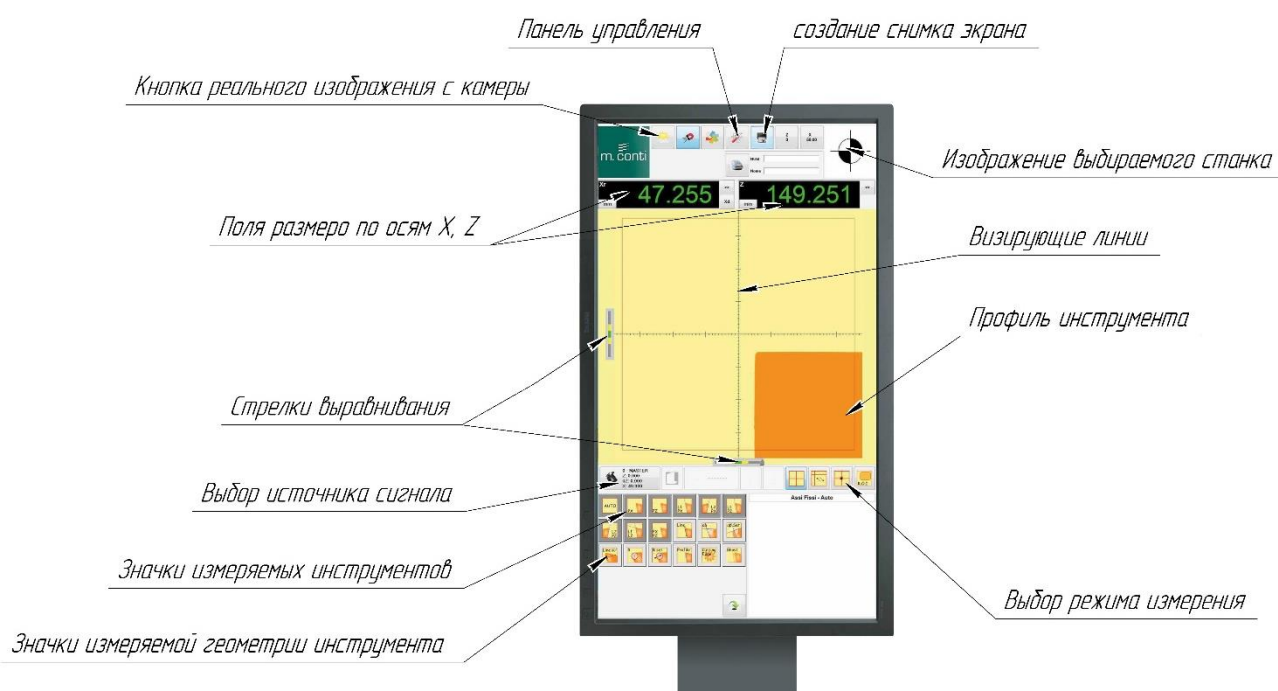


Рисунок 19 – Интерфейс прибора предварительной настройки инструмента M.CONTI PRIME

Прибор должен быть установлен в закрытом помещении с отсутствием в воздухе примесей агрессивных газов, паров и пыли. Помещения должны быть оборудованы приборами освещения, коммуникациями связи, накопителями инструмента и иметь достаточно большие проходы для перемещения персонала и грузов. Разрешённая температура воздуха для работы находится в пределах от $+5^{\circ}$ до $+30^{\circ}$ по Цельсию. Для работы с

прибором так же требуется подготовленный персонал, прошедший обучение и инструктаж.

Время, затрачиваемое на проведение измерения и настройку, по данным производителя, инструментальных комплектов в среднем равно 1,3 минуты без учёта времени на распечатку этикетки.

Ещё один аналог по измеряемым размерам и по базирующему устройству прибора НИИК-2028ФК представлен компанией немецкой ZOLLER. Марка прибора SmileCompact™ [8]. Конструкция машины разработана специально для установки в производственном помещении, а также непосредственно рядом со станком с ЧПУ. Внешний вид прибора представлен на рисунке 20.



Рисунок 20 – Внешний вид прибора размерной настройки

Приборы линейки Smile Compact™ имеют конструкцию подобную конструкции прибора M.CONTI PRIME™. Применено такое же конструкторское решение в виде сварного основания и вертикальной стойки, рамки с видеокамерой C-MOS и подсветкой. Но в отличии от пресеттера M.CONTI PRIME наружная облицовка выполнена штампованными панелями. Моноблочный компьютер соединён с основанием посредством профиля,

выполняющего функцию кабель-канала и соединённым с площадкой под принтер и держателем монитора ПК.

Внутри корпуса основания и вертикальной стойки размещены закалённые направляющие ТНК™ для движения на шарикоподшипниках вертикальной стойки и рамки видеокамеры, фрикционные приводы Uhing™ линейные преобразователи HEIDENHAIN™, пневматические зажимы производства BOSCH направляющих и вакуумный зажим шпинделя с возможностью фиксации его в четырёх положениях под углом в девяносто градусов, и управляемого с мембранной панели. Шпиндель SK 50 с встроенной калибровочной сферой, в комплекте к нему поставляются набор адаптеров SK 50 шести видов, HSK A/C/E-B/D/F, VDI и серия Coromant Capto все размеры, которых внесены в программное обеспечение пресеттера.

Благодаря применению закалённых направляющих с подшипниками и пневматических зажимов наведение на измеряемый контур производится одной рукой с помощью рукоятки с кнопкой, отключающей пневмо зажимы. Поэтому для работы этого прибора дополнительно необходим подвод воздуха. Точная настройка в разных модификациях осуществляется с помощью маховиков фрикционных приводов или системы с ЧПУ которая через фрикционные приводы обеспечивает точную настройку осей Z, X в автоматическом режиме.

Технические характеристики прибора размерной настройки режущего инструмента вне станка Smile Compact™ приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические характеристики прибора размерной настройки режущего инструмента вне станка SmileCompact™

Характеристика	Значение
Макс. длина инструмента в оси Z	350 мм
Диапазон измерения по оси X	160 мм
Макс. диаметр инструмента	320 мм

Продолжение таблицы 11

Характеристика	Значение
Отображение осей (точность)	0,001 мм
Точность (воспроизводимость)	2 мкм
Оси	2 оси линейного перемещения (продольная ось Z, поперечная ось X)
Тип камеры	Камера проходящего света
Поле обзора	6,4 x 5,8 мм
Рабочее расстояние	100 мм
Тип матрицы камеры	1/3" CCD, монохромная
Освещение режущей кромки	12 красных светодиодов
Переменный ток	100 - 120 / 200 - 240 В~
Соединение	Розетка с контактом защитного заземления
Мощность	600 ВА
Частота	50/60 Гц
Защитное устройство	Автоматический выключатель 6 А (с защитой от перегрева)
Давление воздуха на входе	6 - 8 бар
Рабочее давление пневматического оборудования	6,0 бар
Качество сжатого воздуха	Сухой воздух, незначительное содержание масла
Температура окружающей среды во время эксплуатации	5 °С - 35 °С
Относительная влажность во время эксплуатации	5 % - 90 % (без конденсата)
Условия эксплуатации	Внутри помещения
Уровень шума по стандарту DIN EN ISO 1683:2015-09.	В рабочем режиме - меньше 45 дБ. При включении принтера, в случае дополнительной комплектации, уровень шума незначительно повышается до 53 дБ максимум,
Вес без стола	80 кг (без аксессуаров и дополнительного оборудования)
Вес со столом	165 кг (без аксессуаров и дополнительного оборудования)

Полученные сигналы с линейных преобразователей и видеокамеры поступают в моноблочный ПК под управлением ОС WINDOWS 10 Pro в

которой установлено приложение «pilot Starter™». Сенсорный дисплей монитора имеет диагональ 13 дюймов разрешение 1,920 × 1,080 пикселей при частоте 60 Гц.

Программное обеспечение pilot Starter™ (предыдущее название pilot 1,0) имеет интуитивно понятный интерфейс по простоте использования схожий с приложениями мобильной операционной системы андроид.

Основные подпрограммы системы обработки изображений «pilot Starter» фирмы "ZOLLER" а также все стандартные измерения, такие как продольный и поперечный размер, радиус, угол, а также радиальное и торцевое биение выбираются и выполняются простым нажатием иконки на сенсорном экране. Также для определения эффективных размеров инструмента в программу включены следующие стандартные функции: проектор, инспекция режущей кромки и «cris360°» (наложение контура кромок при вращении применяется для свёрл, концевых фрез и другого подобного инструмента).

На рисунке 21 изображён интерфейс программы pilot Starter™ во время проведения измерения.

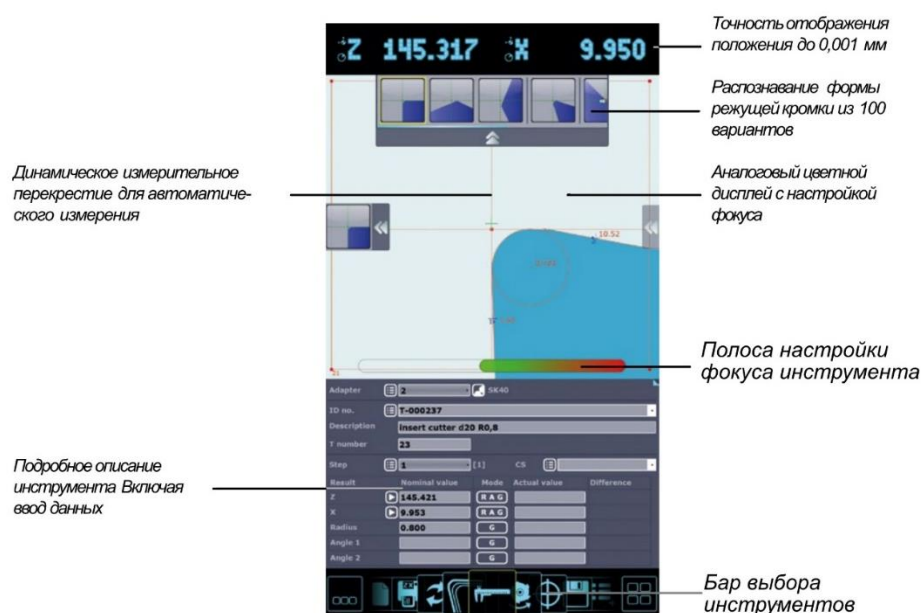


Рисунок 21 – Интерфейс программы pilot Starter™ компании ZOLLER во время измерения

Процесс измерения инструмента показан на примере концевой фрезы. Перед началом работы с прибором проверяем его исправность, чистоту сопрягаемых поверхностей адаптера инструмента и шпинделя прибора. Устанавливаем адаптер с фрезой в шпиндель активируем на время измерения вакуумный зажим (в режиме вращения) для более плотной посадки инструментального комплекта в шпинделе. В меню бара выбора инструментов программы выбираем иконку списка часто используемых инструментов. В появившемся окне списка выбираем иконку концевой фрезы при этом запускается макропрограмма измерения. В специальном поле меню выбираем из списка установленный адаптер активируем его выбор на дисплее кнопкой ОК, а после подтверждаем выбор кнопкой ОК. В окне программы внизу появляется изображение выбранного инструмента на красном фоне. С помощью рукоятки быстрых перемещений наводим камеру так чтобы на экране в поле зрения камеры появились режущие кромки при этом в нижней части экрана фон изображения выбранного инструмента должен окраситься зелёным. Сразу после этого с поворачиваем шпиндель на 360° и нажимаем кнопку ОК на дисплее. Измерение завершено, в низу под окном с контуром фрезы появляется окно с полями размеров по оси X оси Z величин допусков настроечных размеров, радиального и торцевого биения. Измеренные данные автоматически заносятся в базу данных. Вид на экране после проведения измерения показан на рисунке 22.

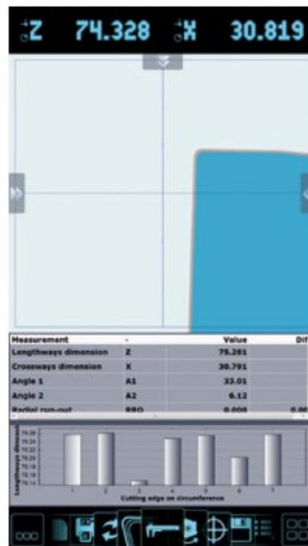


Рисунок 22 – Интерфейс программы pilot Starter™ компании ZOLLER после измерения

За счёт хорошо продуманной эргономики и применения специально разработанных тумб для хранения адаптеров время, затрачиваемое на проведение установку инструментального комплекта равно в пределах от двадцати секунд (калибры и лекала) до одной минуты (в случае сложной геометрической формы). Время на проведение измерения и настройки от тридцати секунд до 1,5 минут. Снятие образца с прибора во всех случаях в пределах 0,25 минуты. Печать наклейки этикетки идёт во время снятия инструмента с прибора (если эта функция включена в настройках ПО и её не надо включать отдельно). Суммируя всё выше перечисленное, время на подготовку к работе одного инструментального комплекта лежит в пределах 1,05 до 2,75 минуты, что является очень хорошим результатом.

Поскольку прибор изготавливается в защищённом исполнении ему не требуются особые помещения, но необходимо хорошо продуманное размещение внутри цеха с хорошим доступом для цехового транспорта, достаточным освещением рабочей зоны, подводом электроэнергии и защитного заземления, сжатого воздуха, кабелей связи локальной сети предприятия.

Персонал для работы с прибором предварительной настройки режущего инструмента вне станка Smile Compact™ должен пройти подготовку. Которая включает в себя инструктаж по технике безопасности, изучение инструкции по эксплуатации, изучение методики проведения измерений.

2.4 Недостатки и достоинства выбранного средства контроля

Сравнение будет проходить по следующим категориям:

- конструкция прибора;
- программное обеспечение;
- эргономика работы;
- экономическая эффективность применения.

Начинаем с конструкции приборов. Первое что необходимо отметить – это то, что прибор НИИК-2028ФК по конструкции и компоновке аналогичен только для приборов производства промышленного холдинга «ЧЕЛЯБИНСКИЙ ИНСТРУМЕНТ». Это серия БВ-2013, БВ-2015, БВ-2017 и так далее [1]. У других производителей такой компоновки практически не встречается. Наиболее близкая компоновка у пресеттера компании KELCH Kenova set line V224 так же, как и НИИК-2028ФК имеет неподвижную вертикальную колонну, но горизонтальная каретка установлена поперёк основания, а видеочамера размещена вдоль, при этом у пресеттера компании KELCH Kenova set line V224 значительно сократилась номенклатура измеряемого инструмента по диаметру (до 200 мм).

Такая компоновка прибора предварительной настройки режущего инструмента вне станка НИИК-2028ФК при применённых материалах (чугунное литьё) значительно увеличивает жёсткость конструкции в вертикальной плоскости по оси Z. Но всё же применение горизонтальной каретки повышает риск появления прогиба при износе их направляющей по вертикали, но, при испытываемых нагрузках вероятность этого низка.

Самый большой недостаток и достоинство конструкции пресеттера НИИК-2028ФК - это его большая масса, которая даёт большую устойчивость, и которая значительно усложняет монтаж на выбранном месте, требует предварительной подготовки полов с установкой анкерных болтов или антивибрационных опор.

Ещё один небольшой недостаток – это отсутствие у рассматриваемого прибора такой функции как быстрое перемещение визирующего устройства одной рукой, которая есть у пресеттеров M.CONTI PRIME™, smile Compact. Это не мешает при работе с однотипными инструментами в малом размерном диапазоне, но значительно увеличивает время на настройку если номенклатура инструмента большая, а приборов на рабочем участке мало.

Использование открытых не защищённых направляющих, а у приборов M.CONTI PRIME™ и Smile Compact™ они закрыты сальфонами, не позволяет размещать прибор НИИК-2028ФК рядом со станками в одном помещении это увеличивает расходы при монтаже (строительство или выделение отдельного помещения) и время на транспортировку инструмента к месту размещения прибора.

Применение в приборах предварительной настройки режущего инструмента вне станка подвижной вертикальной колонны снижает массу, упрощает всю конструкцию прибора, но и требует более качественного исполнения направляющих и блокирующих перемещение устройств.

По конструкции базирующих устройств приборов есть положительные моменты так и отрицательные. На пример конструкция шпинделя M.CONTI PRIME™ – это втулка с внутренним конусом различных конструкций, изготовленная с прецизионной точностью, являясь внутренней обоймой шарикоподшипника, и позволяет полностью вынимать её из подшипника при замене адаптера и инструмента. Это повышает риск попадания загрязнений в зону качения подшипника и как следствие появляется риск увеличения погрешностей при измерении. В плане надёжности, по моему мнению, это минус. Соответственно этот прибор требует, как и прибор НИИК-2028ФК

отдельного помещения. Конструкции шпинделей других рассматриваемых приборов не съёмные и закрыты от попадания в зону подшипника загрязнений.

Программное обеспечение всех рассматриваемых приборов предварительной настройки режущего инструмента вне станка позволяет проводить быстрое измерение режущих кромок по двум осям и проверку на биение. Но в силу того, что ПО «ТЕХНОкоорд™» разработано как универсальное, под приборы различных конструкций, переход из одного режима в другой требует большего количества действий.

Программные продукты pilot Starter™ и CVS SMART™ полностью все операции проводят в автоматизированном режиме, участие оператора требуется только в выборе режима измерения и ввода начальных параметров адаптеров и инструмента.

Все используемое ПО приборов имеет возможность создания отчётов, распечатки этикеток, передачи данных о измеренном инструменте, а также создания резервных копий данных, интеграции в локальную сеть предприятия.

Далее рассмотрим удобство работы с приборами. В плане эргономики прибор предварительной настройки инструмента вне станка НИИК-2028ФК проигрывает своим оппонентам по удобству наведения визирующей камеры, длине передвижения человека в рабочей зоне во время измерения и переустановки инструмента. Это происходит из-за того, что системный блок с монитором стоит на отдельном столе и оператору приходится постоянно передвигаться от стола с органами управления компьютером к прибору, маховикам винтов настройки.

У пресеттеров M.CONTI PRIME™ и Smile Compact™ блоки управления измерениями находятся в зоне прямого доступа с места оператора и отлично видны. Оператору не нужно перемещаться в пространстве и переводить взгляд с экрана монитора на маховики подстройки или рукоятку быстрой настройки во время измерения. Дополнительно у этих приборов экраны мониторов с

сенсорным вводом данных, следовательно, отпадает необходимость в оптической мыши и клавиатуре. Это экономит секунды, но при накопительном эффекте это существенная экономия рабочего времени.

У прибора Smile Compact™ в под приборной тумбе устроены гнёзда для часто используемых адаптеров. Дополнительно в основном комплекте поставки есть специальная тумба тележка для хранения и перемещения адаптеров и измеряемого инструмента которая легко устанавливается около прибора в шаговой доступности. Для прибора M.CONTI PRIME™ в комплекте поставки такие тумбы предусмотрены только как опция.

Приборы позволяют поднять производительность станка в среднем до двенадцати процентов за счёт снижения затрат времени на настройку положения инструмента относительно детали. Их окупаемость на прямую зависит от загруженности основного производства.

По цене покупки новые приборы ранжируются следующим образом. Самая низкая цена у прибора НИИК-2028ФК около 200 тысяч рублей, в зависимости от поставщика и расходов на логистику и монтаж она может вырасти в пределах до восьмидесяти процентов. Приборы компаний ZOLLER и M.CONTI находятся в одном ценовом диапазоне их стоимость в базовых комплектациях начинается от 500 тысяч рублей с учётом логистики цена может подняться в два и более раз. Им всем необходимо подвести электроснабжение, связь Ethernet, а для Smile Compact™ сжатый воздух. Учитывая, что при покупке прибора НИИК-2028ФК необходимо подготовить помещение оборудовать коммуникации связи и докупить адаптеры переходники, купить или изготовить оборудование для временного хранения инструмента конечная цена его для предприятия сравнивается с ценами на базовые комплектации рассматриваемых аналогов.

Время окупаемости при равных условиях будет ниже у того прибора у которого будет наименьшее затрачиваемое время измерения и настройку инструмента. Проанализировав доступные данные можно прийти к выводу,

что наилучшими характеристиками по параметру время измерения и настройки обладает прибор Smile Compact™.

В разделе проведен анализ конструкций, программного обеспечения и методов измерения. Выявлены преимущества и недостатки приборов. Получен опыт общения с организацией разработчиком прибора НИИК-2028ФК по сети интернет посредством электронной почты. На основе информации доступной в сети интернет, технической литературе и в научных периодических изданиях можно сделать некоторые выводы.

Первый вывод состоит в том, что разработчики оборудования за редким исключением не готовы либо не желают вести общение со студентами кроме как в рамках обучения работе с уже приобретённым оборудованием их фирм. Во всех материалах доступных в сети предоставленных разработчиками для рекламы своего оборудования только общая информация, не дающая полного понимания ни о конструкции, ни о методиках работы с ним. Эту информацию можно найти на закрытых онлайн презентациях, проводимых продавцами совместно с производителями или через научные публикации авторов, работающих в этих учреждениях и фирмах.

Второй вывод появился в результате изучения конструкций приборов и состоит в том, что, несмотря на все разнообразие материалов, применяемых при их изготовлении (применяют даже гранит в приборах компании NIKKEN) компоновка у них практически одна. Это основание с подвижной по горизонтали вертикальной стойкой с размещённой подвижной кареткой, на которой в свою очередь размещена видеокамера или устройство для контактных или оптических измерений.

И только два изученных прибора имеют другую компоновку, но при этом функционально они не в чём не уступают. Это прибор НИИК-2028ФК и прибор компании Kelch GmbH KENOVA set Line V224.

Аппаратное оборудование и программное обеспечение приборов также идентично у всех рассматриваемых устройств, что объяснимо сходством принципов работы и методов измерения.

Третий вывод вытекает из анализа применения приборов различными предприятиями. В виду того, что настройка занимает значительное время, до двадцати процентов от рабочего времени. Применение приборов экономически оправданно даже на малых и средних предприятиях. Единственное замечание, для малых предприятий экономически целесообразнее применять приборы с контактным методом измерения. Они дешевле и по цене, и в обслуживании.

3 Разработка математической модели деформируемого барьера

Для проведения расчётов на боковой удар по Правилу 95 ЕЭК ООН и Директиве 96/27/ЕС описывающим динамическое соударение автомобиля с подвижным деформируемым барьером, была создана, конечно-элементная модель деформируемого барьера.

Для получения наиболее точного расчёта бокового удара по Правилу 95 необходимо получить модель движущего деформируемого барьера, которая, имея небольшую размерность и простоту конструкции, может быть достаточно точно валидирована.

При создании модели использовались рекомендации ведущих специалистов по моделированию и расчётам в LS-DYNA, была учтена информация, полученная от специалистов фирмы «Opel».

Конечно-элементная модель движущегося деформируемого барьера полностью повторяет массовые и геометрические свойства реального барьера и ударника. Жесткостные свойства блоков ударника были получены путём подбора характеристик, скопированных с реальной геометрии слоёв сотовых структур.

Характеристики движущегося барьера.

Общая масса 950 ± 20 кг;

Колея передних и задних колёс 1500 ± 10 мм;

Колёсная база 3000 ± 10 мм;

Центр тяжести должен располагаться в плоскости симметрии с допуском 10 мм, координата на продольной оси 1000 ± 30 мм и на расстоянии 500 ± 30 мм от земли;

Расстояние между передней поверхностью барьера и центром тяжести должно быть 2000 ± 30 мм.

Внешний вид модели барьера представлен на рисунке 23.

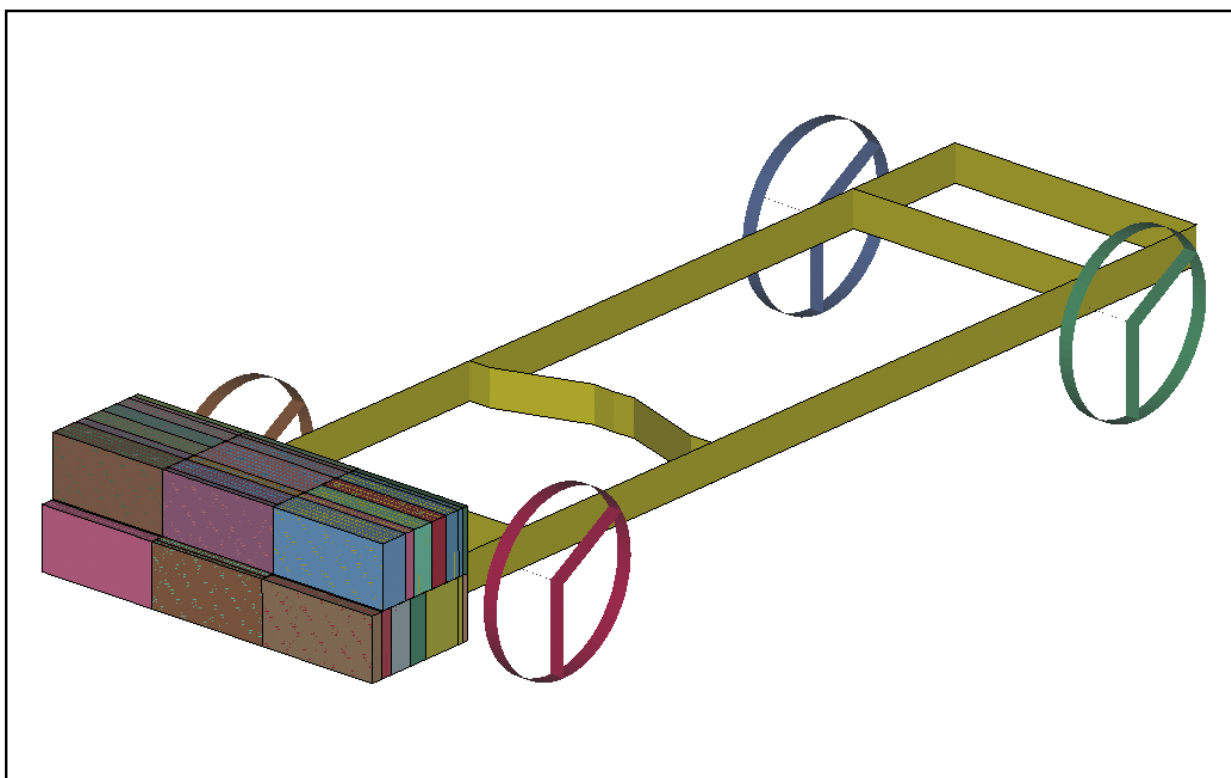


Рисунок 23 – Внешний вид модели движущегося деформируемого барьера

Геометрические характеристики деформируемого ударника.

Ударник состоит из шести объединённых блоков форма, размеры и расположение представлены на рисунке 23.

Деформируемая зона ударника должна быть 1500 ± 10 мм в ширину и 500 ± 5 мм в высоту.

Расстояние между ударником и землёй 300 ± 5 мм (выставляется в статике до удара).

Должно быть шесть деформируемых элементов расположенных в два ряда по три элемента в каждом. Все элементы должны быть 500 ± 5 мм в длину, 250 ± 3 мм высоту, ширина верхних элементов 440 ± 5 мм, нижних 500 ± 5 мм.

Материал ударника.

Ударная часть состоит из шести отдельных алюминиевых блоков сотовой конструкции, сформированных таким образом, чтобы в результате получить прогрессивно увеличивающийся уровень силы при возрастании деформации. Спереди и сзади к алюминиевым сотовым блокам прикреплены алюминиевые пластины.

Скорость для проведения сертификации движущегося деформируемого барьера должна быть 35 ± 0.5 км/ч.

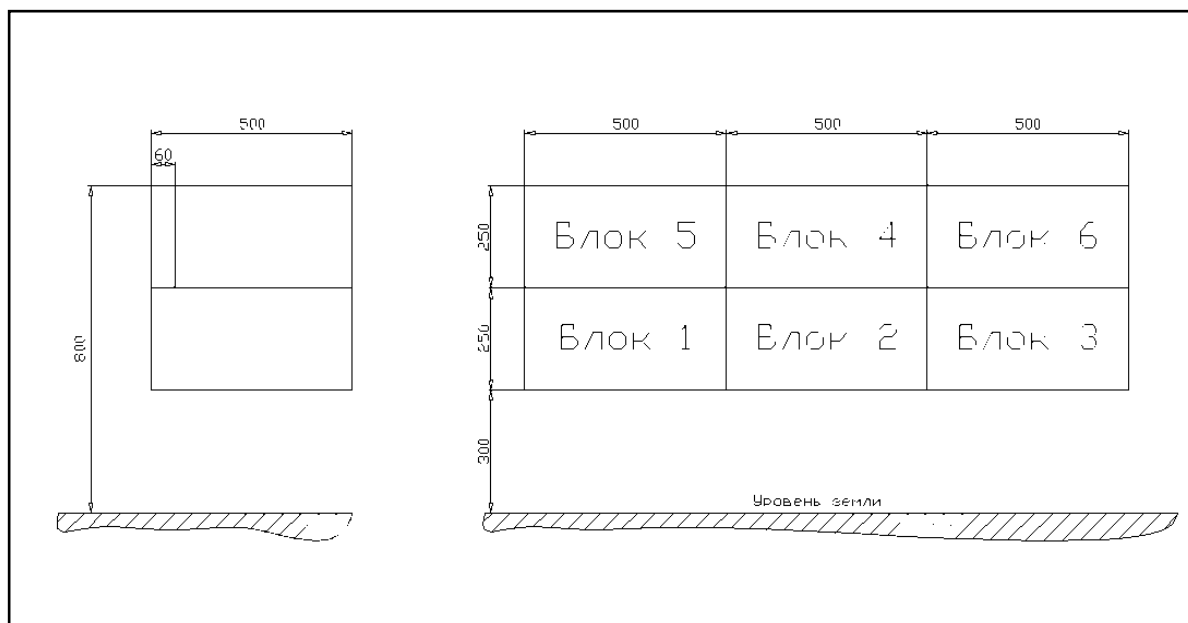


Рисунок 24 – Геометрические характеристики ударника подвижного деформируемого барьера (размеры в мм)

Для проверки модели подвижного деформируемого барьера был проведен расчёт имитирующий реальные испытания.

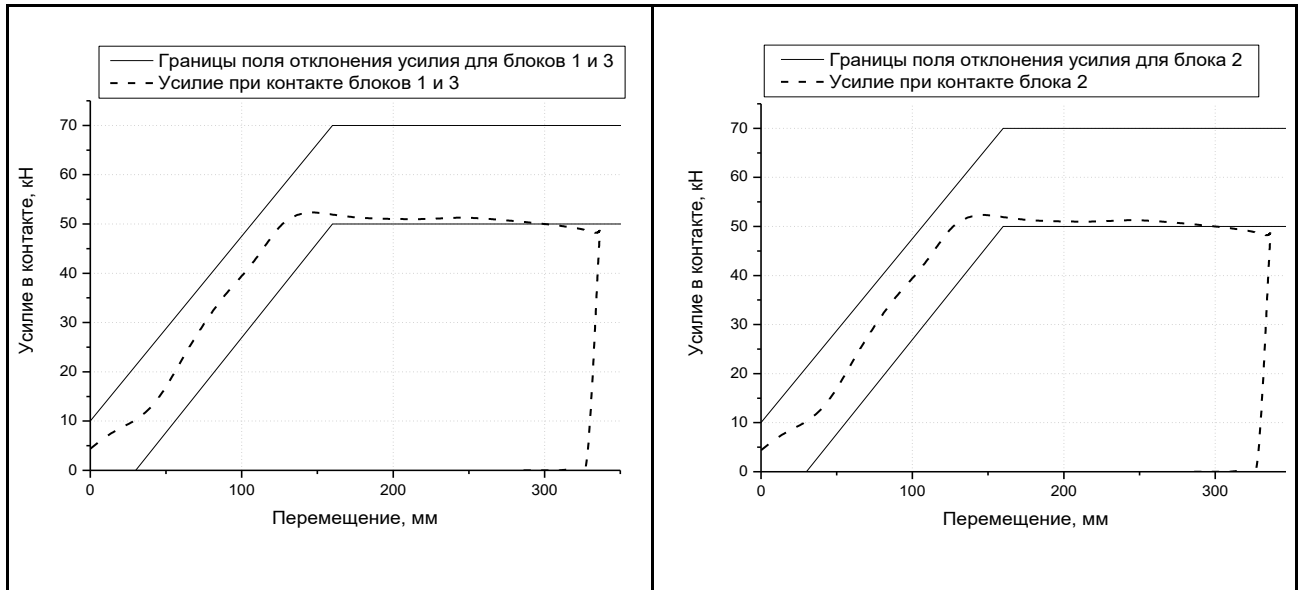
Жесткая стенка представлена в виде шести прямоугольников, каждый из которых расположен напротив одного из блоков деформируемого барьера.

Усилия, возникающие при сминании блоков, выводились из шести контактных пар. Результаты были отфильтрованы (ISO 6487/1987 CFC 60 Гц) и представлены на рисунках 24 и 25.

Значения энергии деформации блоков ударника показаны на рисунках 26 и 27.

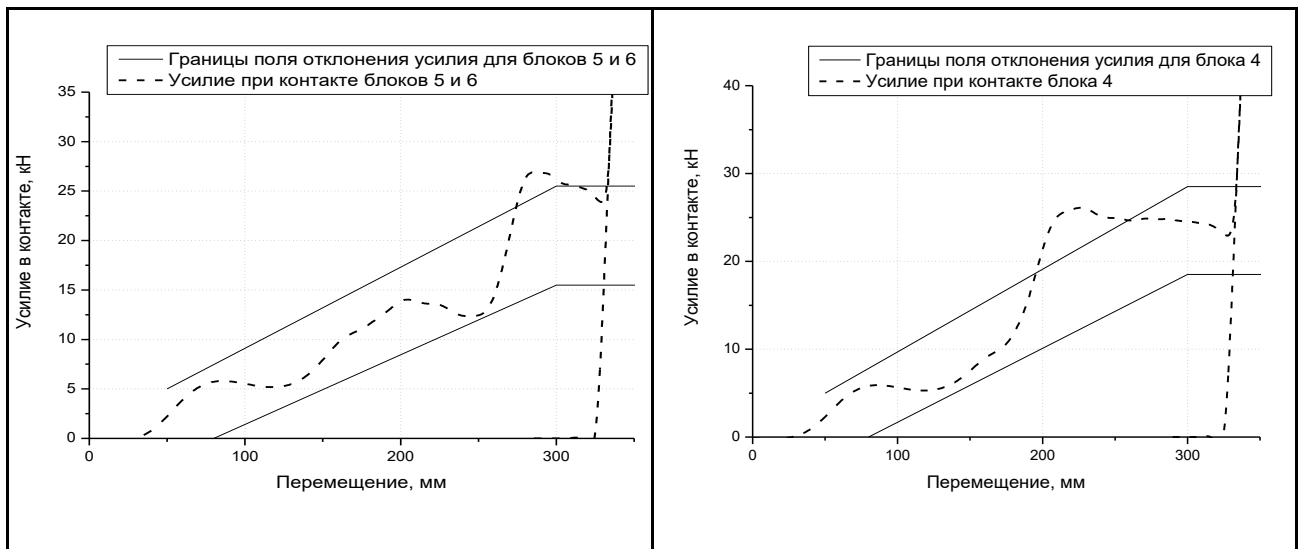
Как видно из представленных графиков жесткости блоков модели деформируемого ударника полностью удовлетворяют требованиям Директивы 96/27/ЕС от 20.05.96 г., имеющиеся отклонения не превышают допустимого значения 50% от ближайшего значения границы поля отклонения усилия.

Модель ударника полностью удовлетворяет требованиям по энергии деформации.



а) для блоков ударника №№ 1 и 3

б) для блока ударника № 2



в) для блоков ударника №№ 5 и 6

г) для блока ударника № 4

Рисунок 25 – Границы поля отклонения усилия смятия и усилие в контакте, полученное в результате моделирования динамического испытания для отдельных блоков подвижного деформируемого барьера

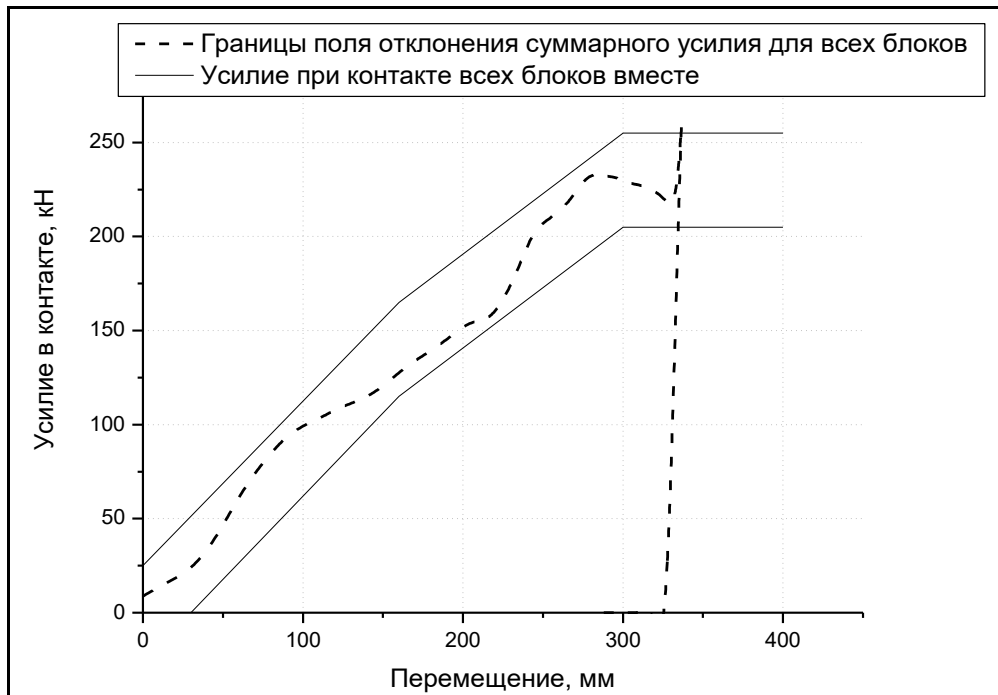


Рисунок 26 – Границы поля отклонения усилия смятия и усилие в контакте, полученное в результате моделирования динамического испытания подвижного деформируемого барьера для всех блоков ударника вместе

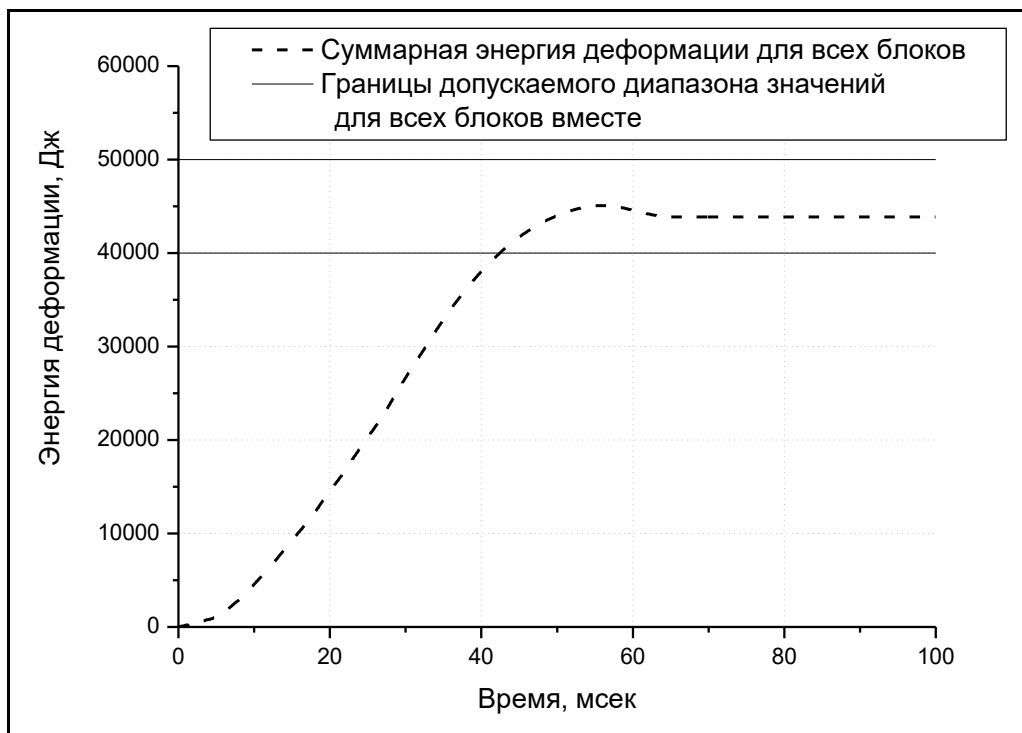
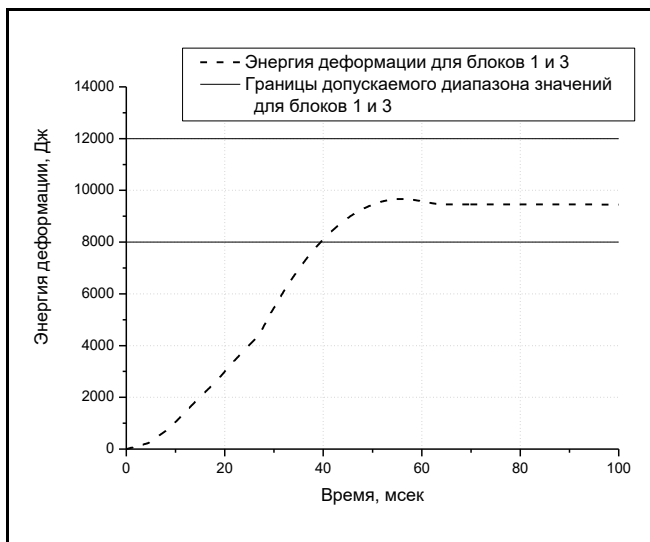
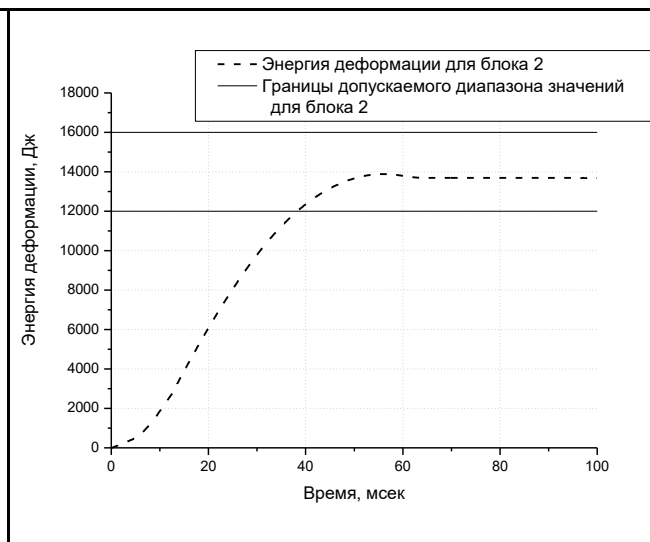


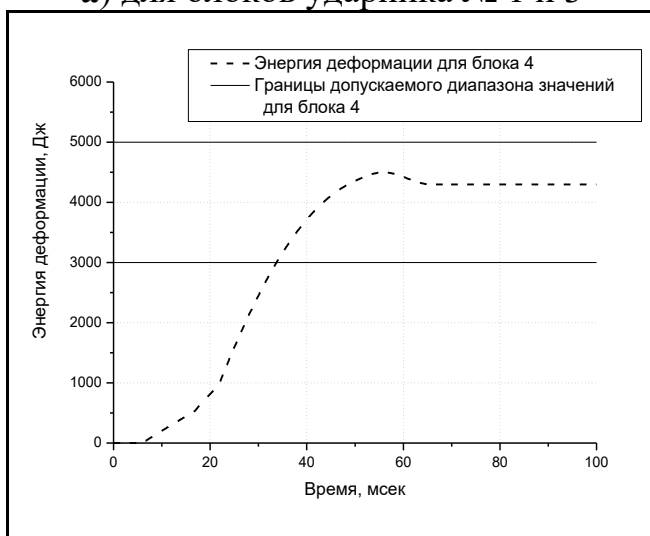
Рисунок 27 – Границы поля отклонения и значение энергии деформации, полученное в результате моделирования динамического испытания подвижного деформируемого барьера для всех блоков ударника вместе



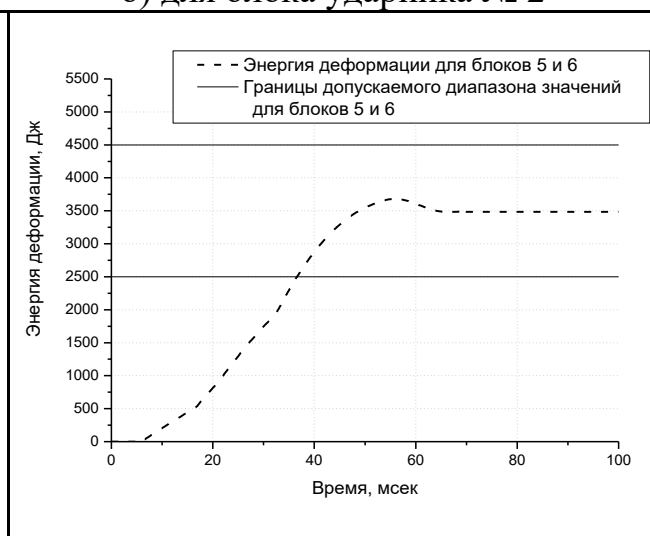
а) для блоков ударника № 1 и 3



б) для блока ударника № 2



в) для блока ударника № 4



г) для блоков ударника № 5 и 6

Рисунок 28 – Границы поля отклонения и значение энергии деформации, полученное в результате моделирования динамического испытания для отдельных блоков подвижного деформируемого барьера

Проведение расчётов бокового удара автомобиля движущимся деформируемым барьером требует больших затрат, как в плане трудозатрат на создание модели автомобиля, так и в плане времени проведения расчёта. Так, например, машинное время для проведения одного расчёта одного варианта модели ВАЗ 2123 составляет 127 часов.

Поэтому при планировании расчётных работ следует понимать, для того чтобы добиться полной валидации модели с экспериментом необходимо такое количество времени, по прошествии которого модель автомобиля может быть уже запущена в производство.

Важно определить наиболее влиятельные конструктивные параметры, оперируя значениями которых, можно довести конструкцию автомобиля по пассивной безопасности.

Ниже приведен пример первого расчёта автомобиля ВАЗ 2123 по Правилу №95.

В расчетной КЭМ были установлены модели датчиков виброускорений в те места, в которые установлены датчики при проведении эксперимента. Внешний вид модели автомобиля и движущегося деформируемого барьера представлен на рисунке 29.

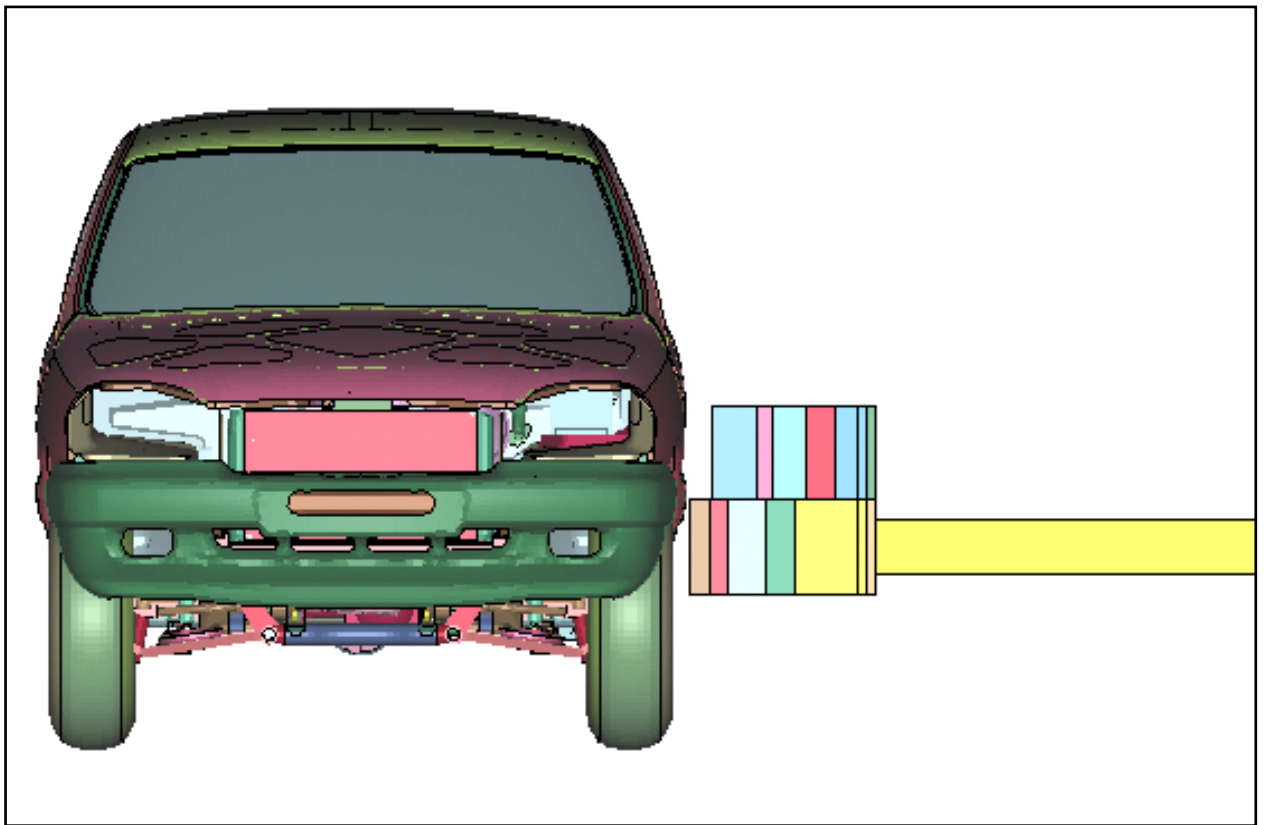


Рисунок 29 – Внешний вид модели автомобиля и движущегося деформируемого барьера

Расположение датчиков виброускорений и их идентификация показано на рисунках 30 и 31.

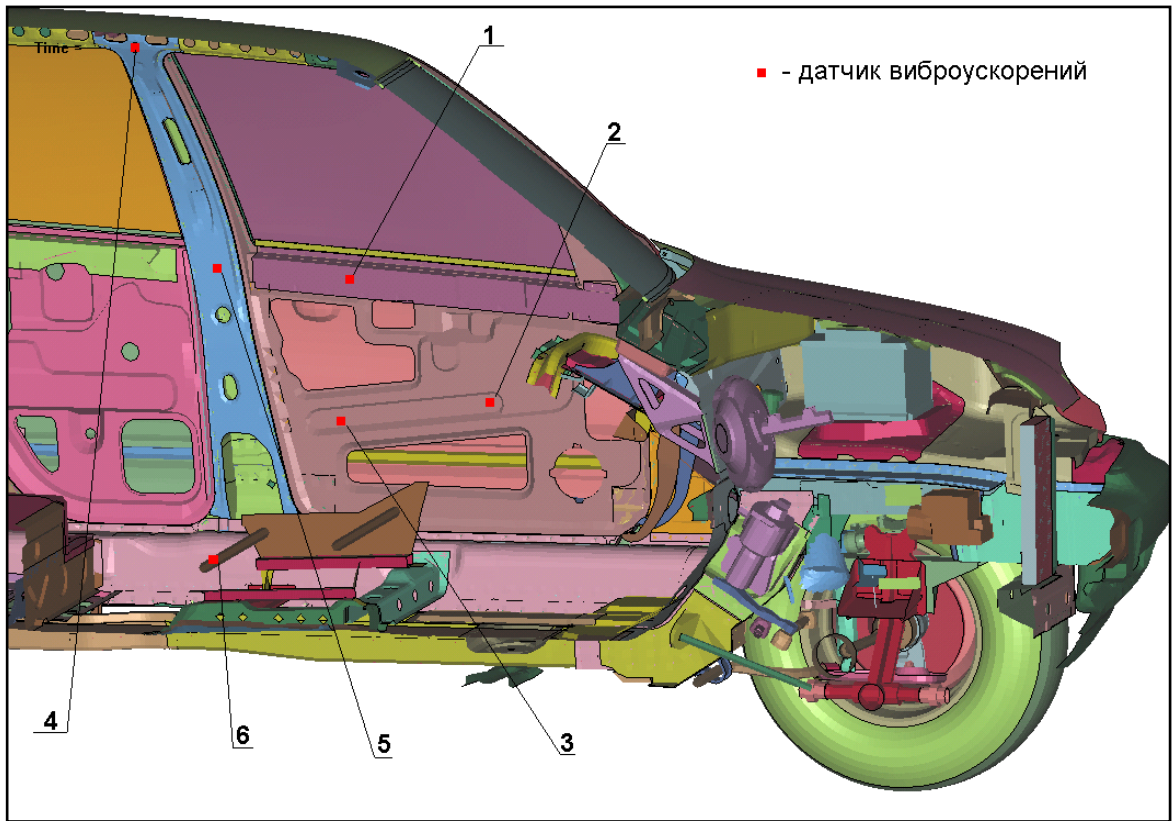


Рисунок 30 – Места расположения датчиков виброускорений

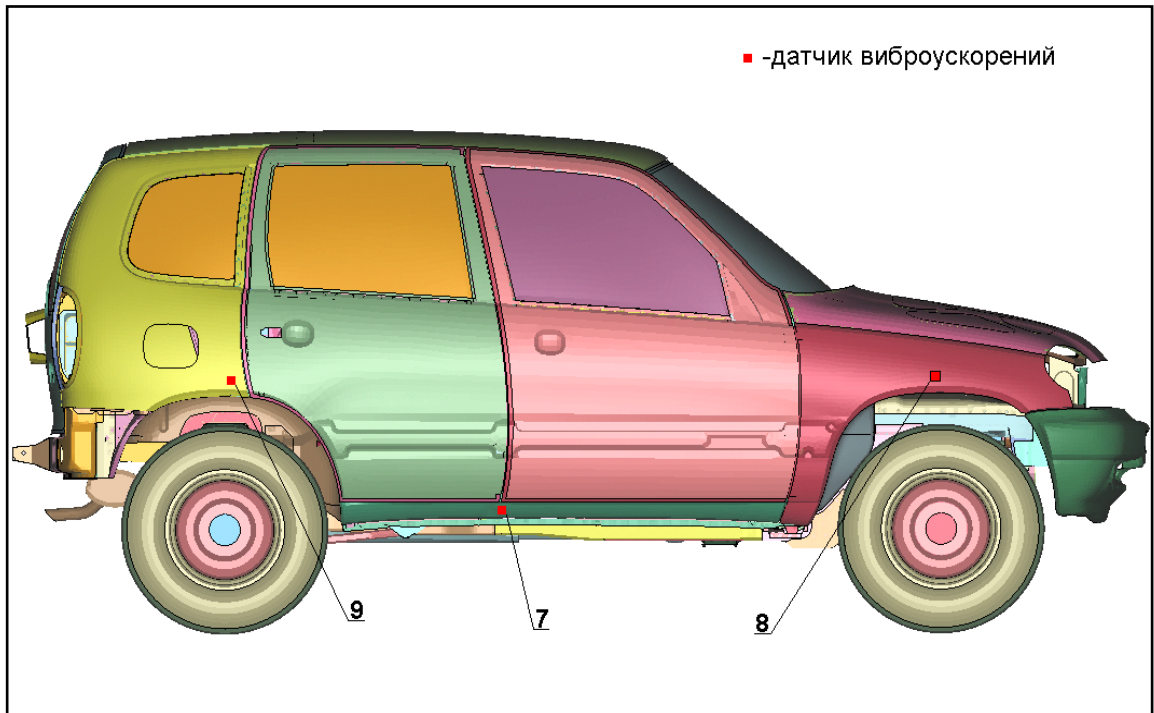


Рисунок 31 – Места расположения датчиков виброускорений

10 датчик располагается в центре масс деформируемого барьера.

Показания датчика в точке 3, полученные в результате эксперимента, не корректны и не учитывались.

После получения значений с датчиков они были обработаны для получения кривых скоростей и перемещений.

Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчёта, представлено в виде графиков скоростей и перемещений в таблице 12.

Таблица 12 – Экспериментальные данные

№ точки	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для скорости	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для перемещения
1		
2		

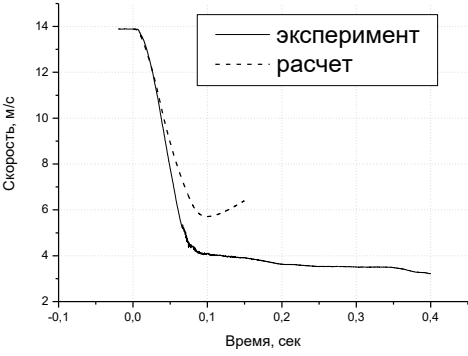
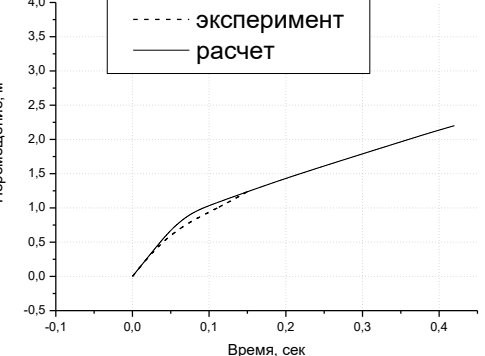
Продолжение таблицы 12

№ точки	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для скорости	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для перемещения
4		
5		
6		

Продолжение таблицы 12

№ точки	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для скорости	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для перемещения
7		
8		
9		

Продолжение таблицы 12

№ точки	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для скорости	Сравнение результатов эксперимента с данными, полученными в результате расчета для перемещения
10	 <p>График скорости (м/с) vs времени (сек) для точки 10. Эксперимент (сплошная линия) и расчет (пунктирная линия). Скорость падает с 14 м/с до ~4 м/с за 0,1 секунды.</p>	 <p>График перемещения (м) vs времени (сек) для точки 10. Эксперимент (пунктирная линия) и расчет (сплошная линия). Перемещение увеличивается с 0 до ~2,2 м за 0,4 секунды.</p>

В разделе проведен сравнительный анализ поведения реальной конструкции и ее конечно-элементной модели.

Как видно из представленных графиков конечно-элементная модель автомобиля имеет меньшее демпфирование, чем реальная конструкция. Значения скоростей точек 1, 2, 5, находящихся в районе контакта испытываемой конструкции с барьером в расчете больше, чем при проведении эксперимента. На это также указывает график скоростей в точке 10 – замедление барьера в эксперименте больше чем результат расчёта.

Сравнение значений скоростей и перемещений для точки 4, находящейся в верхней части стойки, указывает на то, что для этой части, конечно-элементной модели автомобиля необходимо провести валидацию. В остальном, характер кривых очень схож, на данной модели можно уверенно проводить доводку конструкции по пассивной безопасности.

Заключение

Предложено автоматизированное моделирование испытаний конструкции на прочность, что позволило значительно сократить временные затраты на проектирование новых конструкций.

Результаты работы позволяют спланировать ресурсы и последовательность проведения НИР и ОКР, обеспечивающие возможность продажи российских автомобилей на Европейских рынках и их конкурентоспособность.

Результаты работы могут быть использованы для создания и внедрения в технических вузах новых специализированных курсов, позволяющих организовать подготовку специалистов в области расчетного сопровождения проектирования автомобилей и безопасности. В этих же курсах может быть использовано разработанное программное обеспечение и результаты моделирования.

В ходе «выполнения работы реализованы и опробованы на реальных автомобилях ВАЗ:

- технология расчетного сопровождения проектирования силовой схемы кузова исходя из требований по жесткости и ударной прочности (высокоскоростной боковой удар);
- технология расчетного сопровождения проектирования интерьера автомобиля;
- комплекс типовых математических моделей для расчета на удар на предпроектной стадии;
- комплекс типовых КЭ моделей для оценки соответствия конструкции требованиям технического задания на автомобиль» [32].

Все поставленные в работе задачи были решены в полном объеме и реализованы в виде соответствующих рекомендаций.

Список используемых источников

1. Ахметзянов М.Х. Применение метода фотоупругих покрытий для определения напряжений и деформаций в гибких плитах и оболочках / М.Х. Ахметзянов – Изд. АН СССР. ОТН. Механика и машиностроение, 1964. – № 1.
2. Биргер И.А. Некоторые математические методы решения инженерных задач / И.А. Биргер – М. : Физматгиз, 1961. – 284 с.
3. Бобровский А.В. Аналитическое исследование распределения остаточных напряжений в заготовке после механической обработки. Сборник научных трудов. Наука. Техника. Образование. Тольятти и регионы / А.В. Бобровский, В.А. Гуляев – Тольятти : 1999. – с. 178-182.
4. Браславский Д.А. Точность измерительных устройств / Д.А. Браславский, В.В. Петров – М. : Машиностроение, 1976. – 162 с.
5. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский – М. : Статистика, 1974. – 192 с.
6. Зверева А.М., Гуляев В.А. Физическое моделирование конструкционных задач механики // Студенческий форум: электрон. научн. журн. 2020. № 23(116). URL: <https://nauchforum.ru/journal/stud/116/74578> (дата обращения: 29.06.2020)
7. Зорин И.С. О хрупком разрушении упругой плоскости, ослабленной тонким вырезом. Вестник ЛГУ / И.С. Зорин – Л. : 1982. – № 7.
8. Ивлев Д.Д. Теория упрочняющегося пластического тела / Д.Д. Ивлев, Г.И. Быковцев – М. : Наука, 1971. – 232 с.
9. Игнатьков Д.А. Остаточные напряжения в неоднородных деталях / Д.А. Игнатьков – Кишинев : Штиница, 1992. – 232 с.
10. Ильюшин, А.А. Механика сплошной среды / А.А. Ильюшин – М. : Изд. МГУ, 1978. – 256 с.

11. Кобрин М.М. Определение внутренних напряжений в цилиндрических деталях / М.М. Кобрин, Л.И. Дехтярь – М. : Машиностроение, 1965. – 175 с.
12. Койтер В.Т. Общие теоремы теории упруго-пластических сред / В.Т. Койтер – М. : Изд. Иностранной литературы, 1961. – 80 с.
13. Москвитин В.В. Пластичность при переменных нагрузениях / В.В. Москвитин – М. : Изд. МГУ, 1965. – 264 с.
14. Остаточные напряжения / Ред. Осгуд В.Р. – М. : ИЛ, 1957. – 169 с.
15. Пригоровский Н.И. Экспериментальные методы исследования объемного напряженного состояния / Н.И. Пригоровский – М. : Наука, 1966. – 238 с.
16. Прошко В.М. Исследование напряжений на объемных моделях / В.М. Прошко – М. : Изд. АН СССР, 1956. – 342 с.
17. Сердобинцев Ю. П., Иванников, А. В. Решение задач конструктора в рамках интеллектуальной информационной системы конструкторско-технологического проектирования пар трения с заданными триботехническими характеристиками: Тезисы докладов Юбилейной научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 70-летию высшего строительного образования в Волгоградской области. / ВолгГАСА. – Волгоград, 2000. –76 с.
18. Сердобинцев Ю. П., Сосков, А. А., Игумнов, А. В. Метод повышения износостойкости штампового инструмента при производстве керамических изделий: Автоматизация технологических процессов в машиностроении // Межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 1998. – 42 с.
19. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

20. Сухарев И.П. Исследования деформаций и напряжений методом муаровых полос / И.П. Сухарев, Б.Н. Ушаков – М. : Машиностроение, 1969. – 208 с.
21. Технологические напряжения. Труды II Всесоюзного симпозиума / – М. : 1985. – 390 с.
22. Физика прочности композиционных материалов. Материалы III Всесоюзного семинара / – Л. : 1979. – 264 с.
23. Финк К. Измерение напряжений и деформаций / К. Финк, Х. Рорбах – М. : Машгиз, 1961. – 368 с.
24. Челноков В.А. О спектральном методе в прогнозировании прочности композиционных материалов / В.А. Челноков, М.Н. Голобородько – Л. : 1979. – 156 с.
25. Шевченко Ю.Н. Термопластичность при переменных нагрузениях / Ю.Н. Шевченко – К. : Наукова Думка, 1970. – 288 с.
26. Chen, H., Yang, Y., Wang, Y., & Wang, L. (2014). Study on the effect of beam parameters on automobile bumper collision performance. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 32(5), 4373-4380
27. Gulyaev, V. & Kozlov, A. & Loginov, N. Problems of mathematical modelling of elastic boundary value in the stress-strain state of car body elements. In: *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 560. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012143
28. Gulyaev, V. & Kozlov, A. & Loginov, N. Technological equipment parts rough surfaces elastic-plastic strain under compression mathematical modelling. In: *Overview of the International Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering. Journal of Physics, Conference Series*. 2019. Vol. 1399. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/4/044054
29. Dixit Y., Begeman P., Dhaliwal G. S., Newaz G., Board D., Chen Y., & Faruque O. (2017). Crashworthiness performance of carbon fiber composite (CFC) vehicle front bumper crush can (FBCC) assemblies subjected to high speed 40% offset frontal impact. Paper presented at the ASME International Mechanical

Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE), 910.1115/IMECE2017-70357

30. Ispas N., & Nastasoiu M. (2017). Analysis of car's frontal collision against pole. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252(1)10.1088/1757-899X/252/1/012012

31. Kostek R., & Aleksandrowicz P. (2017). Simulation of car collision with an impact block. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252(1)10.1088/1757-899X/252/1/012008

32. Kostek R., & Aleksandrowicz P. (2017). Simulation of the right-angle car collision based on identified parameters. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252(1)10.1088/1757-899X/252/1/012013

33. Kulkarni A., Vora R., & Ravi K. (2017). Study design and analysis of automobile bumper for pedestrian safety. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 263(6)10.1088/1757-899X/263/6/062060

34. Li Z., Duan L., Chen T., & Hu Z. (2018). Crashworthiness analysis and multi-objective design optimization of a novel lotus root filled tube (LFT). *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 57(2), 865-875. 10.1007/s00158-017-1782-5

35. Patil S., Tay Y. Y., Baratzadeh F., & Lankarani H. (2017). Modeling of friction-stir butt-welds and its application in automotive bumper impact performance part 2. impact modeling and bumper crash performance. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(7), 3225-3232. 10.1007/s12206-017-0612-4

36. Wei Z., Karimi H. R., & Robbersmyr K. G. (2016). Analysis of the relationship between energy absorbing components and vehicle crash response. *SAE Technical Papers*, 2016-April (April)10.4271/2016-01-1541