

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА»

Факультет электромеханический
Кафедра теоретической и прикладной механики
Направление подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование
Направленность (профиль) образовательной программы – Динамика и прочность сложных механических систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему

Разработка композитных элементов конструкции стременной системы

Выполнил: студент группы 2-33м,

Лебедев П.В.

Научный руководитель: к.т.н., доц.

Ноздрин М.А.

Объект исследования:

Объектом работы является универсальная стременная система с использованием композитных материалов.

Актуальность:

В настоящее время некоторые элементы стременных систем изготавливают из природных материалов(например, дерево) которые имеют скрытые дефекты, приводящие к неконтролируемому разрушению.

Цель работы:

Разработка компьютерной модели и расчёт напряжённо - деформированного состояния наличника стременной системы с использованием композитных материалов.

Задачи работы:

- Анализ конструкции стременного оборудования и изучение конструкции седла и его эксплуатационных особенностей;
- Выбор материалов для создания композита с заданными механическими свойствами;
- Создание конечно-элементной модели наличника универсального конского седла с применением композитных материалов и проведение оптимизации конструкции.

Особенности проектирования наличника универсального седла

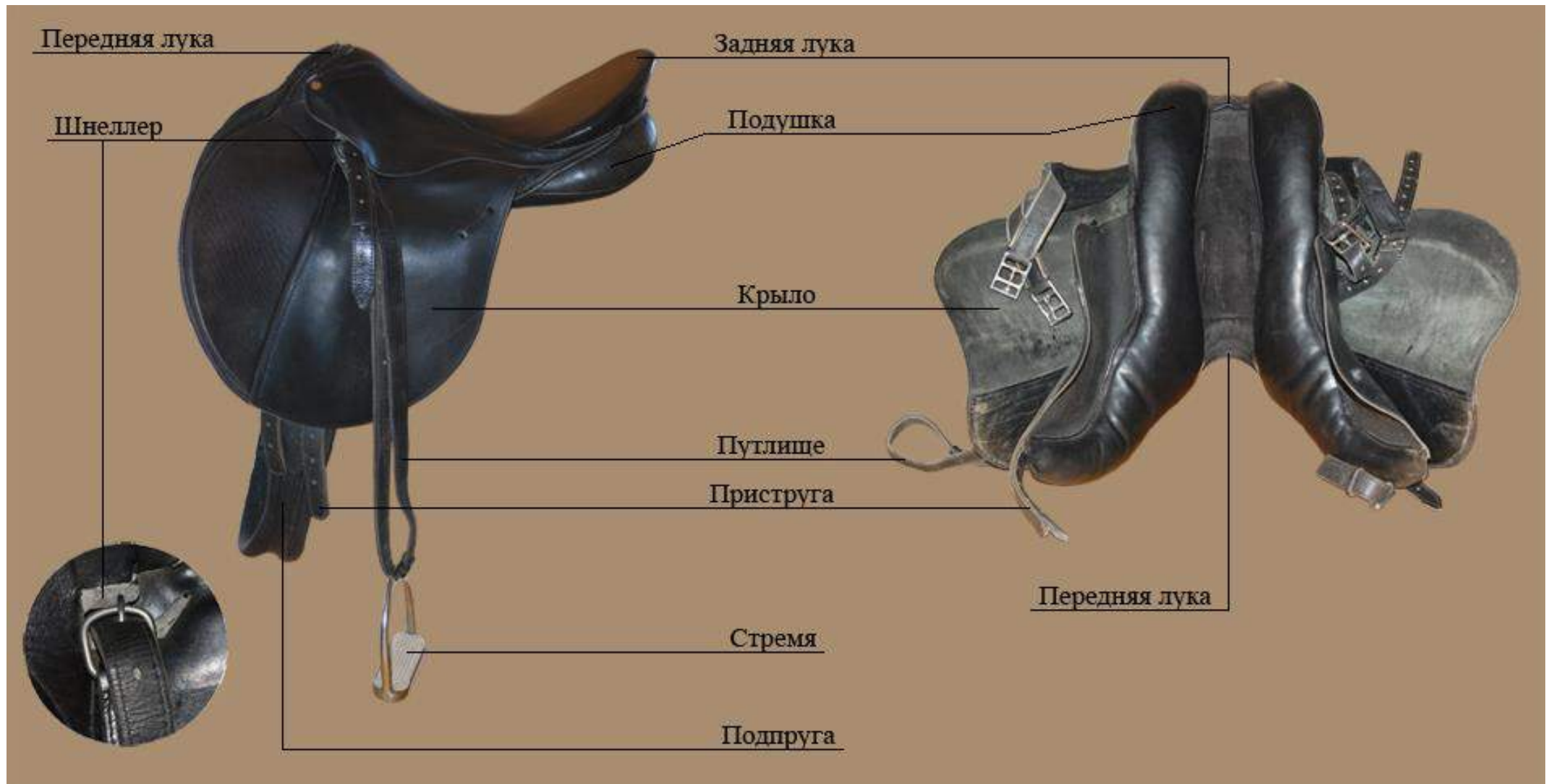


Рис.1.-Конструкция системы крепления седла.

Особенности проектирования наличника универсального седла



Рис.2.- Наличник седла вид сбоку



Рис.3.- Наличник седла вид сверху



Рис.4.- Вид разрушения

Математическое моделирование наличника универсального седла

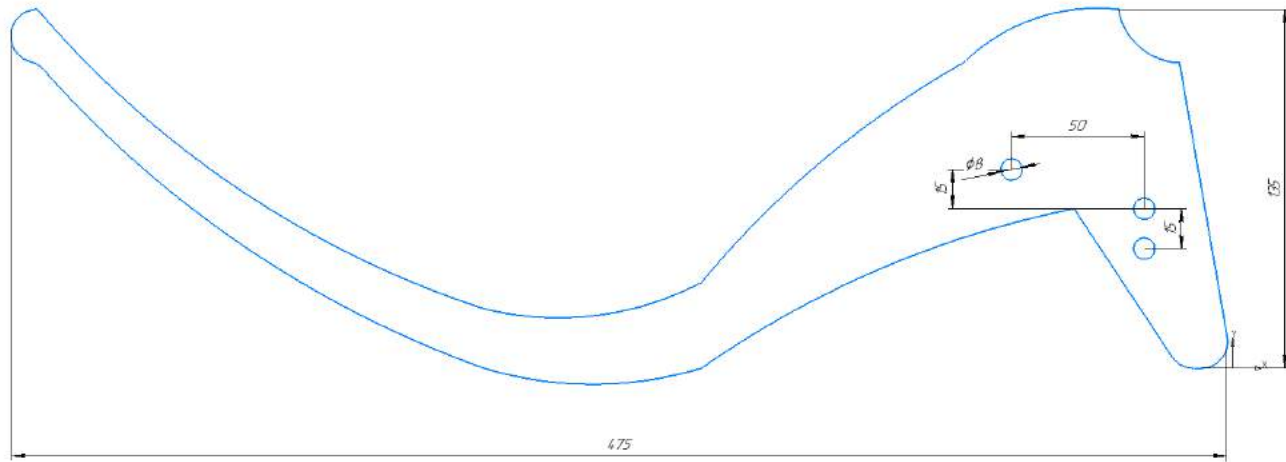


Рис.5.- Главный вид наличника

Габаритные размеры:

Длина-475мм.

Ширина-258мм.

Высота-135мм.

Отверстия для крепления шиндлера-8мм.

В соответствии с размерами извлеченного наличника и конструктивными предложениями для изготовления были определены размеры элементов наличника.

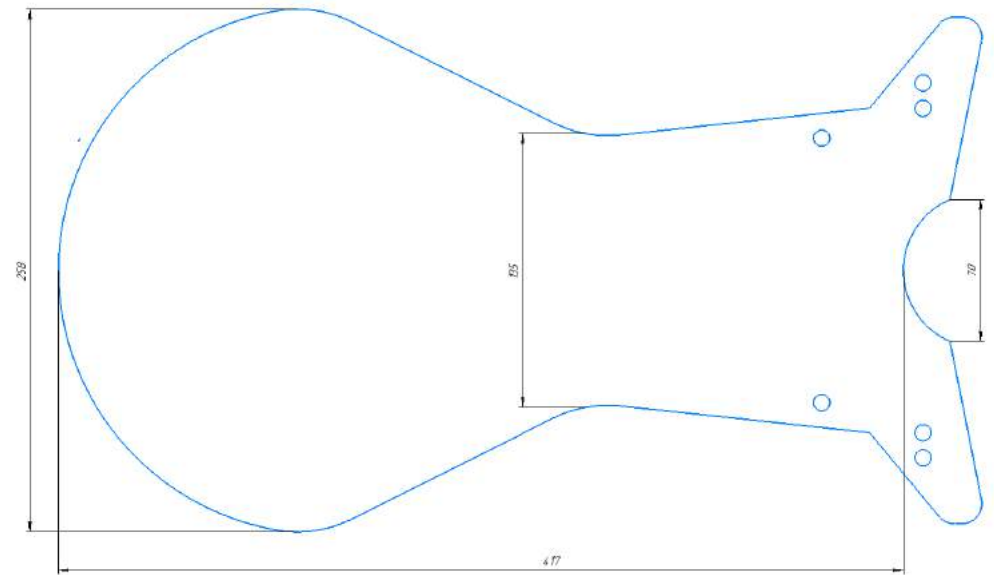


Рис.6.- Вид наличника сверху

Кинематические граничные условия

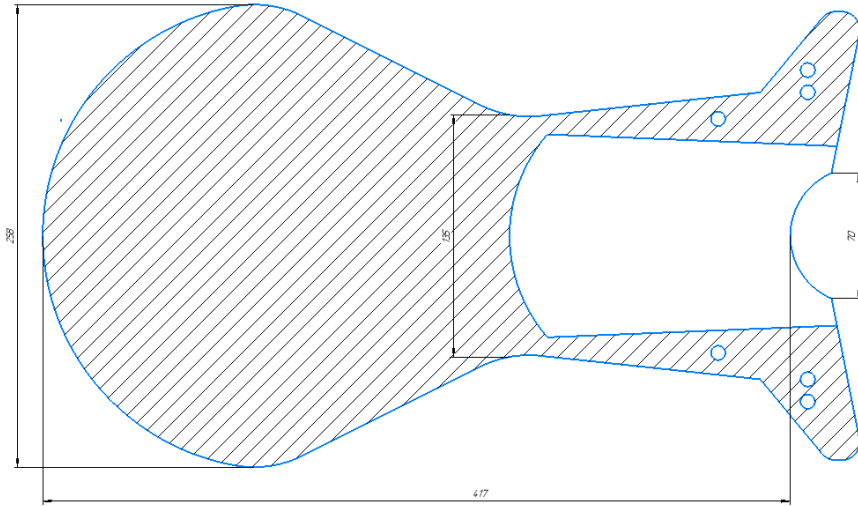


Рис.7.- Вид снизу

На чертеже вида снизу наличника седла штриховкой указана Область жесткого закрепления. Это область контакта пенного материала, который закреплен на нижней поверхности наличника.

Силовые граничные условия

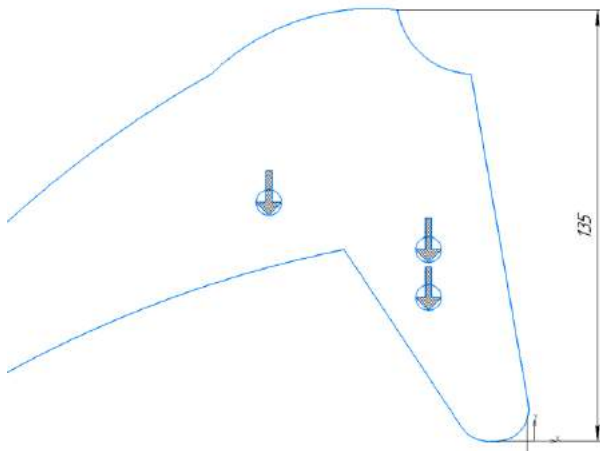


Рис.8.- Фрагмента с нагружением 1

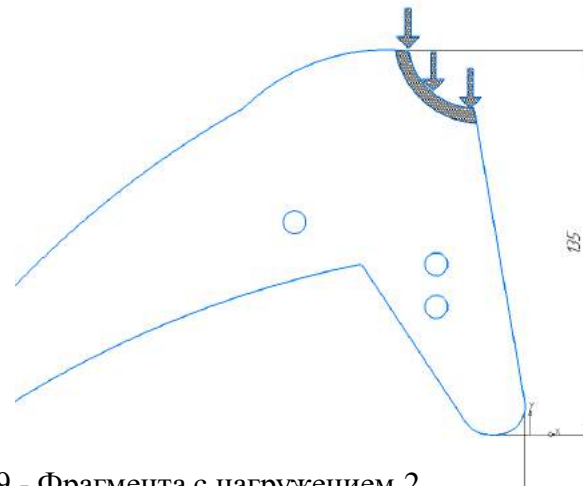


Рис.9.- Фрагмента с нагружением 2

На чертежах изображены 2 сценария нагружения
1) Нагрузка $F=1000\text{Н}$, создаваемая наездником, приложена к отверстиям крепления шнеллера.
2) Нагрузка $F=1000\text{Н}$, создаваемая наездником, приложена к вырезу в передней луке.

Преимущества и недостатки композитов на основе углеволокна

Преимущества

- Малый вес конструкции;
- Амортизационные свойства;
- Ремонтопригодность.



Рис.10.- Вид карбоновой рамы велосипеда

Недостатки

- Уязвимость к точечным ударам;
- «Прикипание».



Рис.11.- Вид разрушения от точечного удара

Механические свойства композитов на основе углеволокна

Таблица 2- Результаты механических испытаний углепластиков.

Таблица 1-Технологические режимы изготовления образцов углепластиков.

Марка углепластика	Технология изготовления	Режим отверждения
УП-1	Вакуумно-прессовое формование	Нагрев до 180 °С и выдержка при 180 °С в течение 390 мин
УП-2		
УП-3		
УП-4		Нагрев до (175±5) °С и выдержка в течение 180 мин, давление прессования 5 кгс/см ²
УП-5		Нагрев до (165±5) °С и выдержка в течение 360 мин
УП-6		Нагрев до (175±5) °С и выдержка в течение 180 мин
УП-7		Нагрев до (180±5) °С и выдержка в течение 180 мин

Композиционные материалы (КМ) — углепластики на основе различных углеродных наполнителей и полимерных связующих:

- углепластик ПСБ250/А на основе углеродной ткани марки 22500 и бисмалеимидного связующего SB-250 (УП-1), схема армирования углепластиков [0°/90°]_n, где n — количество слоев;
- углепластик ПСБ250/Б на основе однонаправленной углеродной ленты Кулон-500/0,11 и бисмалеимидного связующего SB-250 (УП-2);
- углепластик ПСБ250/В на основе однонаправленной углеродной ленты из волокна марки IMS65 и бисмалеимидного связующего SB-250 (УП-3);
- углепластик КМКУ3.150 на основе углеродной ленты Элур-0,1П и модифицированного эпоксидного связующего (УП-4);
- углепластик КМУ-4Э на основе углеродной ленты Элур-0,2П и связующего ЭНФБ (УП-5);
- углепластик КМКУ-4м.175 на основе ткани марки УТ-900 и модифицированного эпоксидного связующего (УП-6), схема армирования [0°/90°];
- углепластик 22500/НИИКАМ-РС на основе углеродной ткани марки 22500 и цианатэфирного связующего (УП-7), схема армирования [0°/90°].

Механические свойства	Температура испытаний, °С	Марка углепластика					
		УП-1	УП-2	УП-3	УП-5	УП-6	УП-7
$\sigma_{ср}$ МПа	20	787...889 912	987...873 788	1490...1990 1740	999...879 795	555...630 563	720...824 801
	180	—	—	—	—	366...447 419	630...745 725
	195	666...987 882	734...911 794	1620...1710 1690	—	—	—
$E_{ср}$ ГПа	20	62,7...67,8 64,9	255...315 289	135...173 154	146 136	55,1...63,1 59,7	57,0...67,0 63,8
	180	—	—	—	—	36,4...61,4 53,5	53,0...67,8 59,7
	195	61,6...72,4 65,7	269...273 246	123...148 137	—	—	—
μ_1	20	0,049...0,084 0,064	0,049...0,331 0,26	0,281...0,304 0,292	—	0,058...0,082 0,067	0,042...0,052 0,053
	180	—	—	—	—	0,089...0,194 0,144	0,049...0,049 0,035
	195	0,058...0,086 0,068	0,172...0,251 0,217	0,220...0,289 0,272	—	—	—
$\sigma_{ср}$ МПа	20	—	8,37...9,86 8,86	34,3...40,3 36,8	22,4...31,4 27,4	—	—
	195	—	7,55...9,63 8,49	31,7...38,0 35,6	—	—	—
$E_{ср}$ ГПа	20	—	6,05...7,04 7,68	9,02...10,4 10,1	9,28...10,4 9,82	—	—
	195	—	5,18...7,12 6,21	8,58...9,47 8,92	—	—	—
μ_2	20	—	0,015...0,020 0,014	0,023...0,027 0,026	0,013...0,030 0,026	—	—
	195	—	0,006...0,015 0,010	0,030...0,055 0,044	—	—	—
$\sigma_{сж1}$ МПа	20	741...863 787	289...333 318	711...1060 866	—	646...722 698	624...693 639
	180	—	—	—	—	160...190 176	430...504 479
	195	613...773 655	165...212 180	527...618 587	—	—	—
$\sigma_{сж2}$ МПа	20	—	92,2...106 99,6	153...187 171	121,85...134,05 132,52	—	—
	195	—	66,1...86,6 76,8	104...121 114	—	—	—
	20	87,0...96,94 92,36	20,52...23,11 21,46	91,83...94,84 94	62,6...66,0 64,3	75,13...82,17 79,38	84,32...87,63 85,64
$\tau_{ср}$ МПа	180	—	—	—	—	17,72...18,7 18,22	40,43...44,64 42,57
	195	63,95...71,31 67,9	18,20...19,84 19,0	58,05...61,78 60,12	—	—	—
	20	3,97...5,69 4,88	2,74...2,95 2,87	6,45...6,73 6,62	46,23...58,24 54,79	4,96...6,30 5,55	4,20...4,81 4,56
$G_{ср}$ ГПа	180	—	—	—	—	0,58...0,72 0,65	3,06...3,26 3,19
	195	3,94...4,62 4,28	2,15...2,48 2,3	4,07...4,84 4,44	—	—	—
	20	735...802 767	115,11...168,27 145,45	403,24...535,24 470,8	375...392 384	438,64...525,07 469,40	453,63...503,73 483,40
$\sigma_{сж}$ МПа	180	—	—	—	—	140,01...192,19 165,33	328,25...376,11 359,27
	195	468...561 523	—	338,19...437,66 380,48	—	—	—
$\tau_{сж}$ МПа	20	25,32...30,73 28,43	27,26...29,63 28,49	65,90...69,51 67,32	54,81...60,14 56,53	65,65...73,45 69,2	59,02...62,66 60,1
	180	—	—	—	—	19,74...23,0 22	43,92...47,29 45
	195	67,35...69,93 68,24	23,14...24,29 23,69	32,18...54,89 53,43	—	—	—

$\sigma_{ср1}$ — предел прочности при растяжении вдоль направления основы ткани или вдоль направления армирования ленты; $\sigma_{ср2}$ — предел прочности при растяжении поперек направления основы ткани или направления армирования ленты; $E_{ср1}$ — модуль упругости при растяжении вдоль направления основы ткани или вдоль направления армирования ленты; $E_{ср2}$ — модуль упругости при растяжении поперек направления основы ткани или направления армирования ленты; μ_1 — коэффициент Пуассона вдоль направления основы ткани или вдоль направления армирования ленты; μ_2 — коэффициент Пуассона поперек направления основы ткани или направления армирования ленты; $\sigma_{сж1}$ — предел прочности при сжатии вдоль направления основы ткани или вдоль направления армирования ленты; $\sigma_{сж2}$ — предел прочности при сжатии поперек направления основы ткани или направления армирования ленты; По полученным механическим характеристикам был выбран углепластик под номером №1, так как его механические характеристики более стабильны и не меняются при различных направлениях приложения нагрузок, а также обладает более удобными параметрами для изготовления изделий.

Численный расчёт в программном комплексе ANSYS

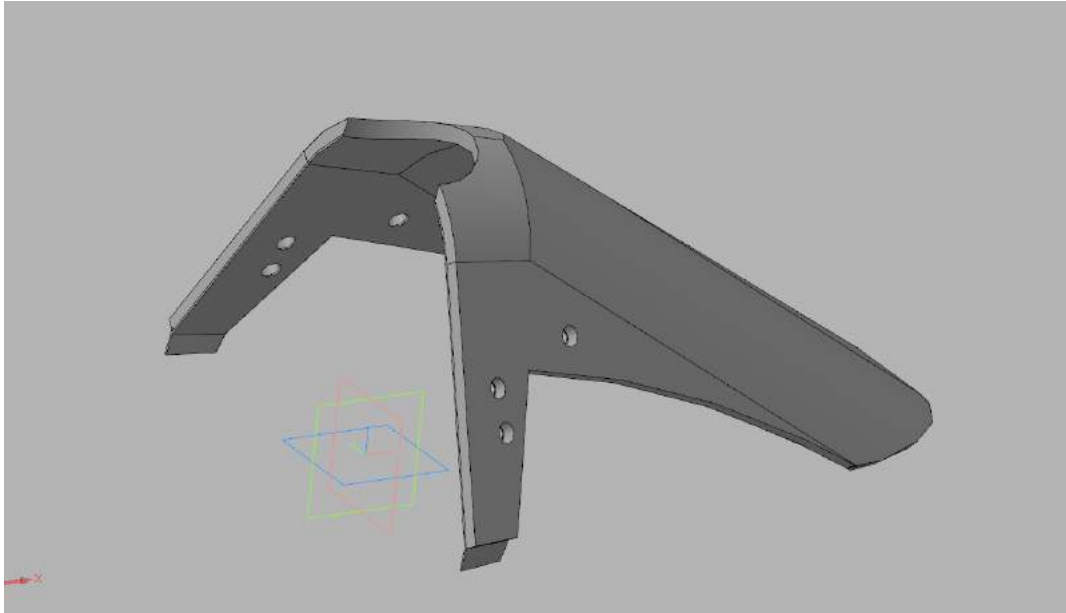


Рис.12.- Модель наличника седла.

Создание модели проводилось с использованием программного комплекса КОМПАС-17. В результате была построена модель передней части наличника, т.к. все нагрузки приходятся именно на переднюю луку.

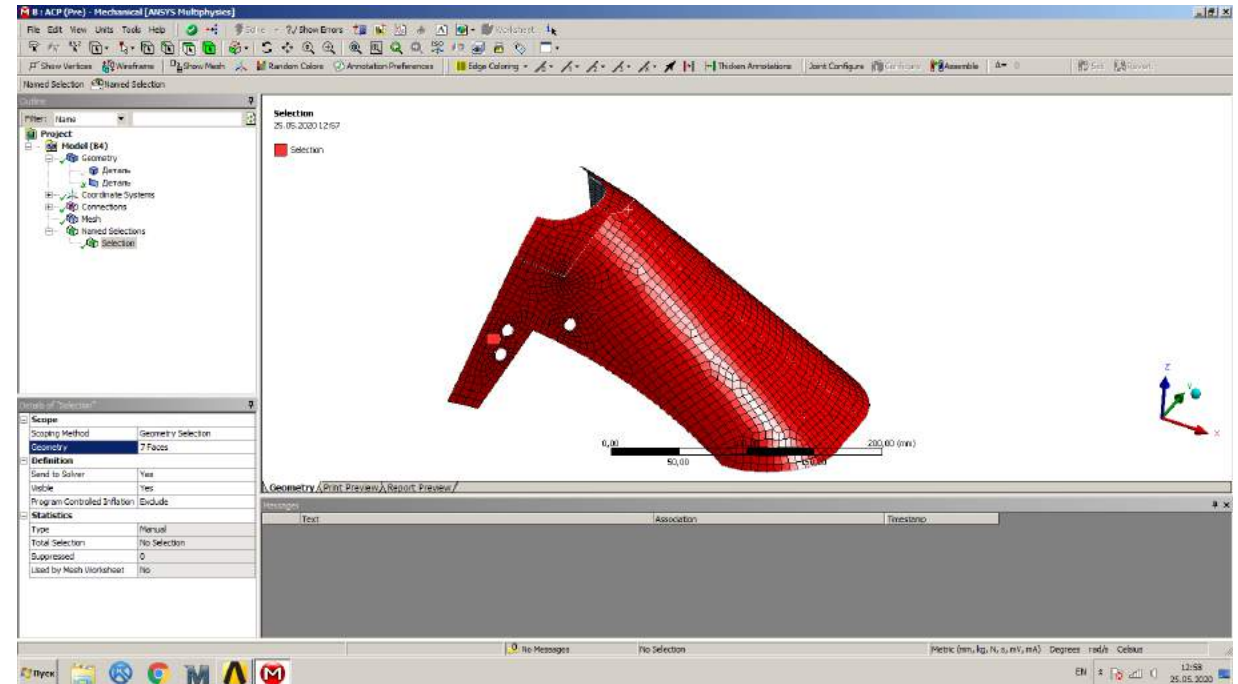


Рис.13.- Конечно-элементная сетка.

В программный комплекс ANSYS в блоке ACP Pre выбираем материалы, с которыми будем работать, а именно: плотная пена и плетеный карбон. Импортируем нашу модель и присваиваем нижней части детали материал пена, а поверхности модели материал плетеный карбон. Получившуюся поверхность с заданными параметрами нашего материала, 10 слоями, с толщиной каждого 0,6мм и перекрестной укладкой разбиваем на конечно-элементную сетку.

Численный расчёт в программном комплексе ANSYS

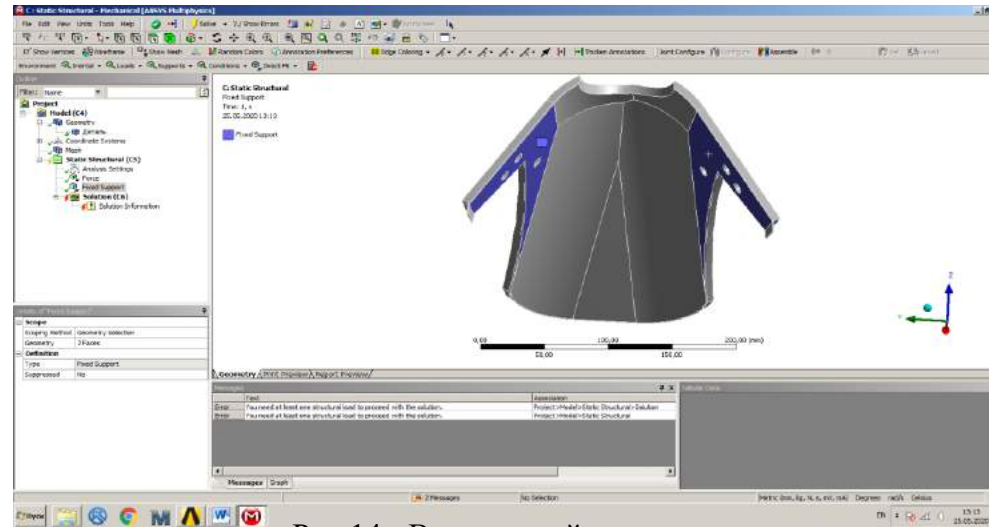


Рис.14.- Вид условий закрепления

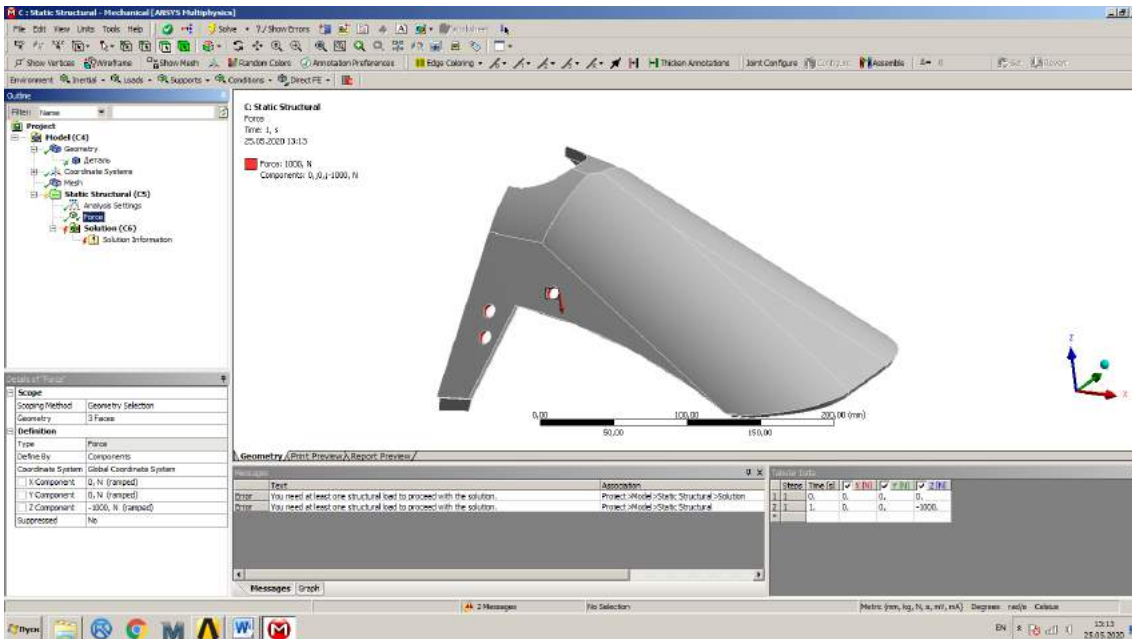


Рис.15.- Вид условий нагружения в первом случае.

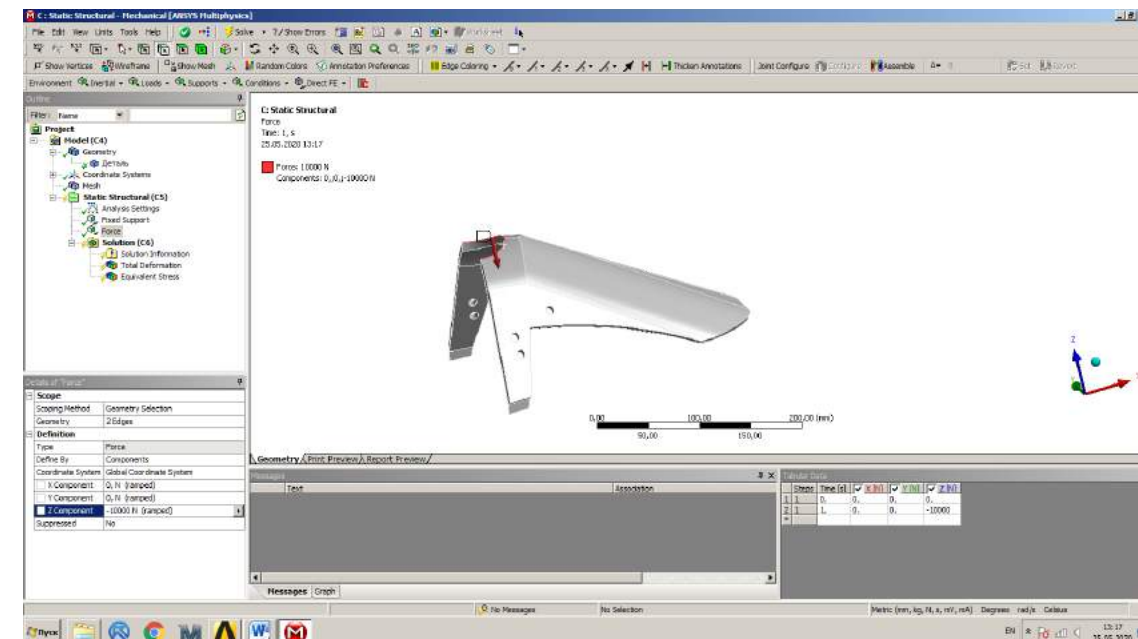


Рис.15.- Вид условий нагружения во втором случае.

Моделирование однонаправленной укладки композита

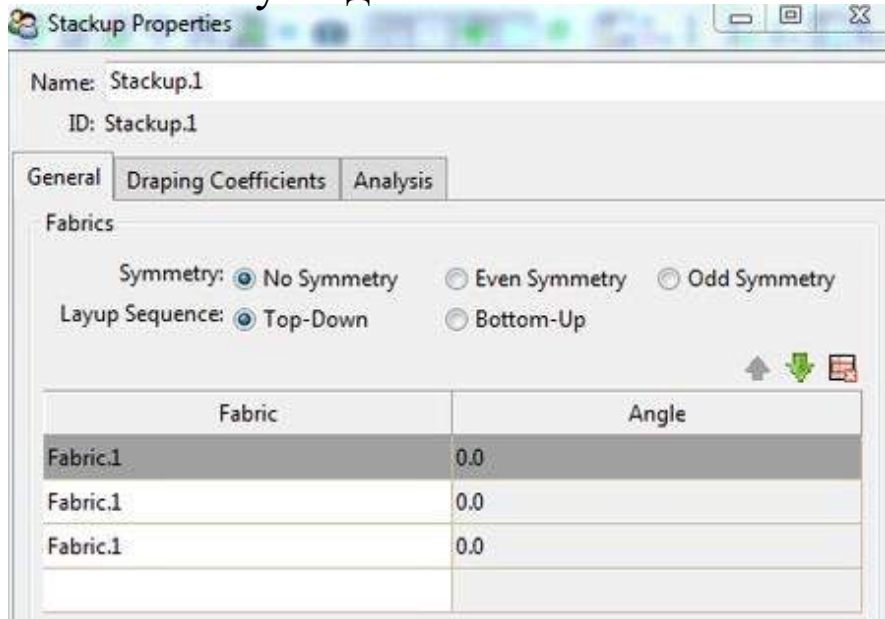


Рис. 16.- Направление укладки в первом случае.

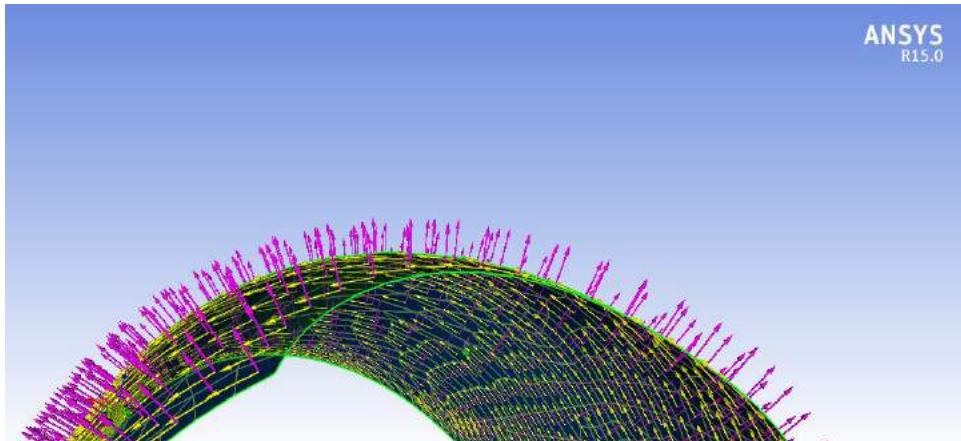


Рис. 18.- Вид направлений укладки композита

Моделирование укладки композита 0,45,-45

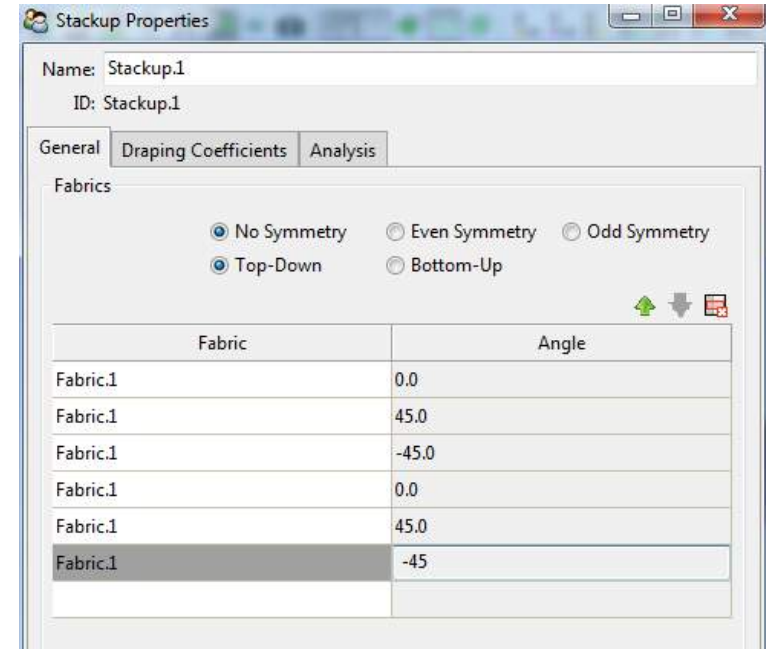


Рис. 17.- Направление укладки во втором случае.

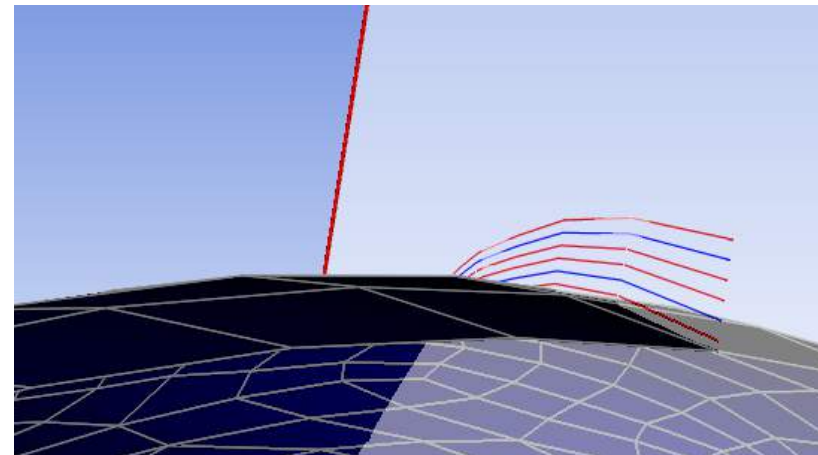


Рис. 19.- Вид слоев композита.

Расчёт деформированного состояния

Для однонаправленной укладки композита

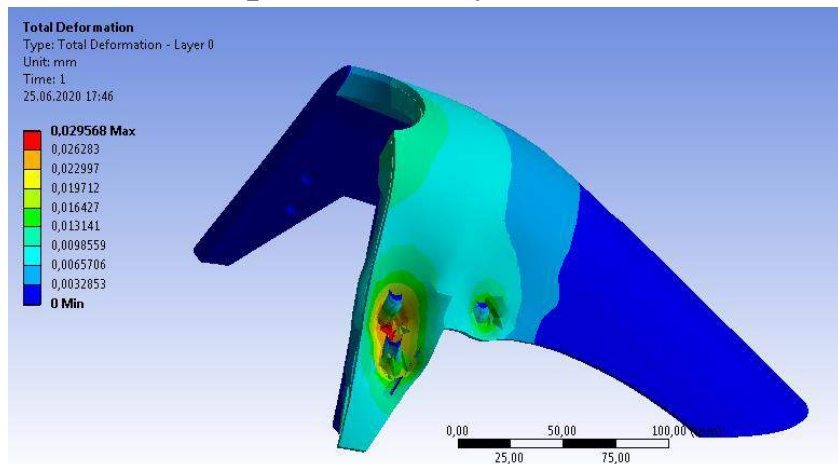


Рис.20.- Вид деформаций в первом случае нагружения.

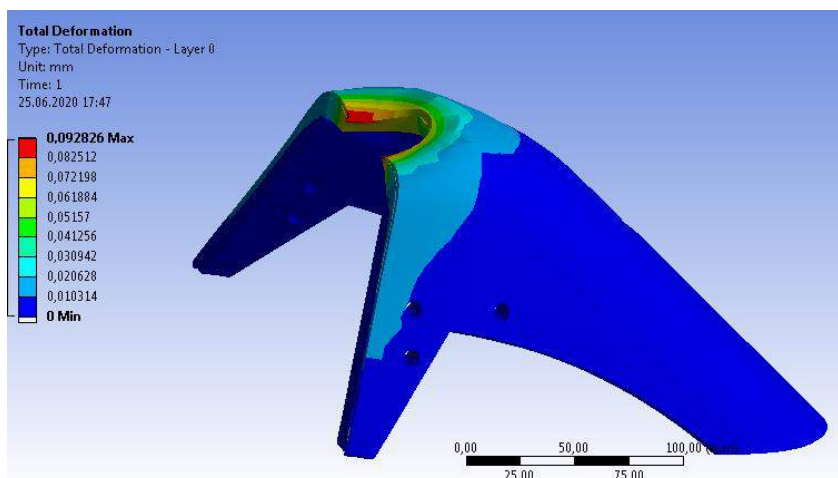


Рис. 22.- Вид Деформаций во втором случае нагружения.

При первой нагрузке для однонаправленной укладки композита максимальное перемещение составило 0,03 мм, при втором виде нагружения 0,092мм.

Для укладки композита 0,45,-45

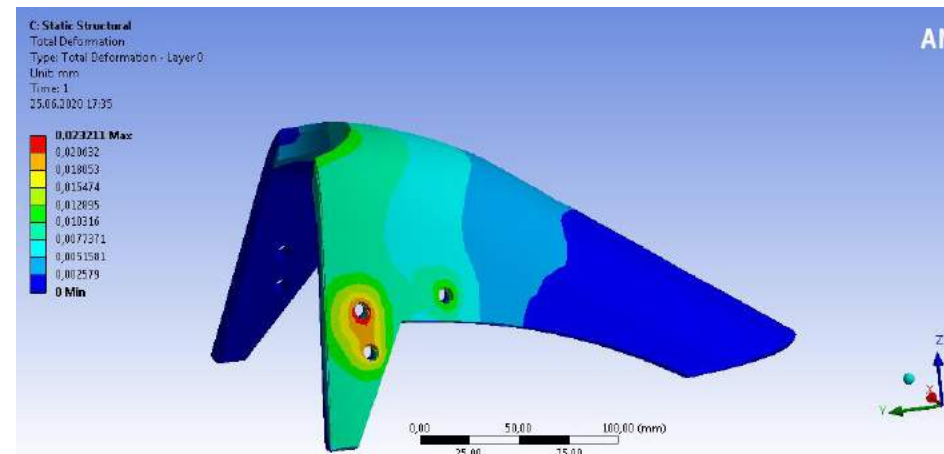


Рис.21.- Вид деформаций в первом случае нагружения.

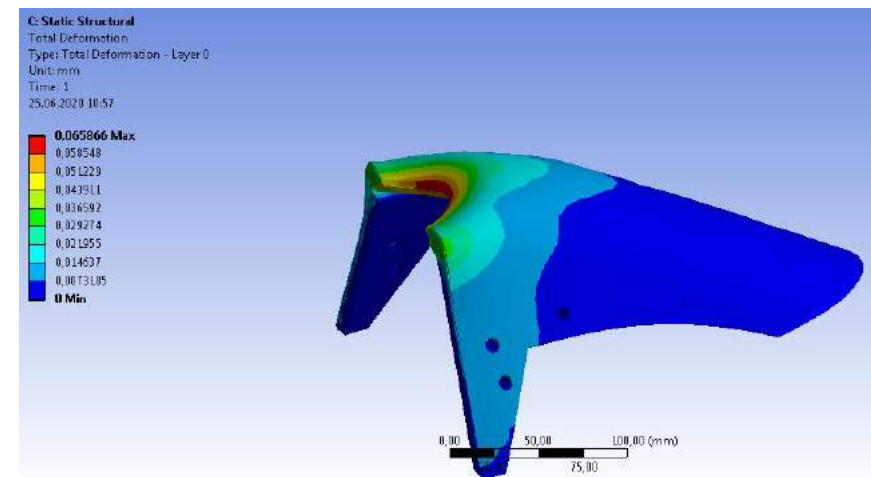


Рис.23.- Вид Деформаций во втором случае нагружения.

В первом случае нагружения для укладки композита 0,45,-45 максимальное перемещение составило 0,023 мм, при втором 0,066 мм.

Расчёт напряжённого состояния

Для однонаправленной укладки композита

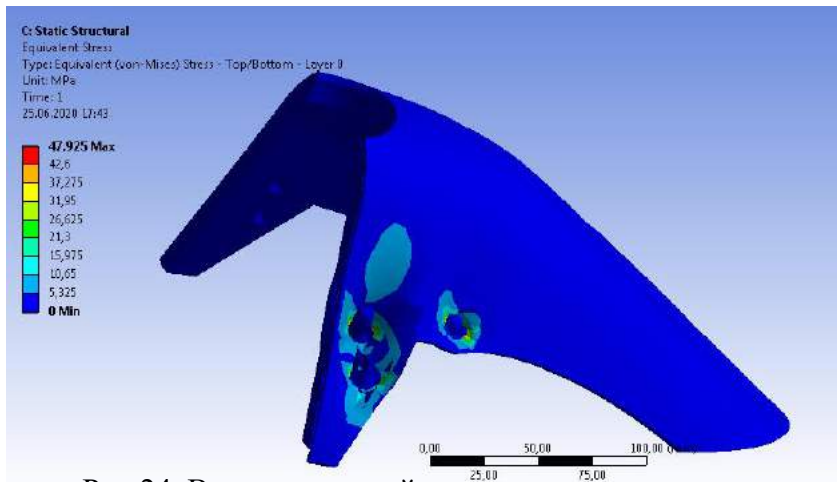


Рис.24. Вид напряжений в первом случае нагружения.

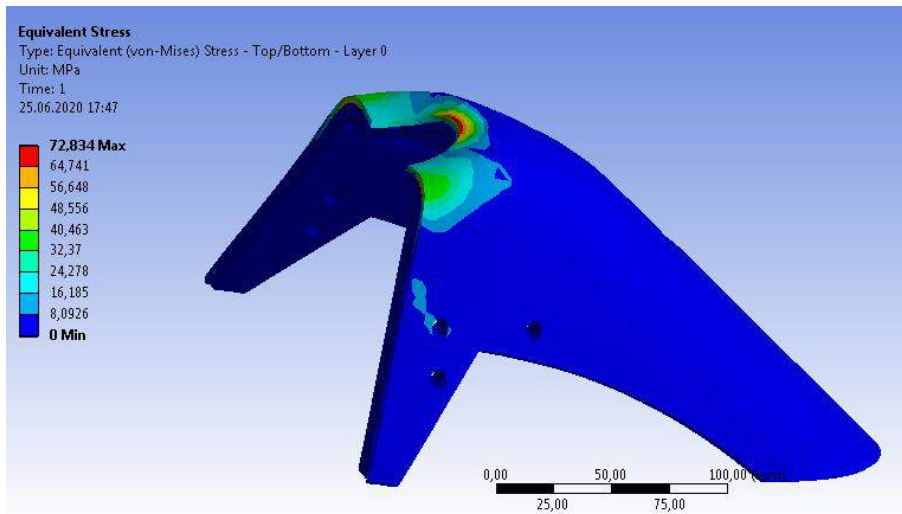


Рис. 26.- Вид напряжений во втором случае нагружения.

При первой нагрузке для однонаправленной укладки композита максимальные напряжения составили 48 МПа., при втором виде нагружения 73 МПа..

Для укладки композита 0,45,-45

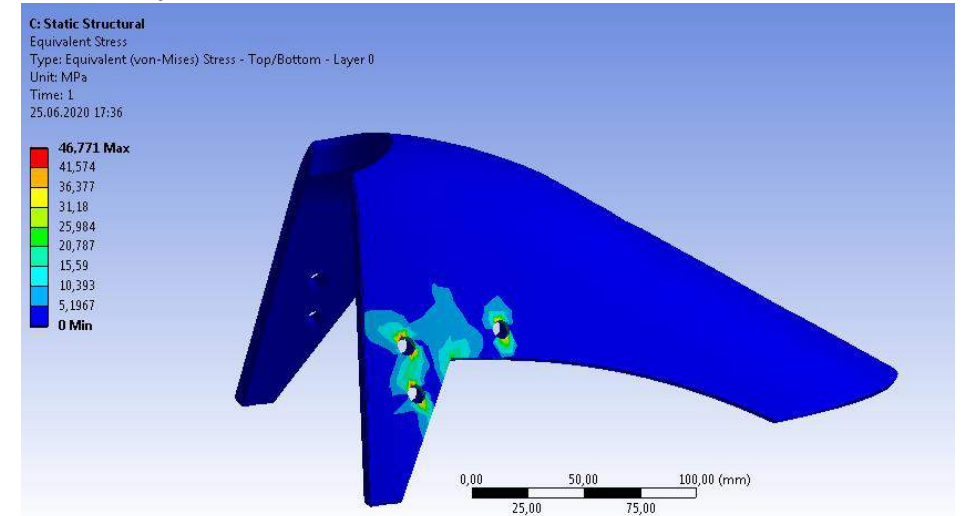


Рис.25. Вид напряжений в первом случае нагружения.

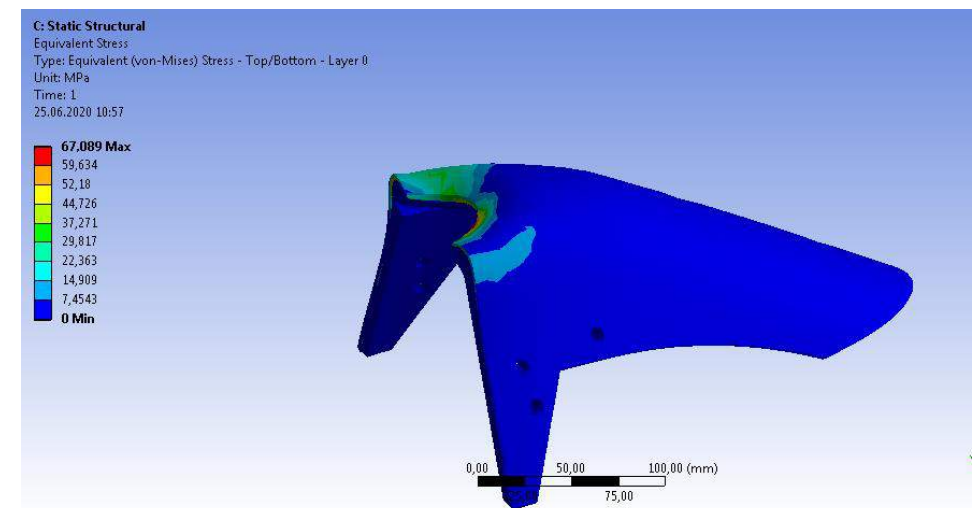


Рис. 27.- Вид напряжений во втором случае нагружения.

В первом случае нагружения для укладки композита 0,45,-45 напряжения составили 46,7 МПа., при втором виде нагружения 67 МПа..

Выводы

Проведён анализ конструкции наличника универсального конского седла.

Сформирована база данных композитных материалов, удовлетворяющих эксплуатационным требованиям модели стременной системы.

Экспериментально исследованы механические свойства углепластиков с целью подбора оптимальных характеристик материала. В силу одинаковых свойств вне зависимости от направления приложения нагрузки был выбран УП-1.

Разработана математическая модель наличника, а также разработана конечно элементная модель системы и произведен анализ модели стременной системы с использованием программного комплекса ANSYS.

Численные расчёты напряжённо- деформированного состояния проведены для двух технологических решений композитного материала и двух критических ситуаций эксплуатации изделия. При однонаправленной укладке напряжения для двух видов нагружения составляют 48 и 73 МПа соответственно, а деформации 0,03 и 0,09 мм соответственно. В свою очередь для укладки 0,45,-45 напряжения для тех же видов нагружения составляют 46,7 и 67 МПа соответственно, а деформации 0,023 и 0,066 мм соответственно.

Анализ расчётов выявил оптимальный вариант материала с укладкой 0,45,-45 так как при таких же расходах материала на изделие значения деформаций и напряжений меньше.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ