

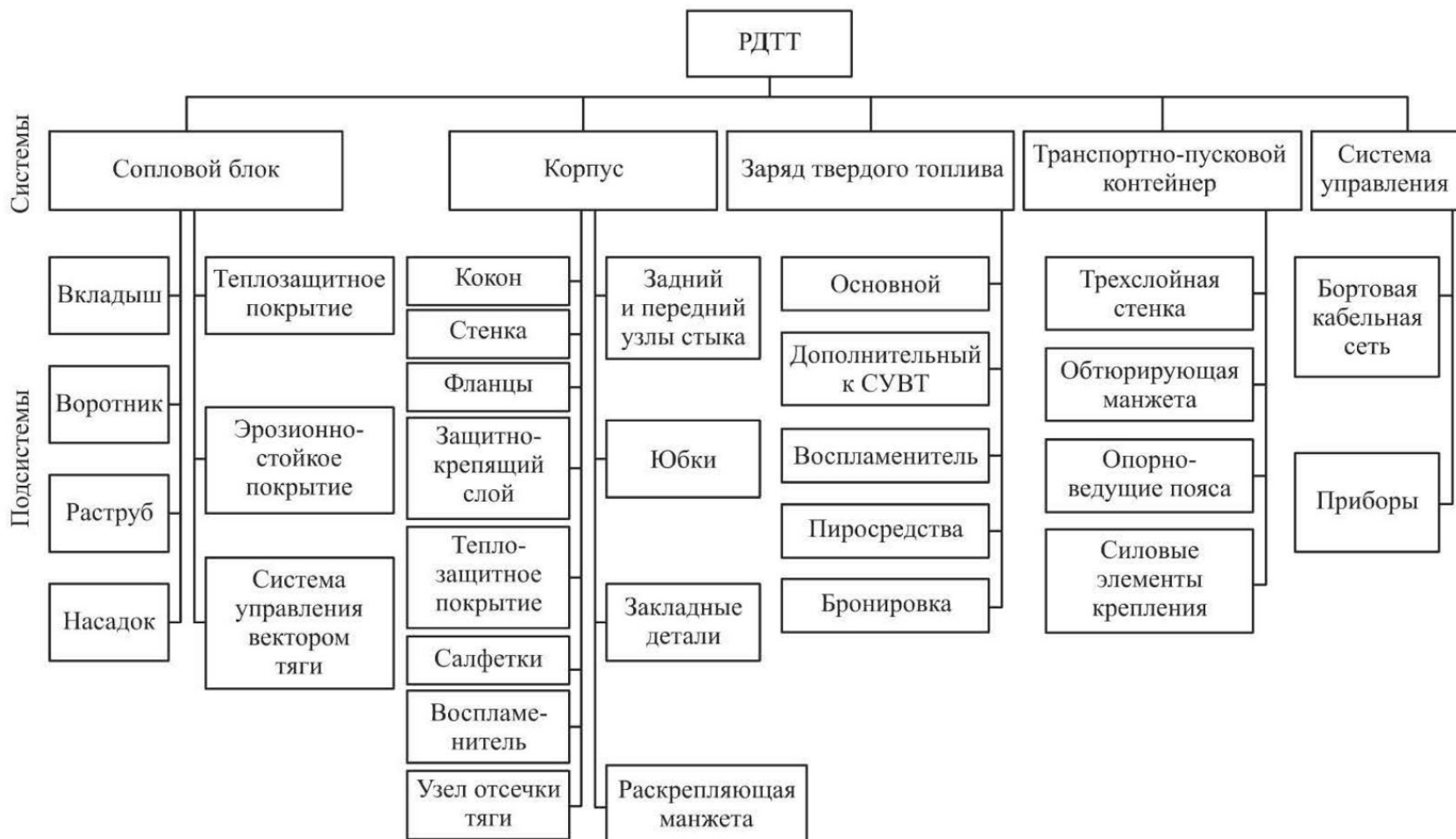


ДЛА: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Лахин Антон Владиславович,
к.т.н., доцент,
начальник отдела разработки УУКМ,
АО «Композит», г. Королев

ПРИМЕНЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (НМКМ) В ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ (РДТТ)

Структурная схема устройства РДТТ



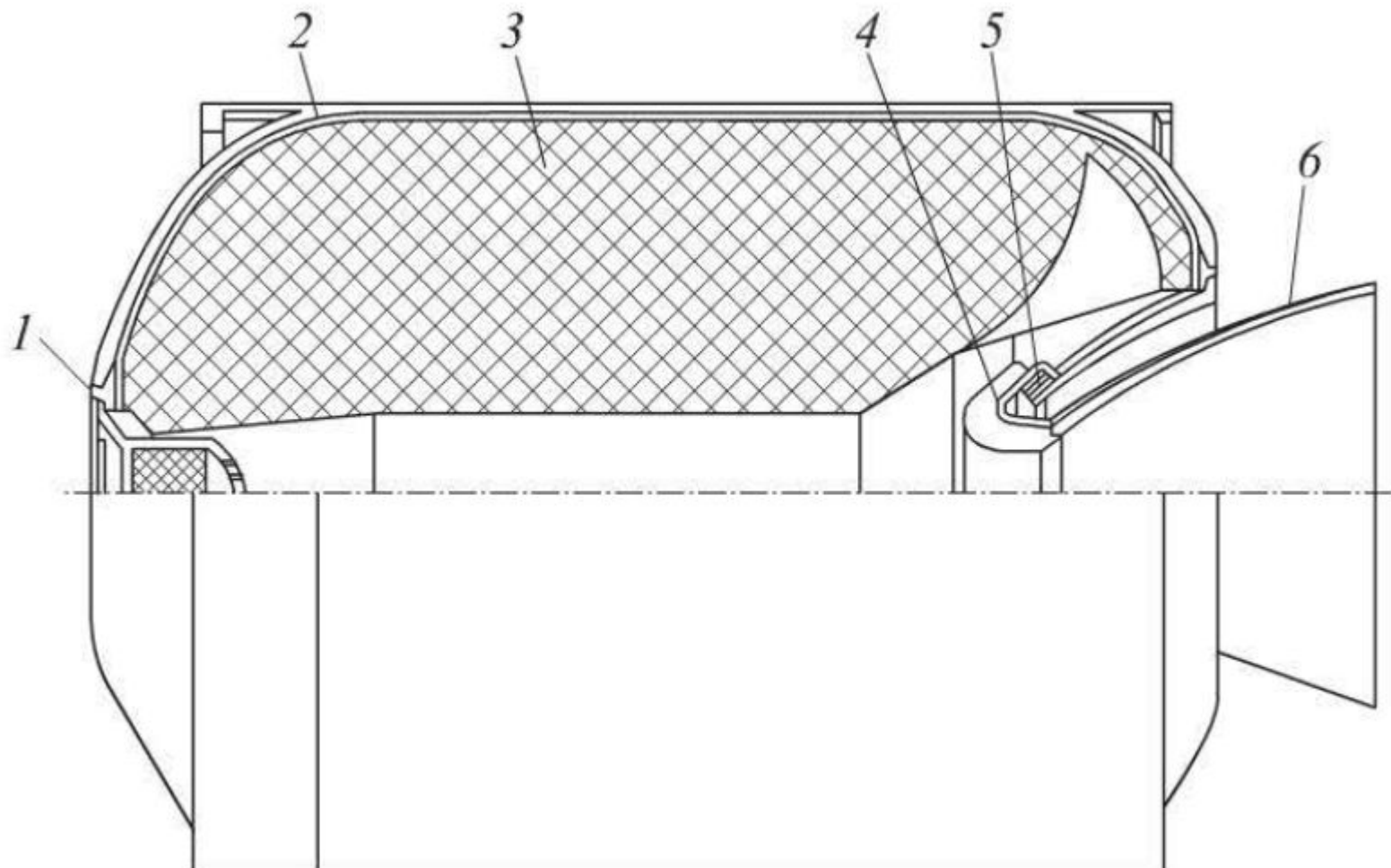


Рис. 1.2. Конструктивная схема маршевого РДТТ:

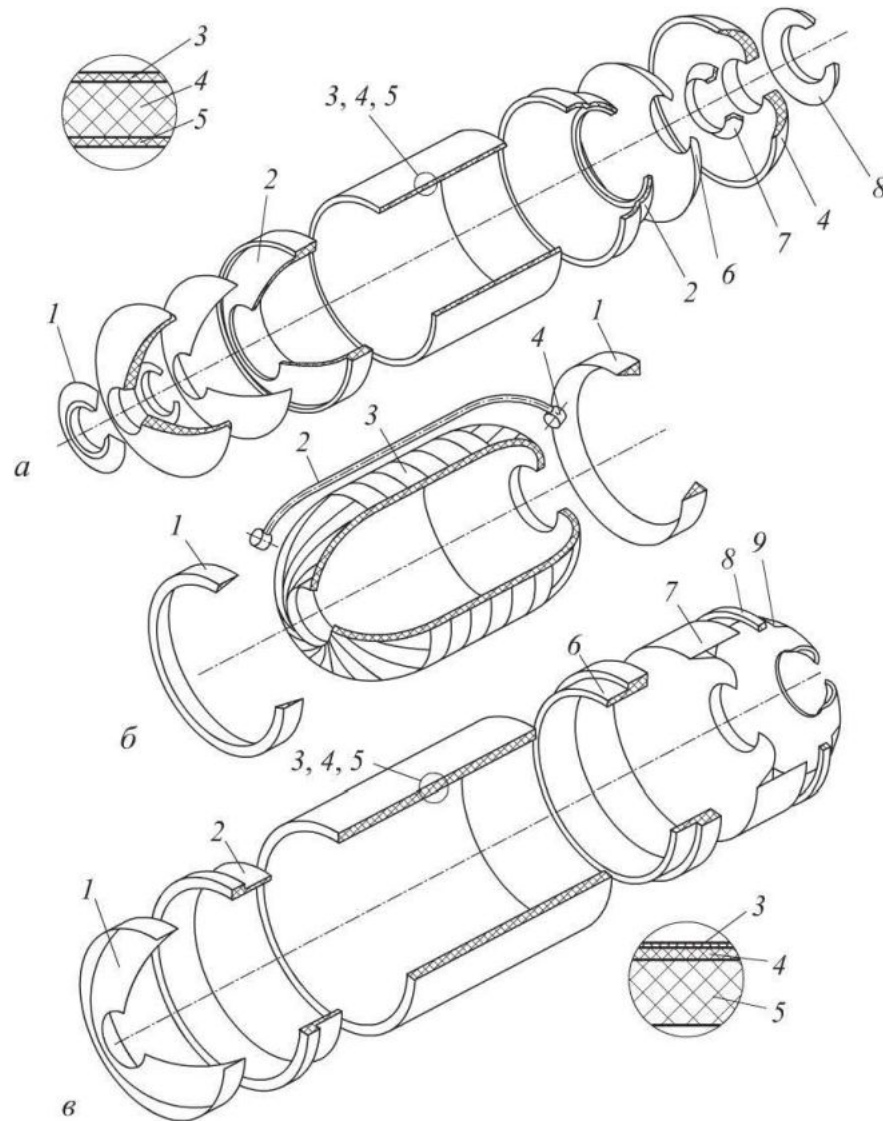
a — второй ступени МБР «Трайдент-1»; *б* — третьей ступени МБР «МХ»; *1* — передний фланец; *2* — корпус; *3* — заряд ТТ; *4* — сопловой блок; *5* — эластичный шарнир; *6* — раструб сопла; *7* — выдвигающиеся секции насадка раструба сопла

Системы

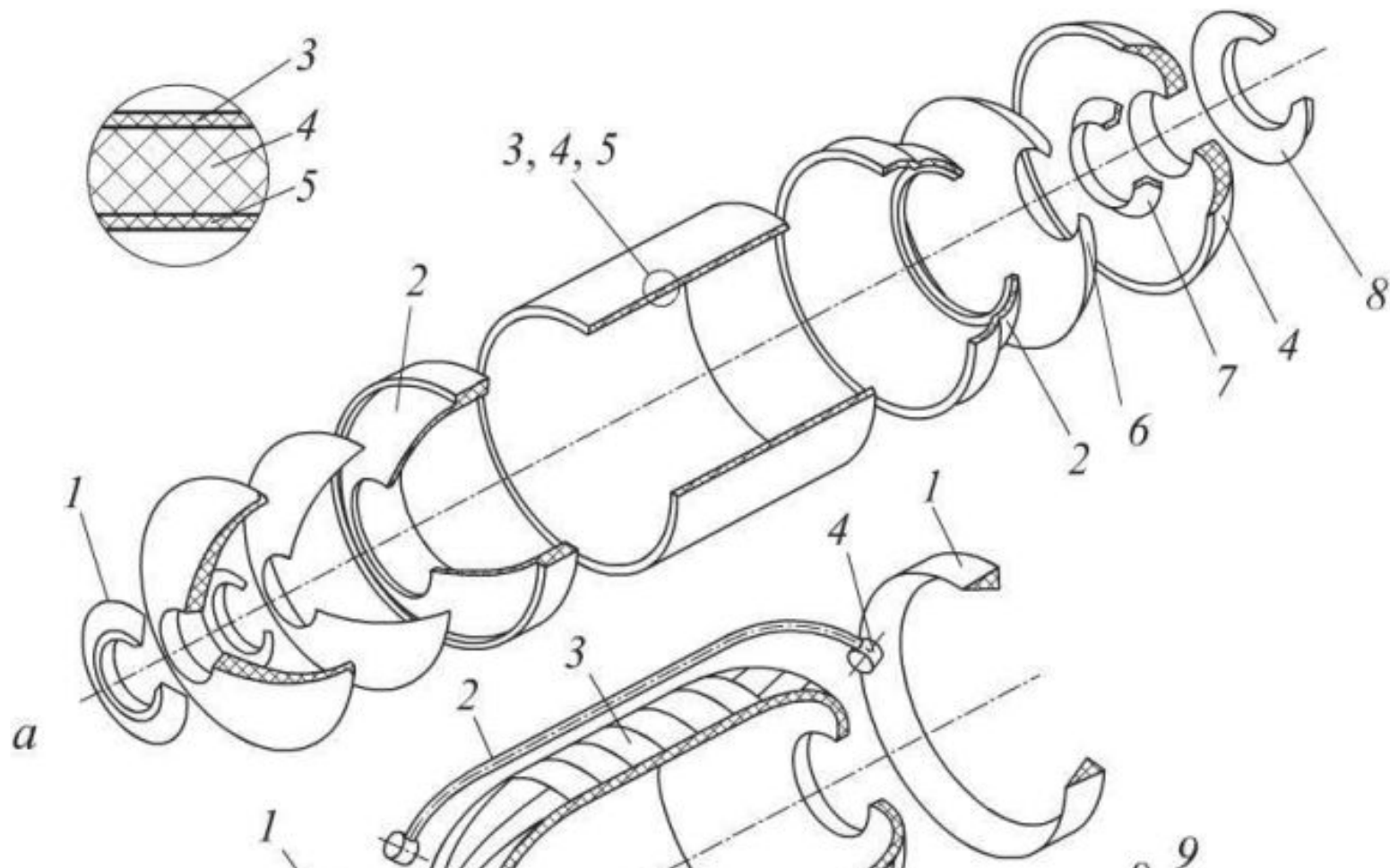
Подсистемы

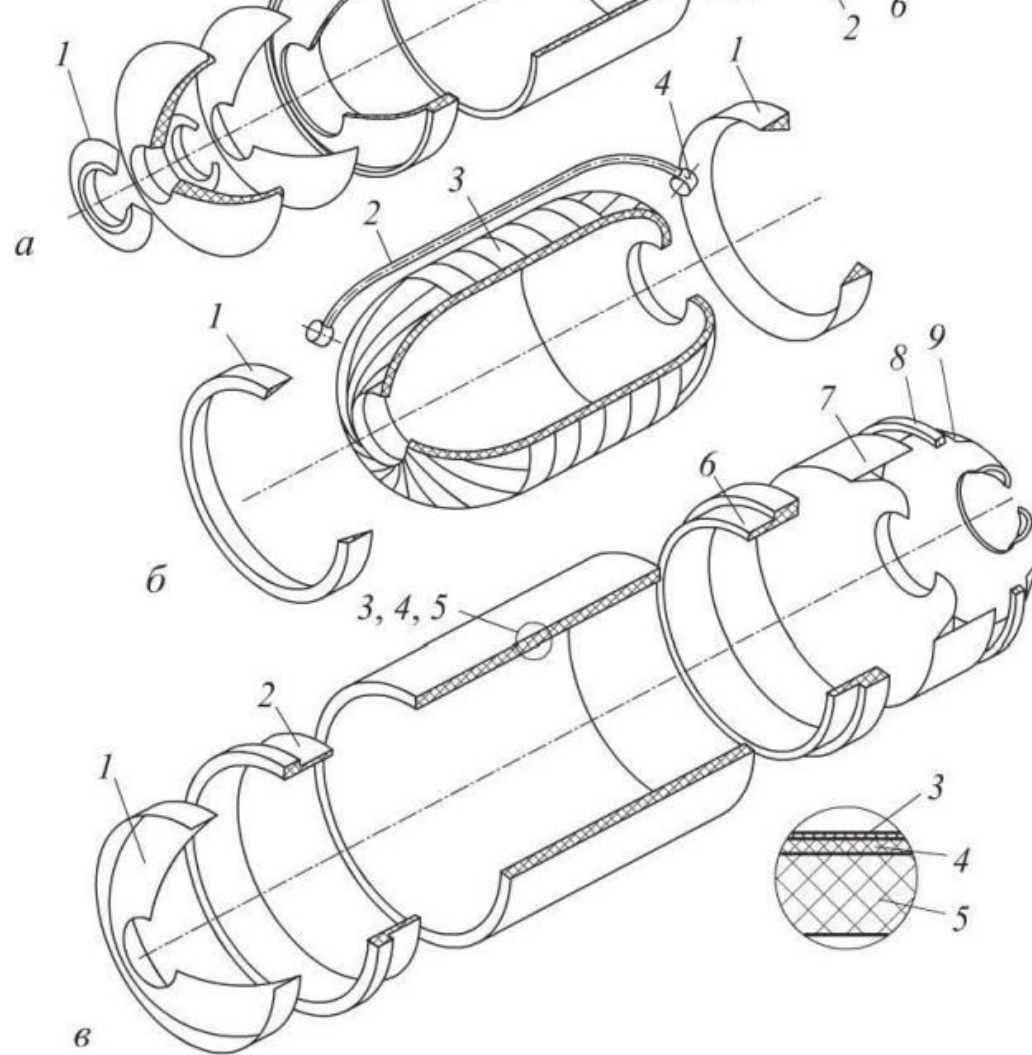


Схема корпуса РДТТ



a — схема защитно-крепящих и теплозащитных слоев (1 — передний фланец; 2 — раскрепляющая манжета; 3 — поверхностный герметизирующий слой; 4 — внутреннее ТЗП; 5 — защитно-крепящий слой; 6 — антиадгезионная пленка; 7 — герметизирующий слой; 8 — задний (сопловой) фланец); *б* — схема силовой обо-





герметизирующий слой; 8 — задний (сопловой) фланец); *б* — схема силовой оболочки (1 — эластичные клинья переднего и заднего узлов стыка; 2 — бортовая кабельная сеть; 3 — первый кокон (силовая оболочка); 4 — разъем бортовой кабельной сети); *в* — схема наружной оболочки (1 — наружный герметизирующий

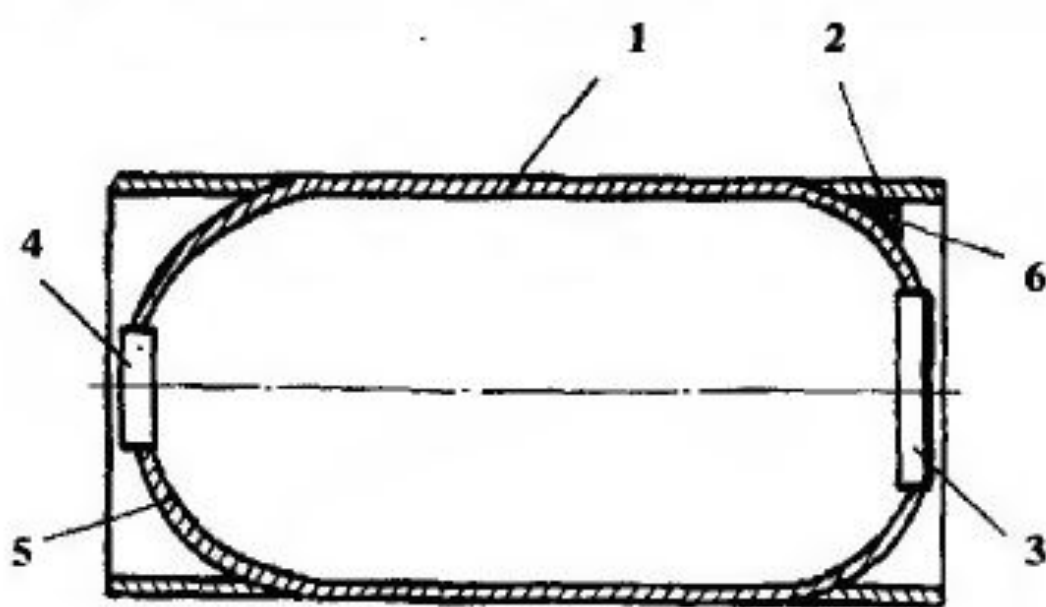


Рис. 16. Схема коконной конструкции корпуса:

1 – цилиндрическая стенка кокона;
2 – узлы стыковки двигателя; 3 – узел крепления соплового блока; 4 – узел крепления передней крышки; 5 – днище; 6 – эластичный клин



Рис. 3.1. Схема технологического процесса изготовления корпуса РДТТ.

ющие удлиненные заряды; $У$ — наружное ТЗП)

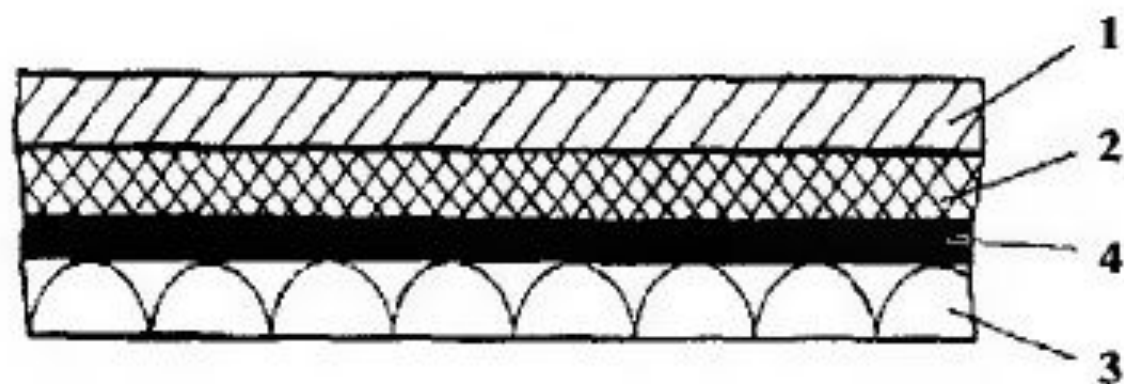
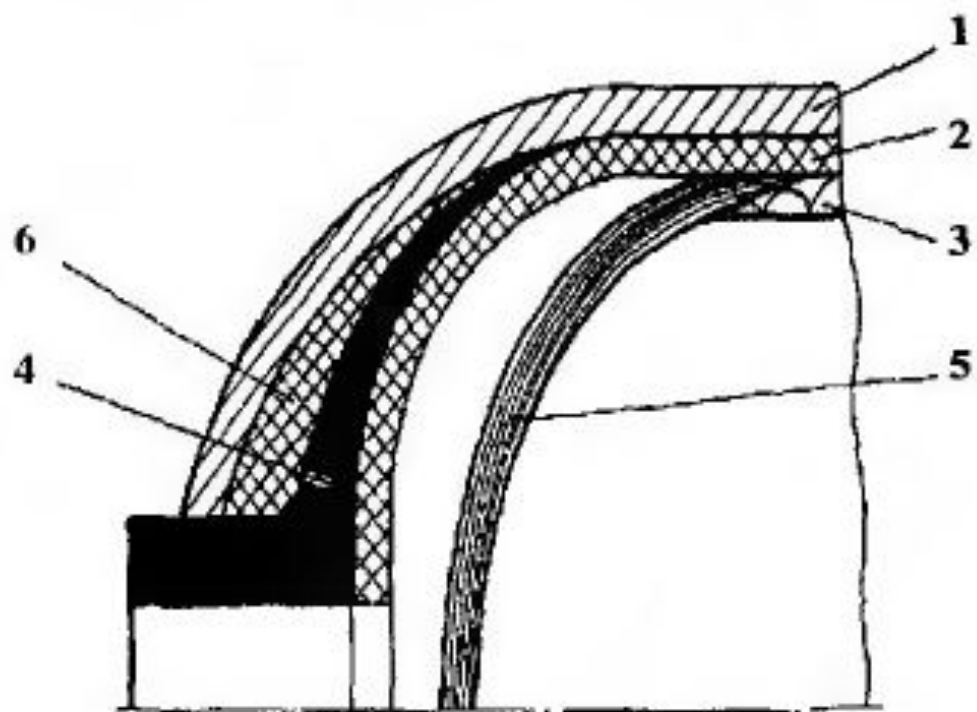


Рис. 17. Стенка цилиндрической части корпуса:

1 – силовая оболочка; 2 – теплозащитное покрытие (ТЗП); 3 – защитно-крепящий слой (ЗКС); 4 – герметизирующий слой



**Рис. 18. Схематический разрез задне-
го днища:**

1 – силовая оболочка; 2 – ТЗП; 3 – ЗКС;
4 – закладной металлический элемент;
5 – манжета; 6 – ТЗП на закладном элементе.

Г
1 –

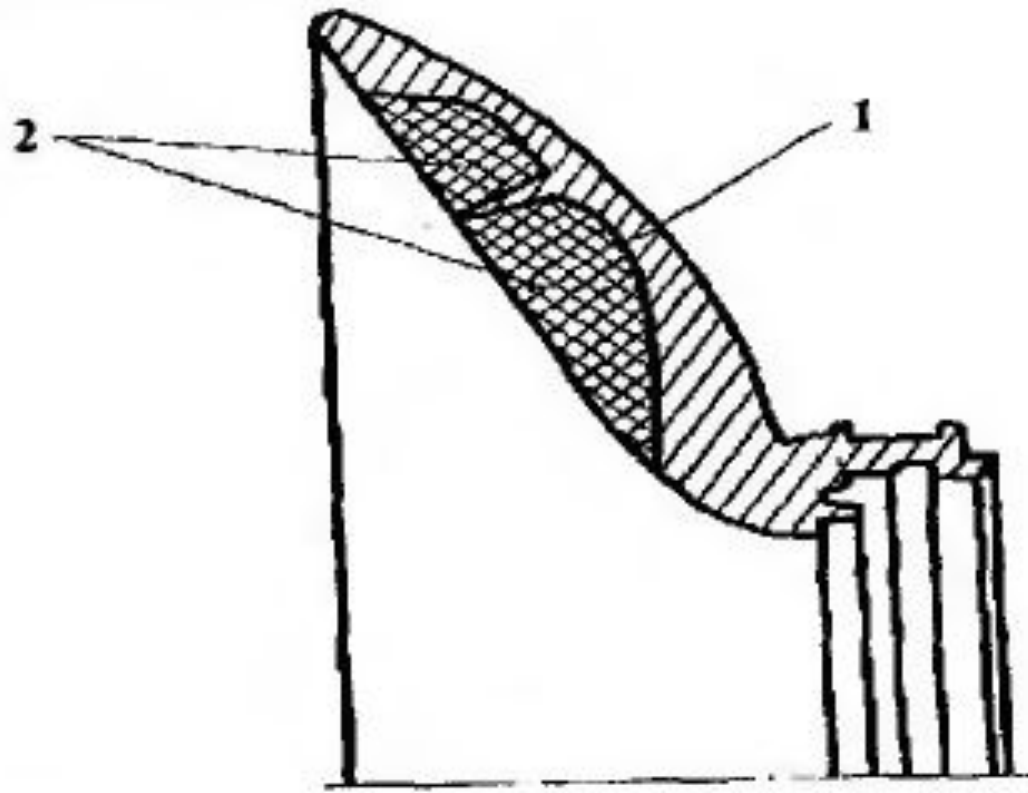


Рис. 19. Закладной силовой элемент:
1 – титановый сплав; 2 – легкий наполнитель

Таблица 2.3

Свойства каучуков, применяемых для теплозащитных материалов

Тип каучука	Марка	Плотность, 10^{-3} кг/м ³	Средняя молекулярная масса, тыс. а.е.м.	Температура стеклования, С
Бутадиен-нитрильный	СКН-18	0,943		-55
	СКН-26	0,962	200-300	-41
	СКН-40	0,968		-22
Бутадиеновый	СКД	0,90-0,92	450-800	-105
	Этиленпропиленовый	СКЭП	80-250	-58
		СКЭПТ		
Бутилкаучук	БК	0,92	300-700	-69
	Силоксановый	СКТ	350-800	-123
		СКТН	20-80	
Фторкаучук	СКФ-26	1,85	100-250	-18
	СКФ-32	1,82	1000	-18
	Наирит	1,20-1,25	100-200	-40
Хлорпреновый				
Хлорсульфированный полиэтилен	ХСПЭ	1,12-1,28	20-40	-60
	Полисульфидный	1,37	200-500	-43
Уретановый	СКУ	1,21-1,25	20-30	-35

Марки и состав теплозащитных материалов

Марка ТЗМ	Каучук	Смола	Наполнитель	Пластификатор	Вулканизирующая группа
51-2058	СКН-26М	СФ-010А	Диатомит	Фталиевый ангидрид	Тиурам, каптакс, уротропин
51-2135	СКМ-40М СКЭПТ-40	СФ-010А	Асбест М4 Белая сажа	ДБС Фактис	Тиурам, альтакс, ди-тиодиморфолин, уротропин
51-2147	СКН-40М СКЭПТ-40	СФ-010А	Асбест М4	ДБС, ТГМ	То же
51-2110	СКЭПТ-50	—	Белая сажа	—	Тиурам, альтакс, ди-тиодиморфолин
51-2101	СКЭПТ-40	—	Асбест М4	—	То же
51-2180	СКЭПТ-40	—	»	ДОС	Тиурам, сера, каптакс
АФК-В	СКН-26	Резал	Ткань АТ1	—	—
АР-998	Резина 51-2110	—	Ткань АЛТ6	—	—
КНК	СКН-10, КТР	ЭД-20	Асбест М4, стеклянные микросферы	—	—

Свойства некоторых типов ТЗМ

Свойство	Тип				
	51-2058	51-2110	51-2101	АФК-В	КНК
Плотность, 10^{-3} кг/м ³	1,12–1,20	1,08–1,09	1,13–1,16	1,00–1,15	0,75–0,85
Прочность при растяжении, МПа	9	9	5	14–25	3,5
Относительное удлинение, %	300	450	60	7–8	60
Модуль упругости при = 10 %, МПа	4–9	4–9	71	140	14–20
Теплопроводность, Вт/(м × К)	0,20–0,25	0,20–0,24	0,23–0,28	0,29–0,34	0,16–0,19
Температуропроводность, 10^{-7} м ² /с	1,13–1,35	1,26–1,48	1,28–1,47	1,78–2,11	1,30–1,41
Средний ТКЛР, 10^{-6} К ⁻¹	115–145	210–255	103–141	10	75–105
Коэффициент Пуассона	0,39	0,45	—	0,21	0,47
Параметр эффективности, см ² × с/г при скорости газов (м/с):					
10	38	67	67	—	84
25	26	47	—	41	63
50	16	22	48	—	28
100	—	—	35	32,5	—
Выход коксового остатка в инертной среде, %	27–28	22–24	31–32	—	—
Содержание летучих при полном пиролизе, г/см ³	0,86	0,89	0,80	—	—

Примечание. Параметр эффективности определялся при $p = 4,5 \pm 1,0$ МПа.

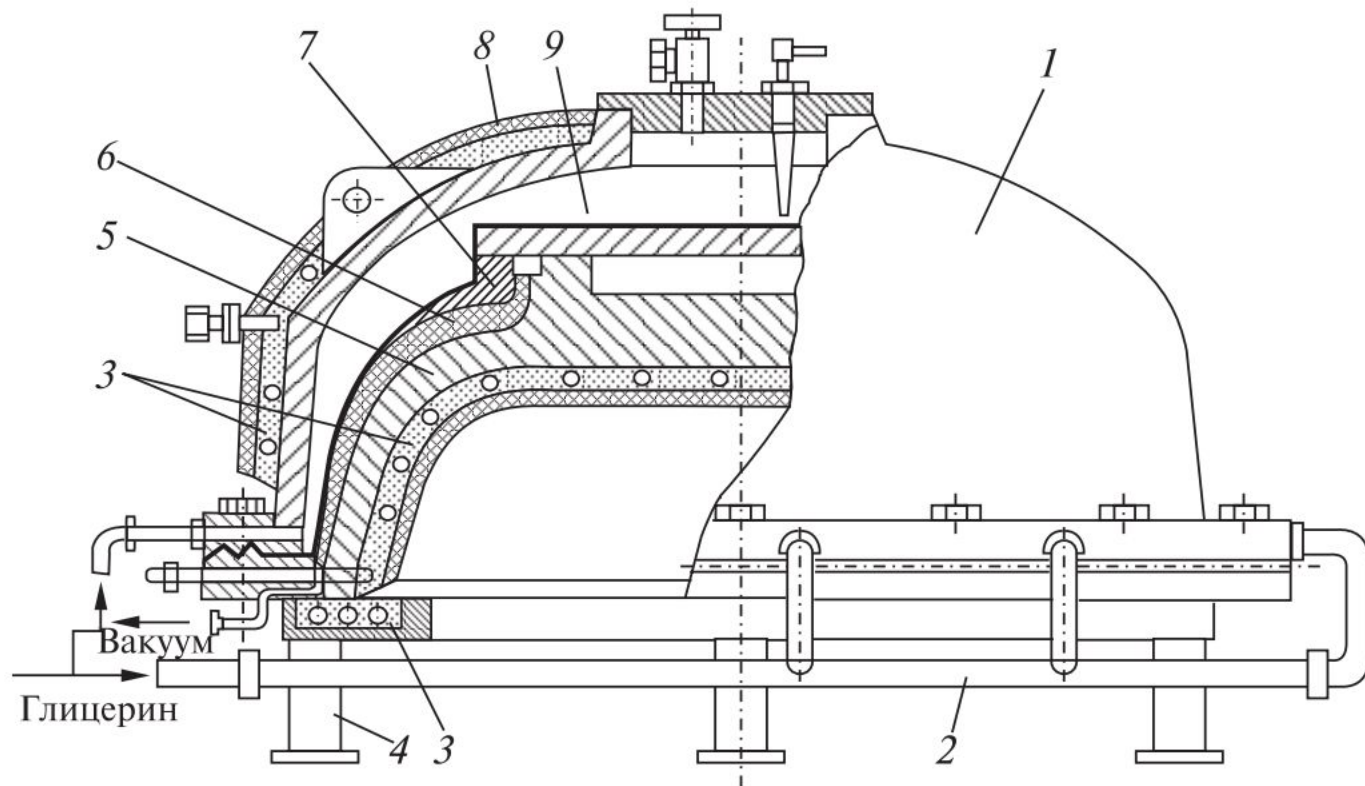


Рис. 3.7. Пресс-форма для изготовления ТЗП днищ корпуса РДТТ.
 1 — крышка гидроклавной формы; 2 — трубопровод для подачи глицерина; 3 — нагреватели; 4 — обогреваемые подставки; 5 — матрица; 6 — заготовка покрытия днища; 7 — фланец; 8 — теплоизоляция; 9 — вакуумный мешок.

Варианты склеиваемых материалов и клеевых композиций

Склеиваемая поверхность	Клеевая композиция
Резина на основе этиленпропиленовых каучуков и резина на основе фторкаучуков	Система клеев на основе растворов политрихлорбутадиена и фторкаучука
Резина на основе этиленпропиленовых каучуков и металлы (сплавы титана)*	Система клеев на основе политрихлорбутадиена и фенолокаучукового клея
Резина на основе этиленпропиленовых каучуков и органопластик	Клей на основе политрихлорбутадиена
Невулканизированная этиленпропиленовая резина и вулканизированная	Клей на основе бутилкаучука
Невулканизированные этиленпропиленовые резины между собой	Бензин

* На отслаивание — не менее 0,2 МПа.

Системы

Подсистемы



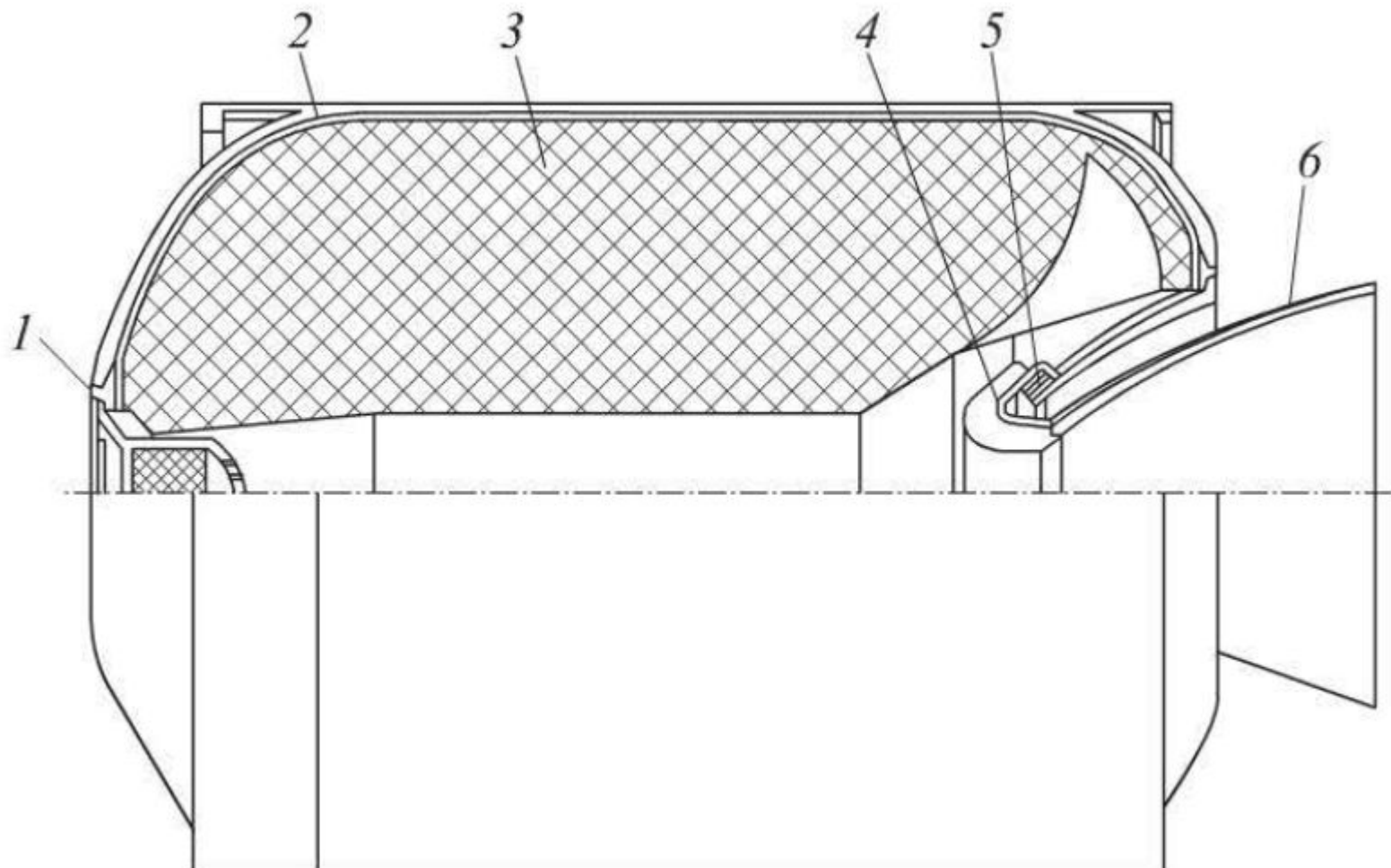
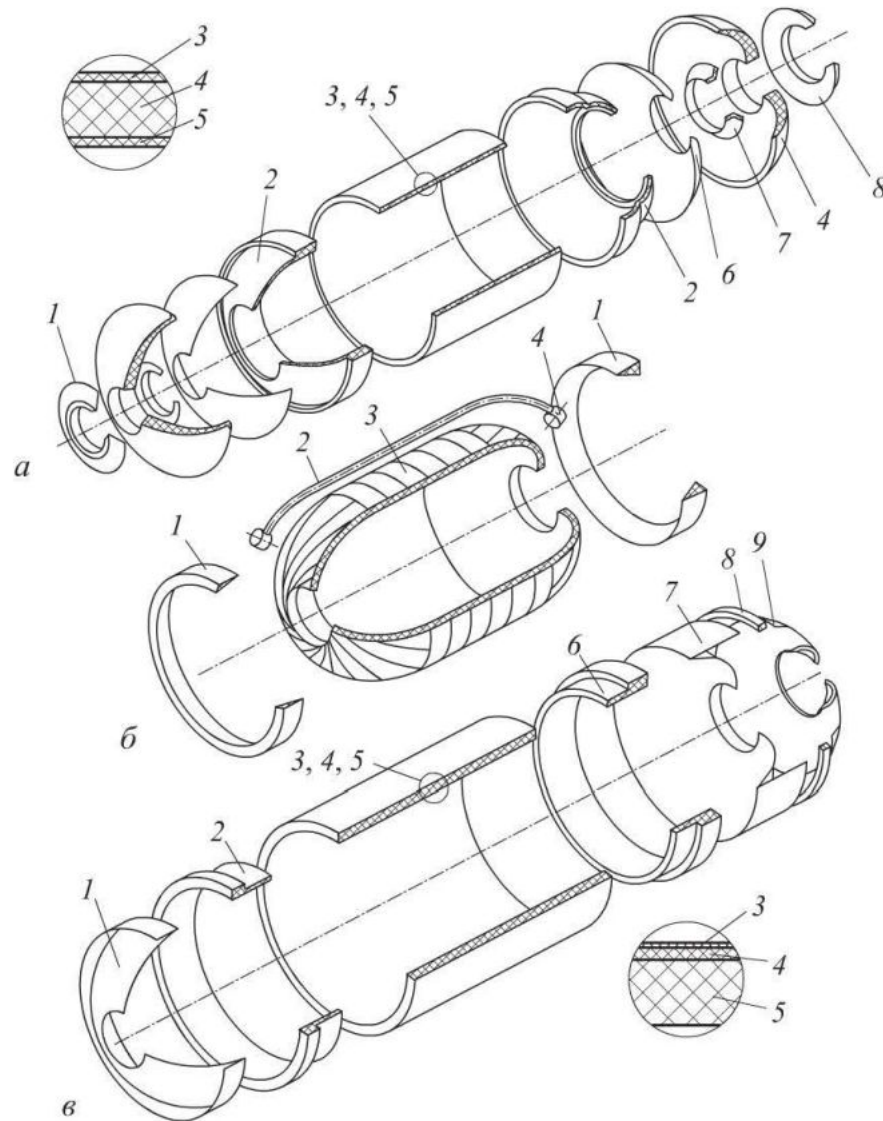
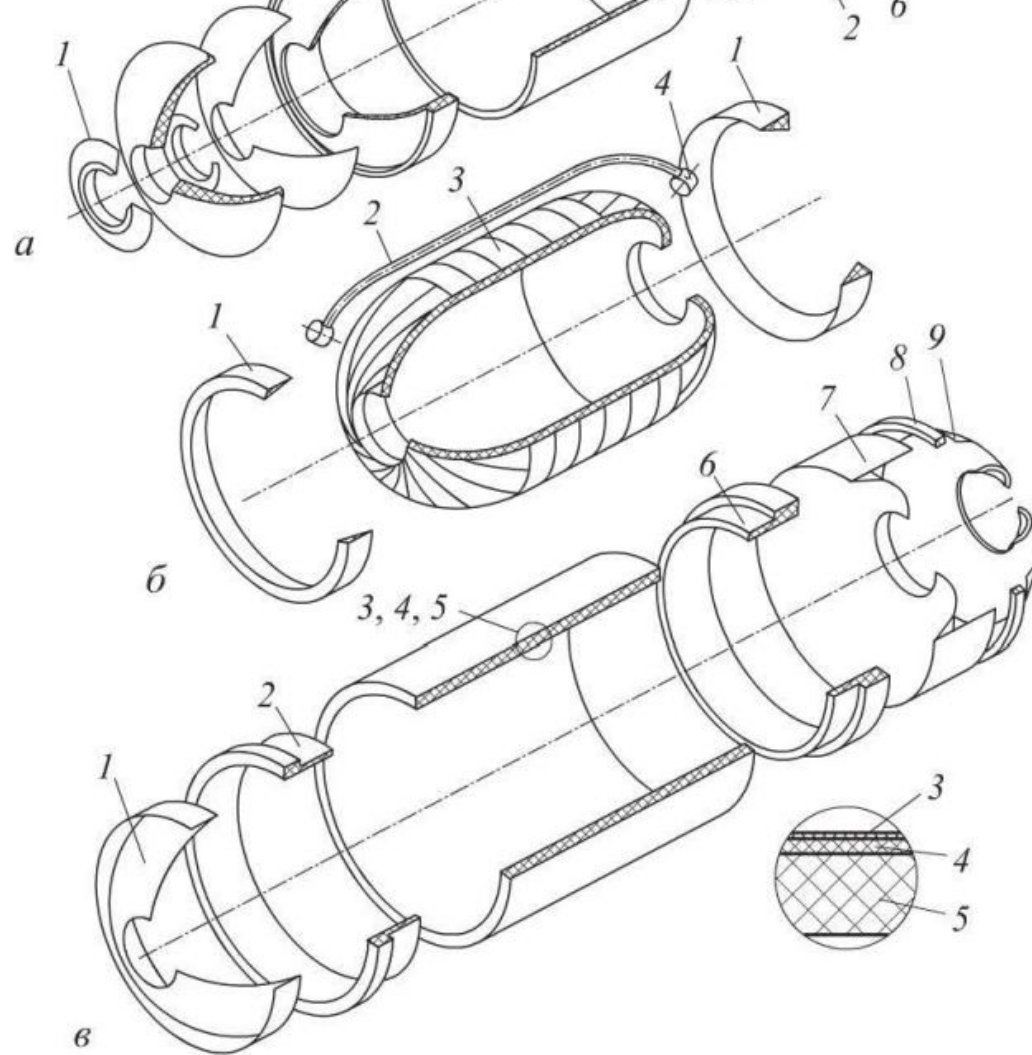


Рис. 1.2. Конструктивная схема маршевого РДТТ:

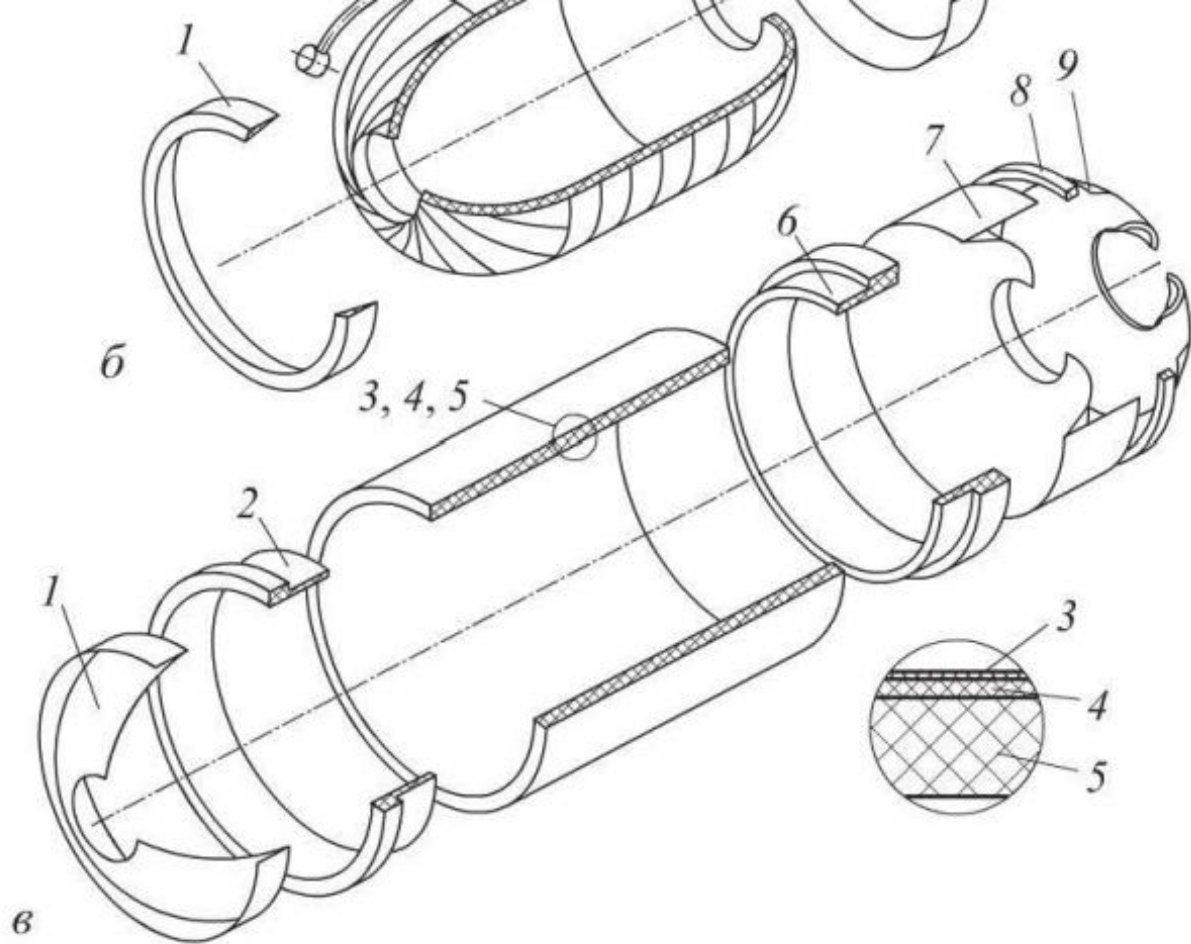
a — второй ступени МБР «Трайидент-1»; *б* — третьей ступени МБР «МХ»; *1* — передний фланец; *2* — корпус; *3* — заряд ТТ; *4* — сопловой блок; *5* — эластичный шарнир; *6* — раструб сопла; *7* — выдвигающиеся секции насадка раструба сопла

Схема корпуса РДТТ





герметизирующий слой; 8 — задний (сопловой) фланец); *б* — схема силовой оболочки (1 — эластичные клинья переднего и заднего узлов стыка; 2 — бортовая кабельная сеть; 3 — первый кокон (силовая оболочка); 4 — разъем бортовой кабельной сети); *в* — схема наружной оболочки (1 — наружный герметизирующий



белой сети); *в* — схема наружной оболочки (1 — наружный герметизирующий слой переднего днища; 2 — передний узел стыка; 3 — лакокрасочный токопроводящий слой; 4 — наружный влагозащитный слой; 5 — второй кокон; 6 — задний узел стыка; 7 — наружный герметизирующий слой заднего днища; 8 — детонирующий удлиненный заряд; 9 — наружное ТЗП)

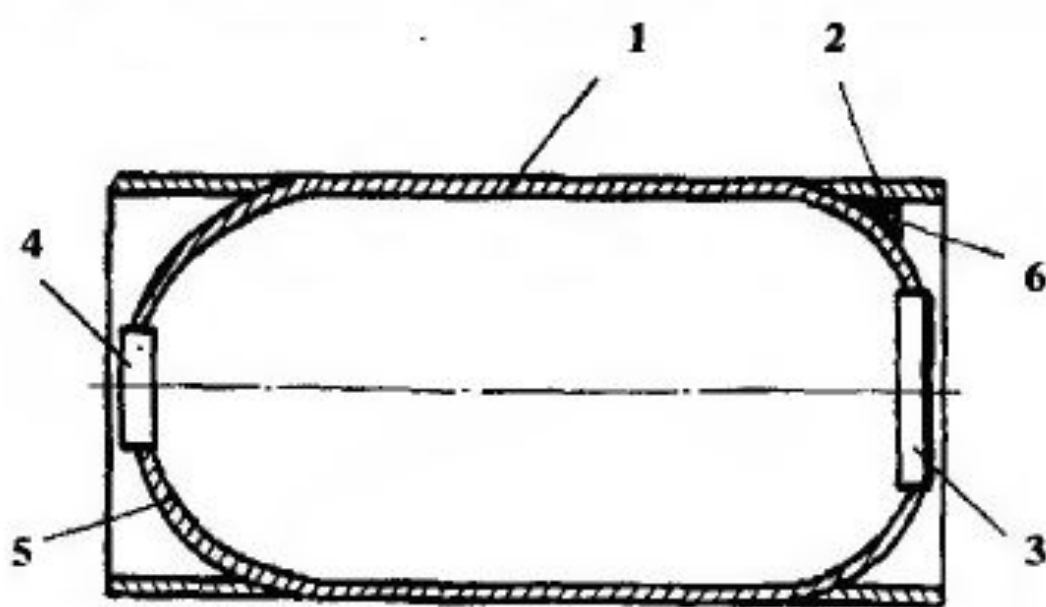


Рис. 16. Схема коконной конструкции корпуса:

1 – цилиндрическая стенка кокона;
2 – узлы стыковки двигателя; 3 – узел крепления соплового блока; 4 – узел крепления передней крышки; 5 – днище; 6 – эластичный клин

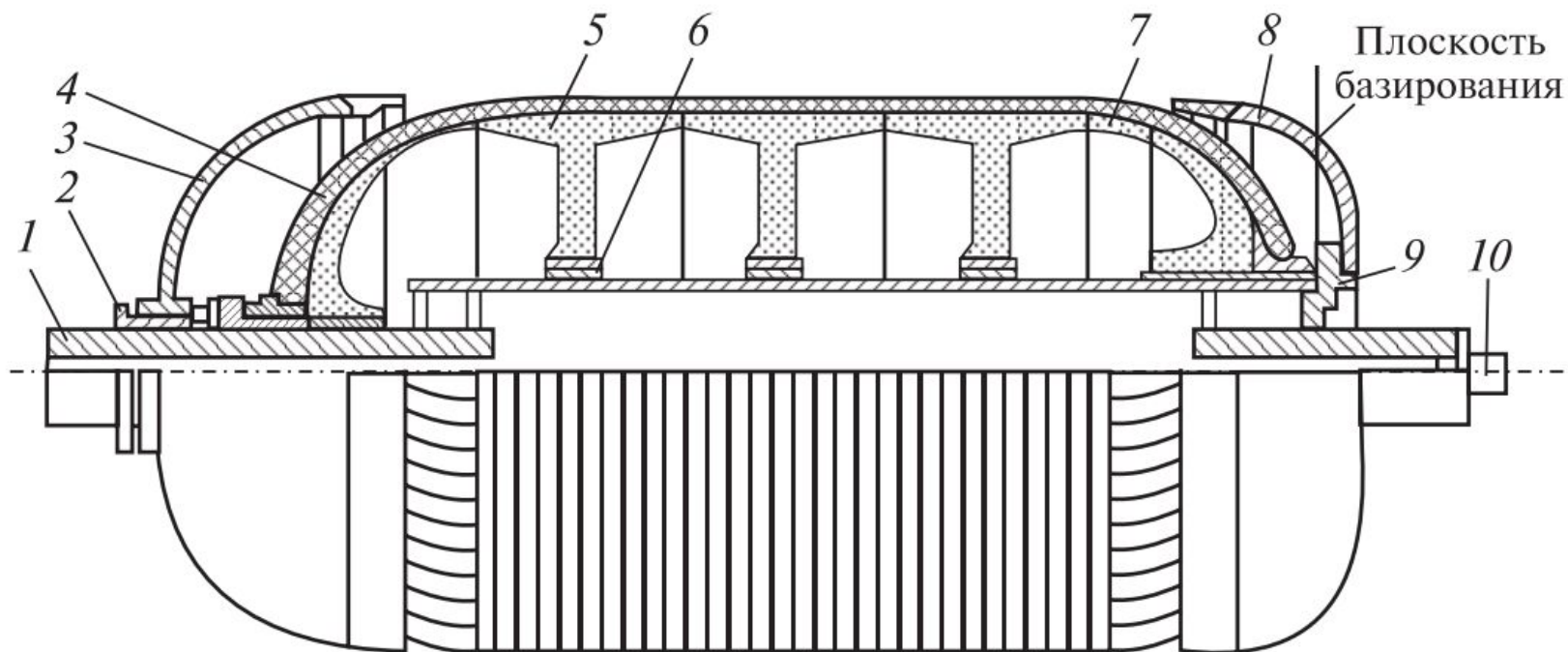


Рис. 3.2. Конструкция оправки для намотки силовой оболочки корпуса РДТТ “юбками”.

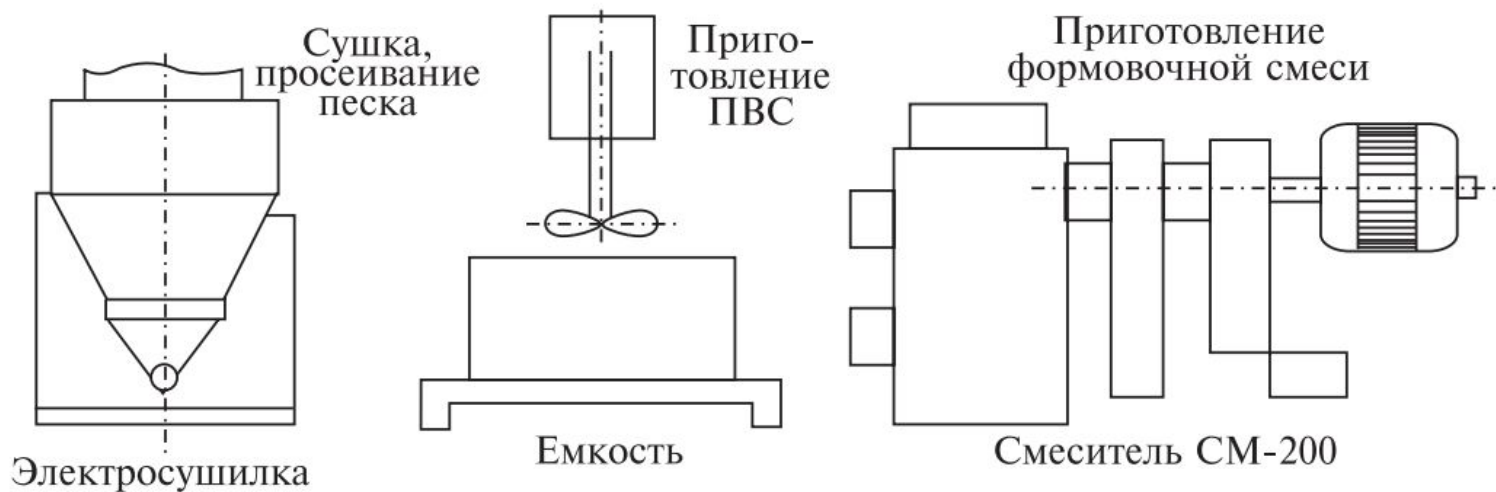
1 — шпонка для передачи вращения с вала на оправку; 2, 6 — втулки; 3, 8 — секции для намотки второго кокона; 4, 7 — песчано-полимерные днища; 5 — песчано-полимерные цилиндрические элементы; 9 — установочные элементы; 10 — вал.

Таблица 3.2

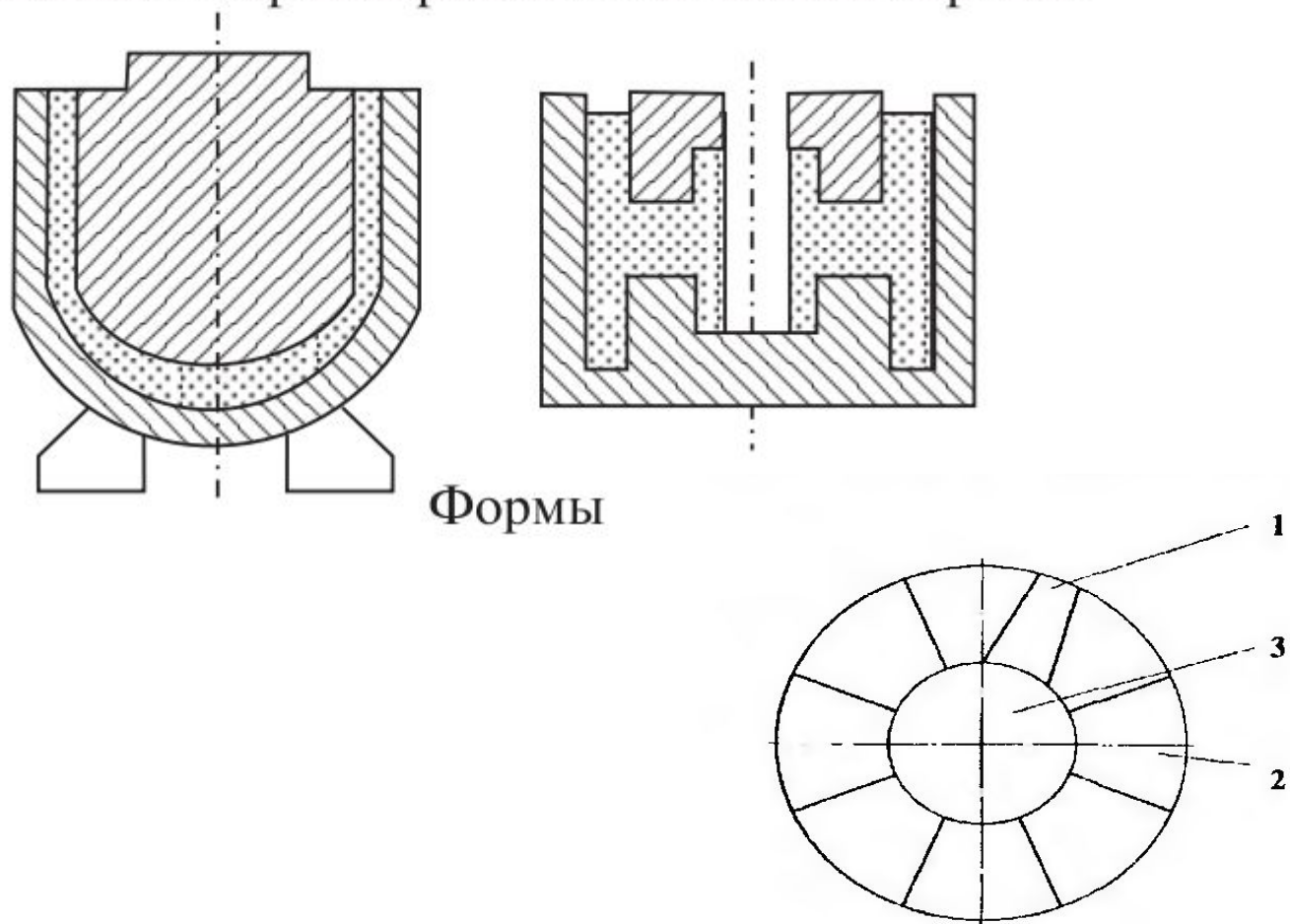
Характеристики клеев и клеевых соединений для склеивания элементов оправки

Показатель	К-153	Водорастворимый на основе эпокситриальной смолы (ЭТС)
Жизнеспособность, ч (порции до 3 кг)	0,5	0,5
Время отверждения, ч (при температуре не менее 15–35 °С)	16	24
Прочность при сжатии отвержденного клея не менее, МПа	30	20
Прочность склеивания материала оправок при отрыве, МПа	5–8	5–7
Размываемость оправки горячей водой	Не размывается	Размывается
Характер разрушения оправки	Разрушение по материалу оправки	Разрушение по материалу оправки

Технологическая аппаратная схема изготовления оправки.

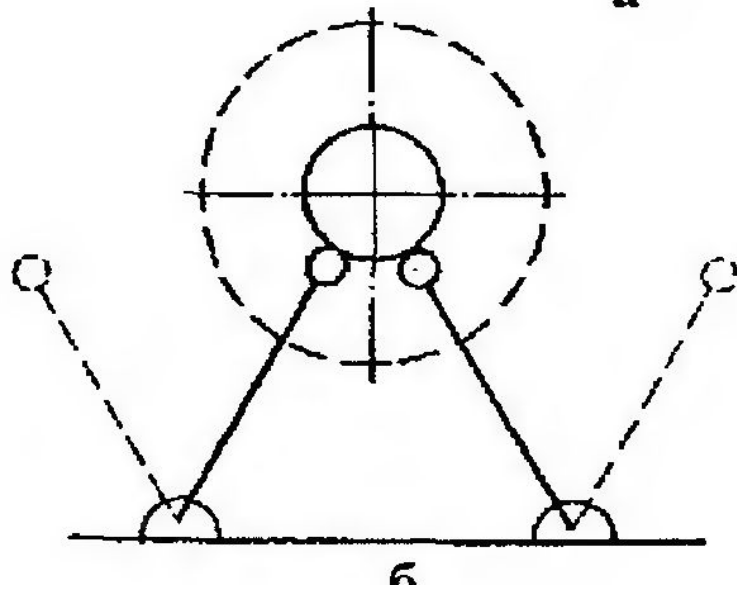
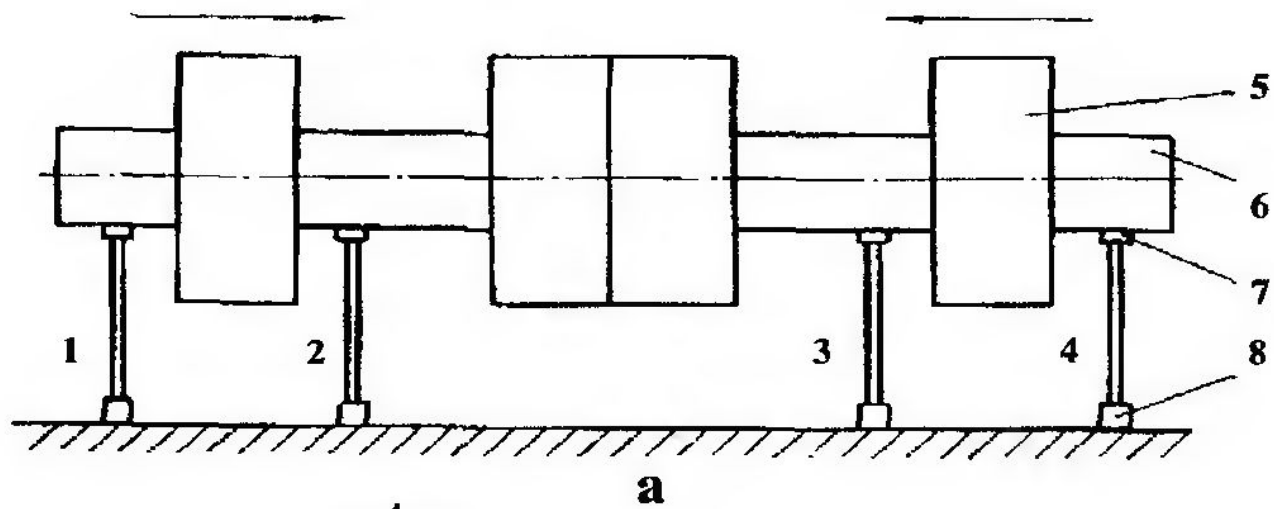


Формование и термообработка элементов оправки



Формы

Рис. 22. Эскиз набора карт оправки:
1 – карта с обратным клином; 2 – сектор-
ные карты; 3 – центральный вал



Сборка цилиндрической части оправки

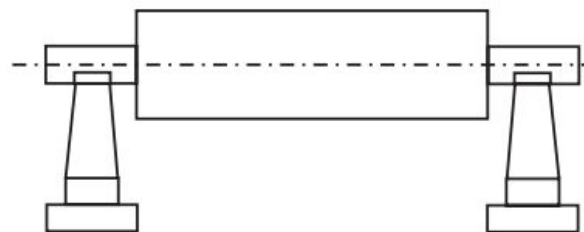


Рис. 25. Схема стапеля для сборки оправки:

а – вид сбоку; б – вид с торца;
 1, 2, 3, 4 – подставки; 5 – элементы оправки; 6 – вал; 7 – ролики; 8 – шарниры

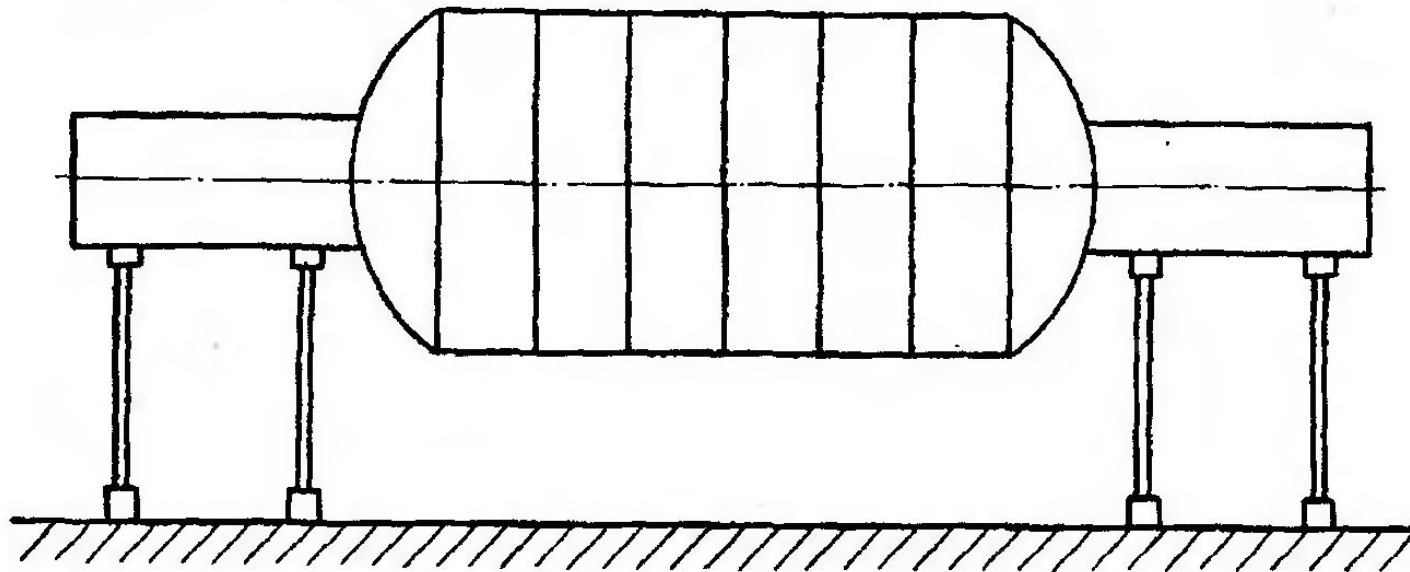


Рис. 26 Собранная оправка на стапеле

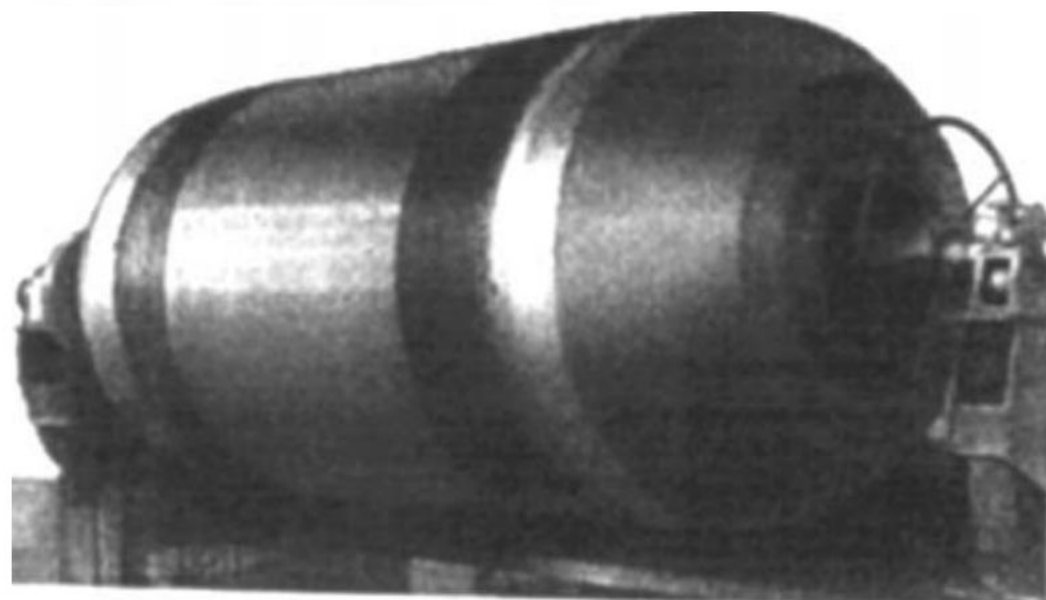
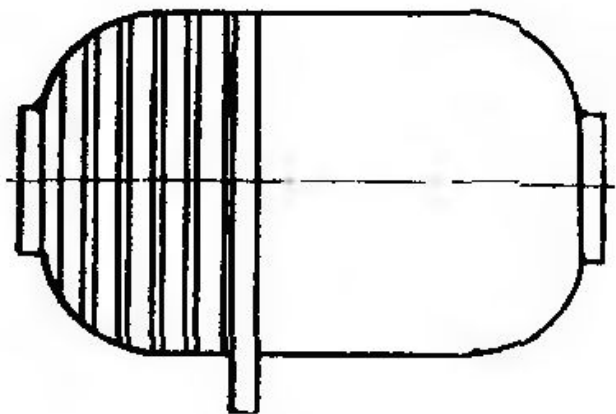
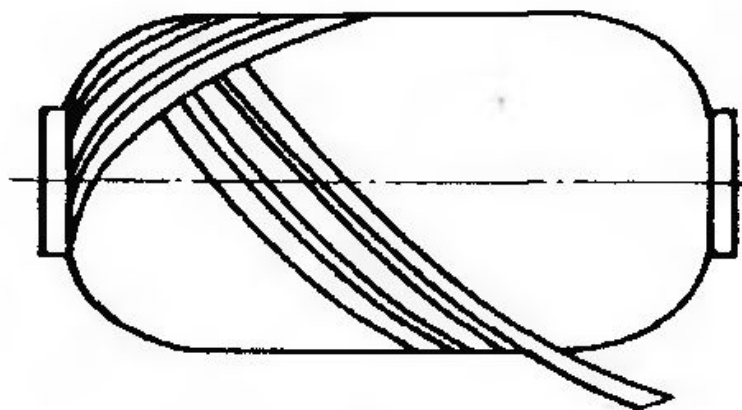


Рис. 3.4. Общий вид оправки для намотки корпуса РДТТ.



а



б

Рис. 28. Схемы намотки:

а – кольцевая; б – геодезическая

**Физико-механические характеристики однонаправленных армированных пластиков
в сравнении с металлами**

Параметр	Стекло-пластик	Угле-пластик	Органо-пластик	Боро-пластик	Сталь	Алю-миний
Плотность, $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	2,1	1,5	1,38	1,9	7,8	2,7
Предел прочности, ГПа:						
при растяжении вдоль волокон, $\bar{\sigma}_1^+$	1,75	1,1	1,8	1,6	3,8	0,29
при сжатии, $\bar{\sigma}_1^-$	0,65	0,45	0,28	2,4	3,8	0,29
при сдвиге, t_{12}	0,048	0,027	0,042	0,102	—	—
Удельная прочность при растяжении вдоль волокон, 10^{-3} , м	83	73	130	80	50	11
Модуль упругости вдоль волокон, $E_1^+ \cdot 10^{-3}$, ГПа	57	180	72	210	200	70
Удельная жесткость, 10^{-6} , м	2,7	12	5,3	10,5	2,5	0,28
Модуль сдвига, G_{12} , ГПа	5,2	5,0	2,0	6,2	—	—

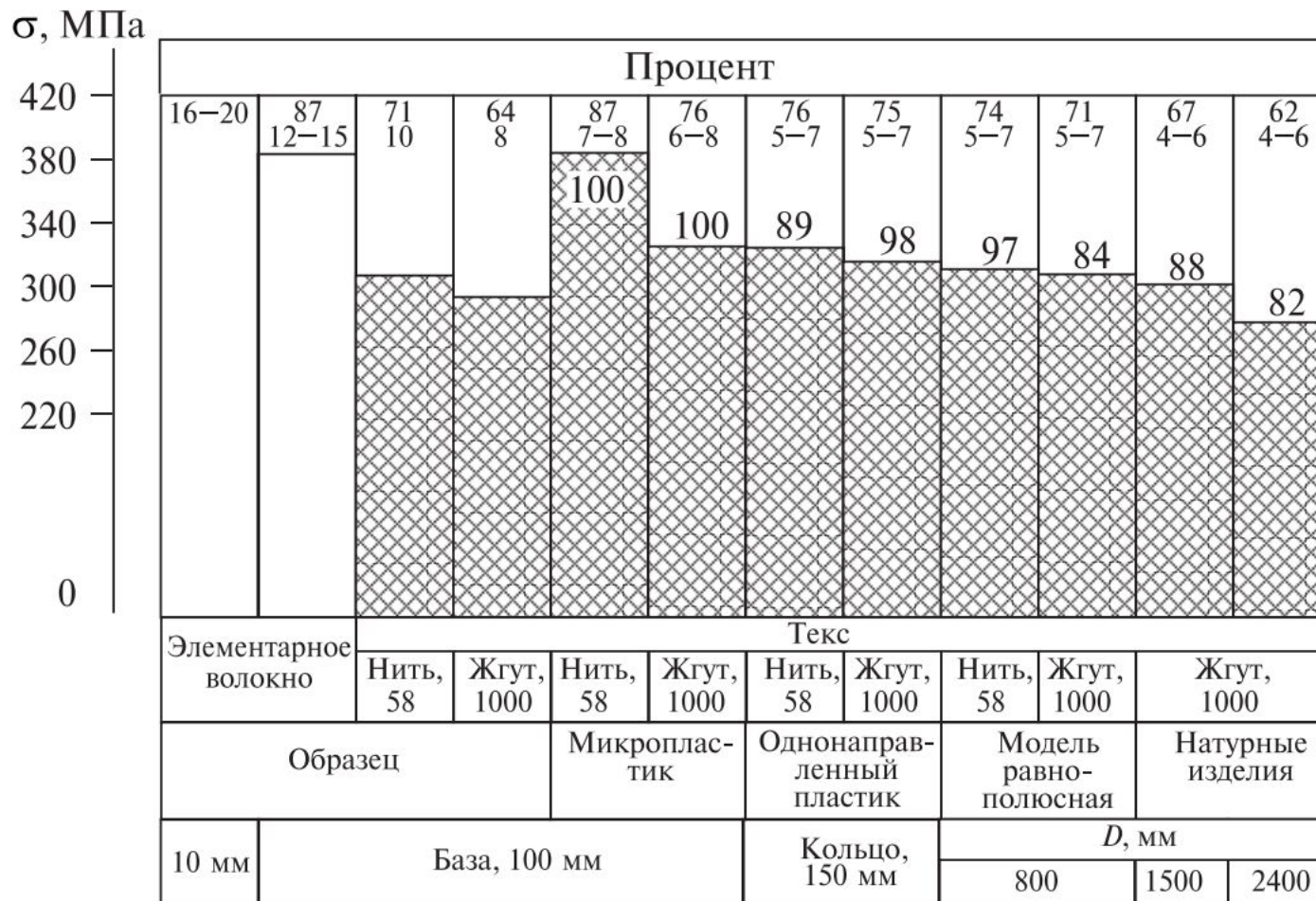


Рис. 2.1. Влияние вида армирующего наполнителя на коэффициент реализации.

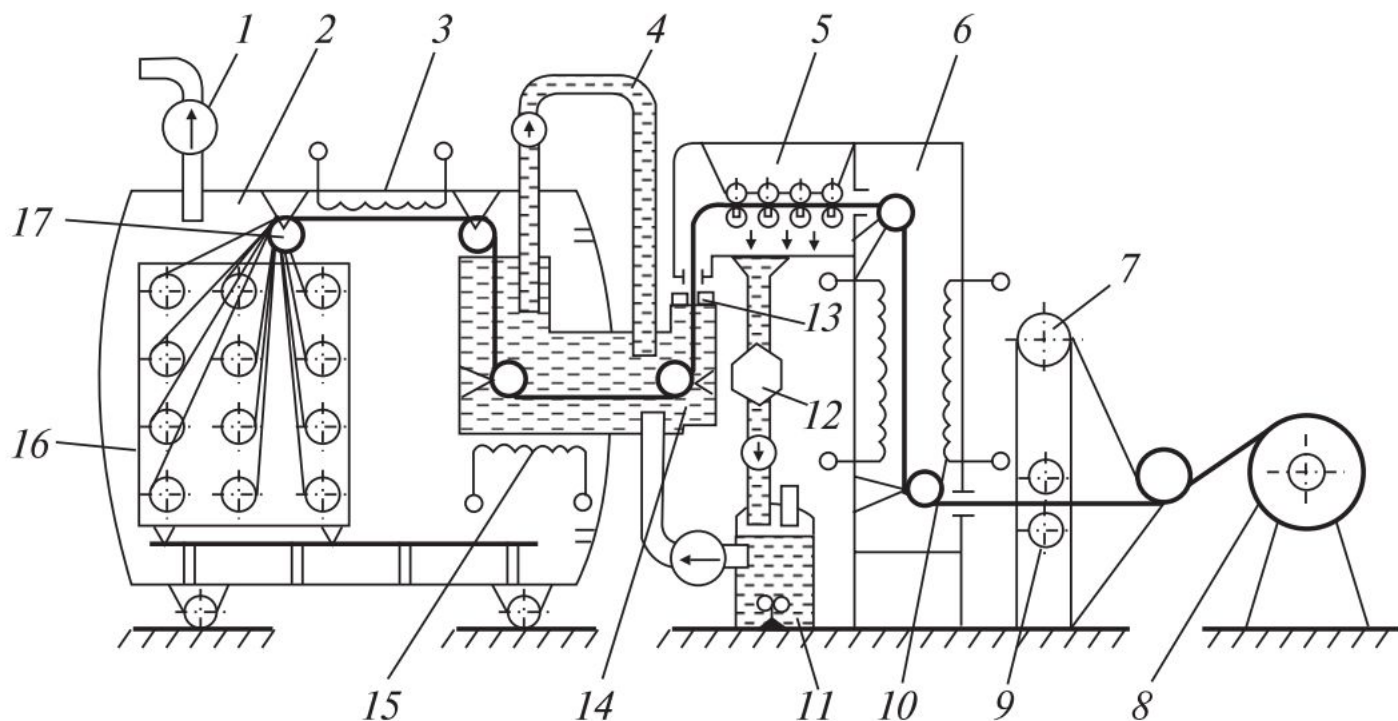
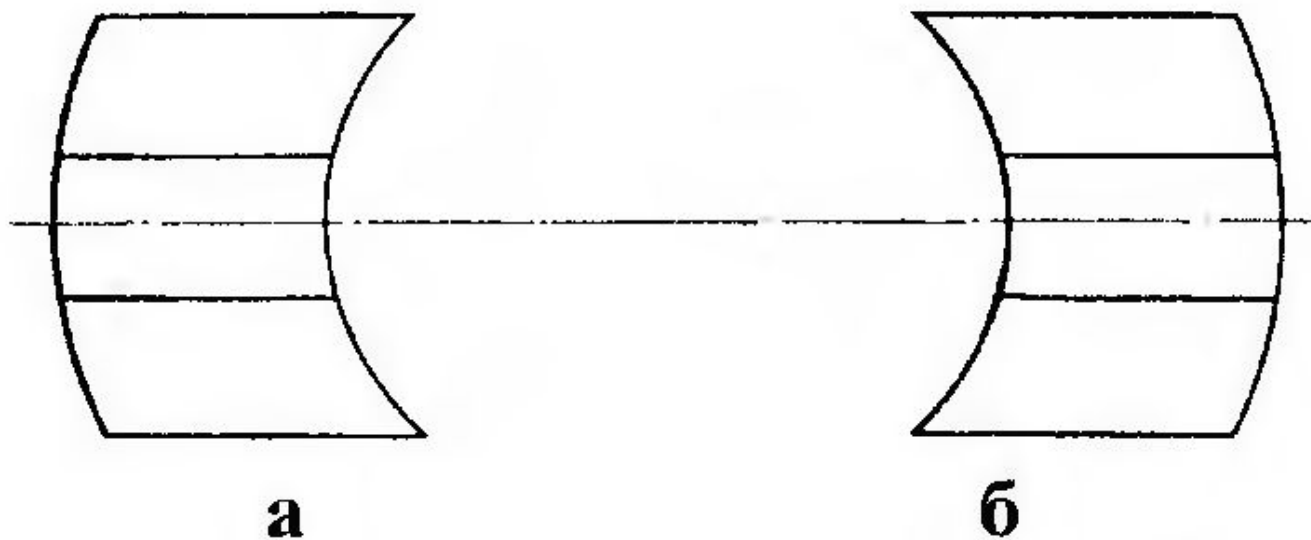


Рис. 2.2. Схема пропиточной установки для получения препрега.

1 — вакуумный насос; 2 — вакуумная камера; 3 — нагреватель; 4 — компенсатор уровня связующего; 5 — отжимное устройство; 6 — сушильная печь; 7 — бобина с разделительной пленкой; 8 — рулон с готовым препрегом; 9 — калибрующее устройство; 10 — нагреватель; 11 — ресивер; 12 — фильтр; 13 — вакуумный затвор; 14 — ванна со связующим; 15 — нагреватель; 16 — шпулярник с нитяным наполнителем; 17 — распределительный барабан.



. «Ложные» днища:

а – левое: б – правое

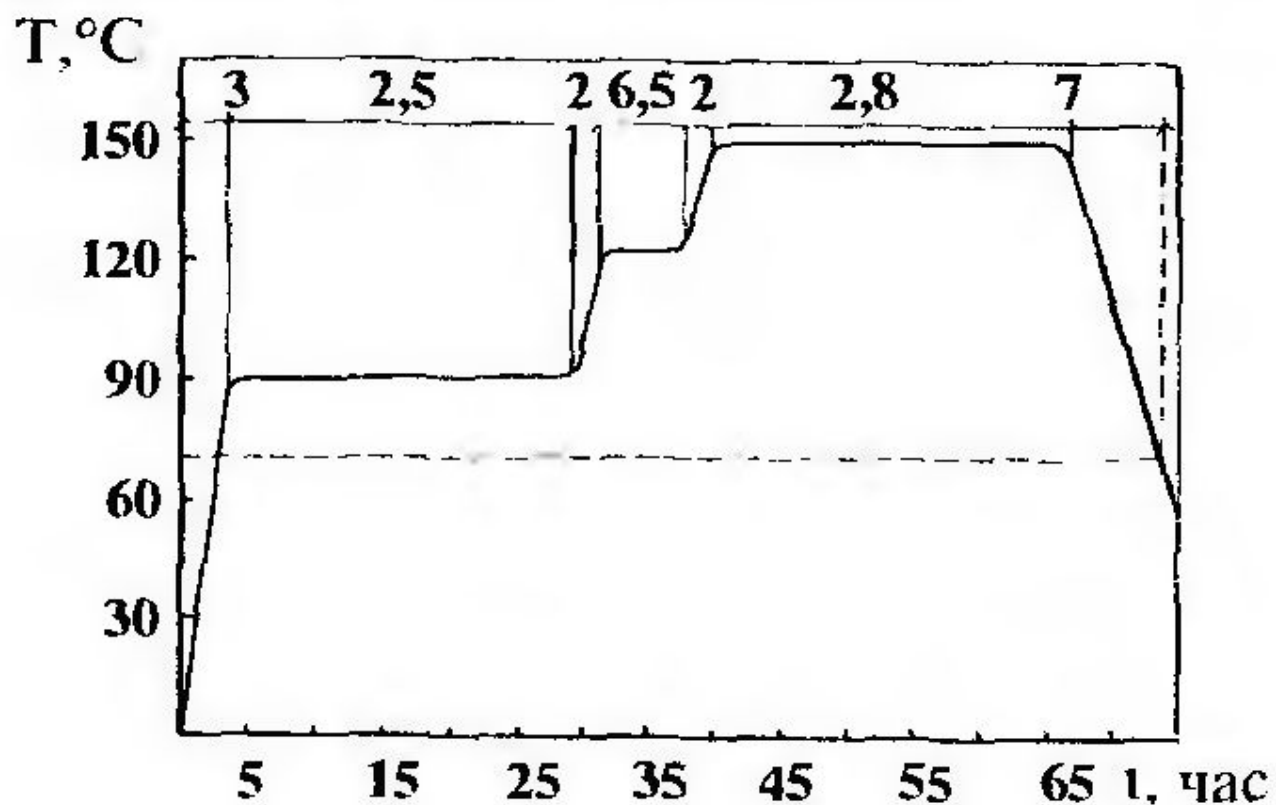


Рис. 30. Температурный режим полимеризации корпуса

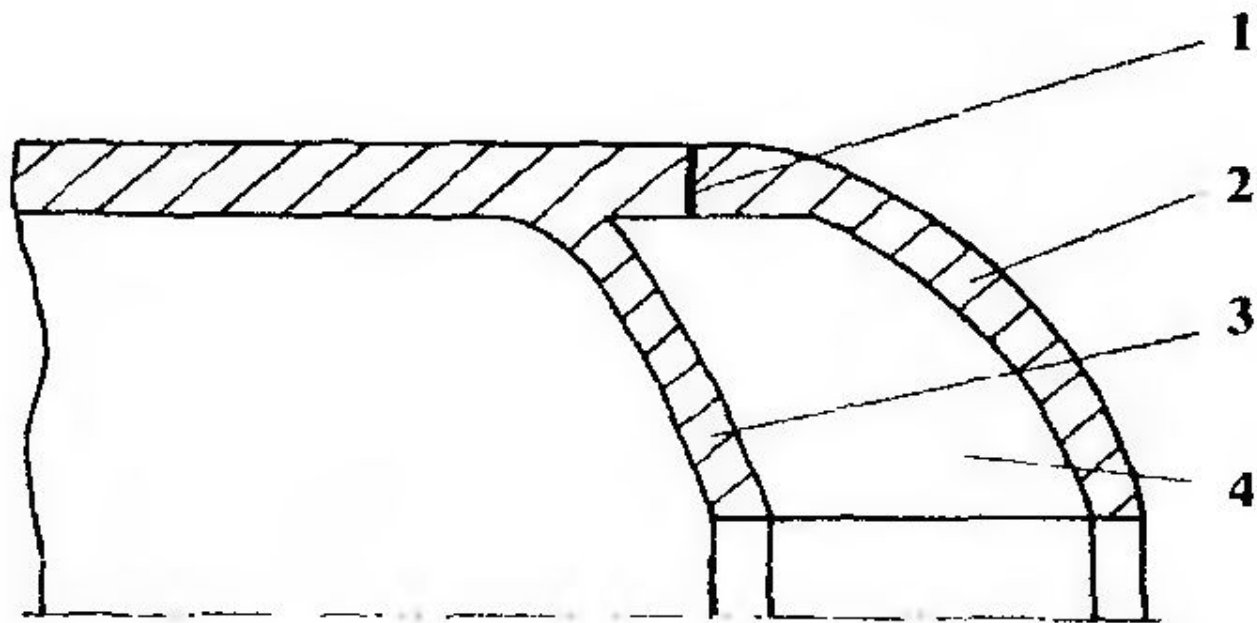


Рис. 31. Схема подрезки корпуса:

1 – место подрезки; 2 – «ложное» днище;
3 – днище «кокона»; 4 – оснастка «ложных»
днищ

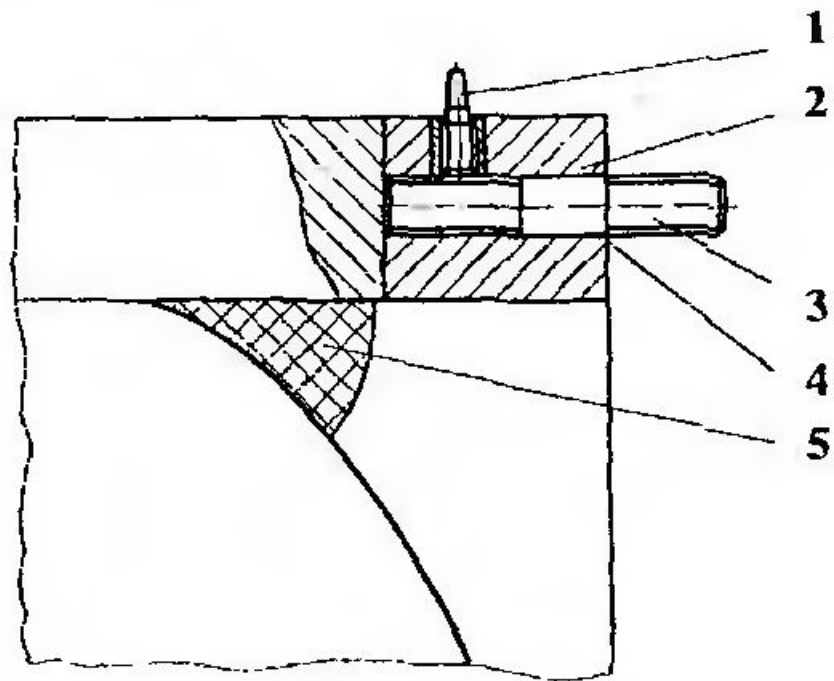


Рис. 32. Схема штифто-болтового соединения:

1- штифт; 2- стеклопластик; 3- шпилька; 4- компаунд; 5- компенсатор

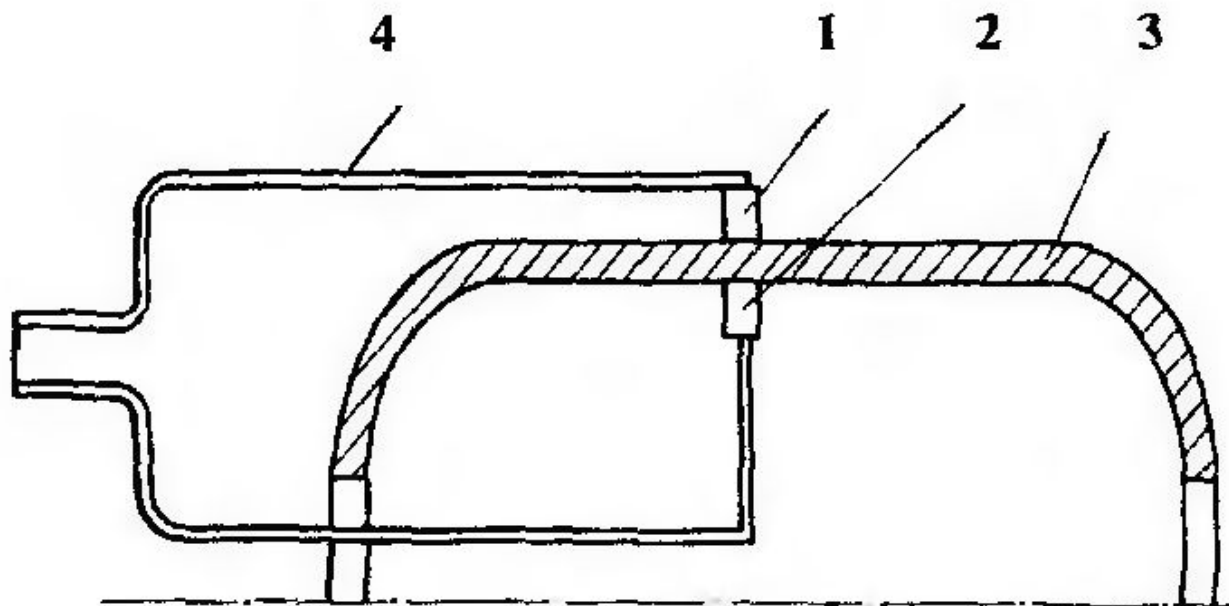


Рис. 33. Схема теневого метода неразрушающего контроля:

1, 2 – первичный и вторичный преобразователи; 3 – стенка корпуса; 4 – штанга

Применение ПКМ в РДТТ

