



МГТУ им. Н.Э. Баумана
Национальный исследовательский университет



Заведующий кафедрой СМ-13
«Ракетно-космические композитные конструкции», д.т.н., профессор
Резник Сергей Васильевич

E-mail: sreznik@bmstu.ru sergeyvasreznik@gmail.com

+7(909)676-39-53, +7(499)263-64-66

История научной школы по композиционным материалам

Часть 4. СССР: Ракетный тепловой барьер

Москва 2020

К окончанию 2-й мировой войны противоречия между СССР с одной стороны и США и Великобританией с другой, вылились в «Холодную войну». Силы были не равны.

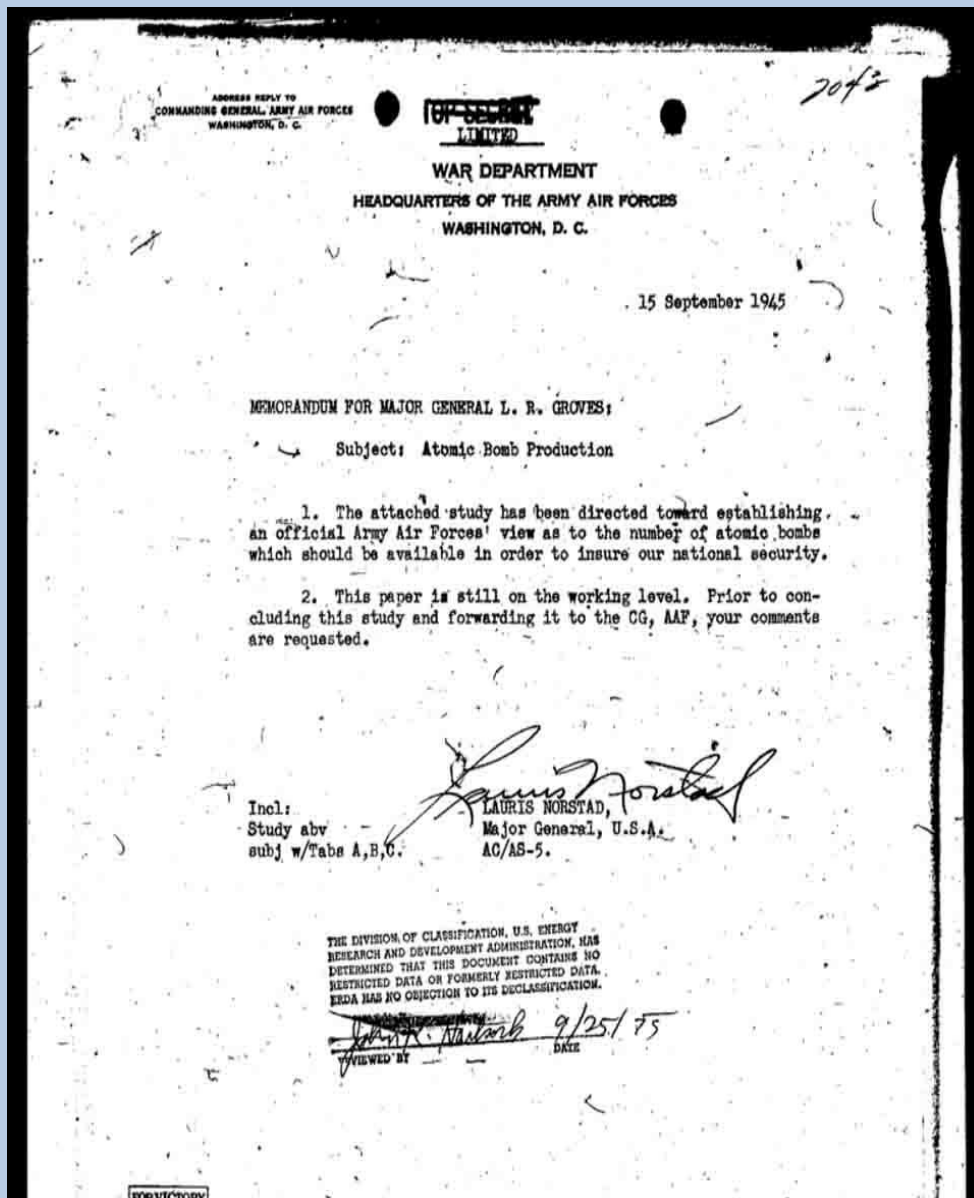
У **СССР** были огромные людские потери (28 млн. чел.), промышленность и сельское хозяйство в Европейской части страны были разрушены. Экономические потери составили 4 триллиона руб. (в ценах 1947 г.). В его активе были волевое руководство и победоносная Красная армия.

США не имели разрушений на континентальной части, а людские потери были несравненно меньше (0.3 млн. чел.). Их промышленное могущество, достигло к 1945 г. 50% мирового валового производства. В июле 1945 г. в США было испытано ядерное оружие. Его огромное разрушительное воздействие они продемонстрировали в августе 1945 г. при бомбардировке японских городов Хиросима и Нагасаки.

Великобритания обладала мощным интеллектуальным потенциалом в области науки и техники и огромным людским ресурсами за счет колоний и стран Британского (до 1946 г.) содружества наций. Однако под влиянием США утратила политическую и отчасти экономическую самостоятельность.

Американские планы ядерных ударов

3



Ситуация для СССР была крайне тревожная. В меморандуме JIC 329/1 от 4 сентября 1945 г. перед военными ставилась задача разработать план ядерной бомбардировки 20 целей на территории СССР, включая Москву, Ленинград, Баку, Тбилиси и ряд других городов. В 1945-1949 гг. в США было подготовлены 12 планов превентивных ядерных ударов по целям в СССР. Есть мнение [[David Alan Rosenberg](#), 1979], что первые планы были частью «гигантского атомного блефа» Трумэна, так как к 1946 г. США имели всего 9 атомных бомб и 27 бомбардировщиков В-29 для их доставки к целям.

Американские планы ядерных ударов

4

Даже, если это действительно вначале был блеф, то со временем планы стали приобретать реальную основу. Ядерное оружие США должно было стать главным доводом в разрешении любых разногласий. К признакам серьезности американских намерений следует отнести ускоренное производство реактивной авиации, в том числе тяжелых бомбардировщиков B-50 (модернизированный B-29), B-36, B-47 – носителей ядерного оружия.



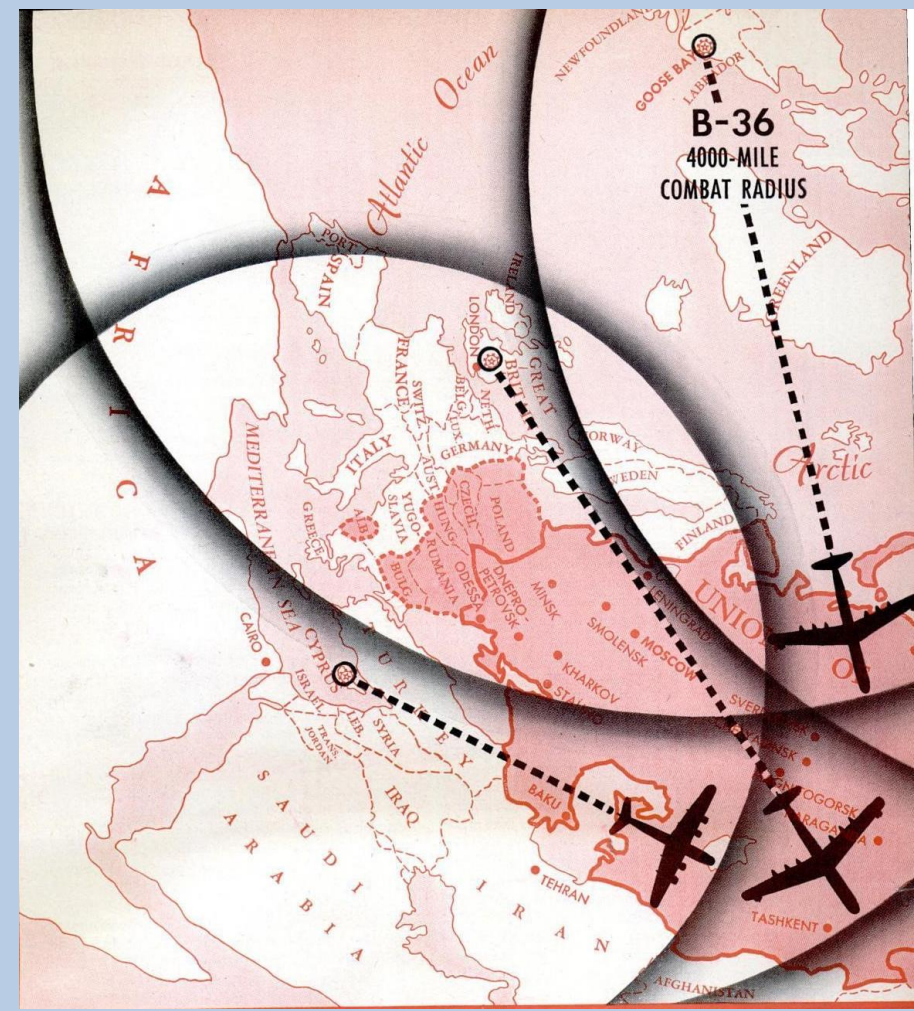
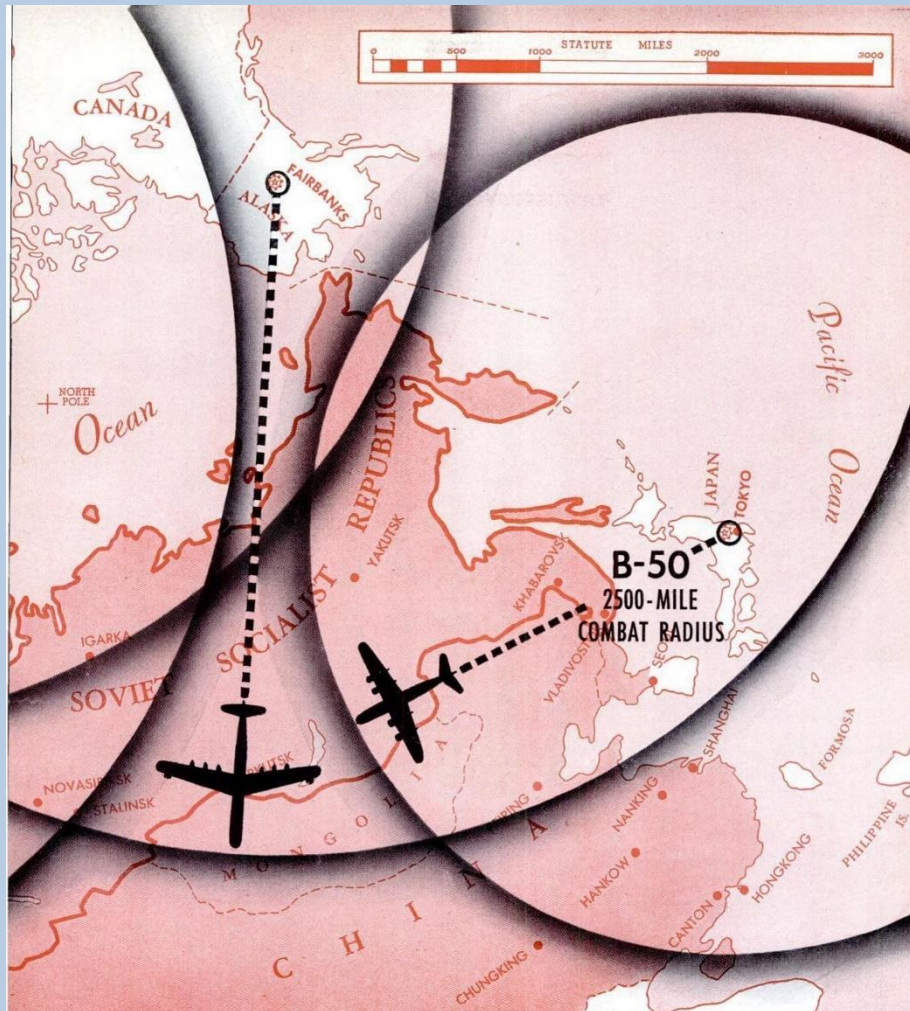
Межконтинентальный стратегический бомбардировщик Convair B-36D
Боевой радиус 4000 миль, $V_{\max} = 685$ км/час,
бомбовая нагрузка 39,01 т



Тяжелый стратегический бомбардировщик средней дальности Boeing B-50D Superfortress
Боевой радиус 2500 миль, $V_{\max} = 637$ км/час,
бомбовая нагрузка 12,7 т

Американские планы ядерных ударов

5



Радиус действия тяжелых бомбардировщиков B-36

Развитие в СССР работ по ракетной технике

В этих условиях Советское правительство было вынуждено сосредоточить силы на создании систем реактивного вооружения и ядерного оружия, способных не только противостоять нападению, но и нанести противнику непоправимый ущерб. **Постановлением Совета Министров СССР от 13 мая 1946 года № 1017-419сс был образован Специальный комитет по реактивной технике (председатель Г. М. Маленков)**, на который возлагалась координация работ министерств в данной области, определялись конкретные задачи в части освоения опыта немецких специалистов, проектирования и подготовки кадров. К числу важнейших реактивных вооружений были отнесены управляемые баллистические ракеты дальнего действия (УБРДД).

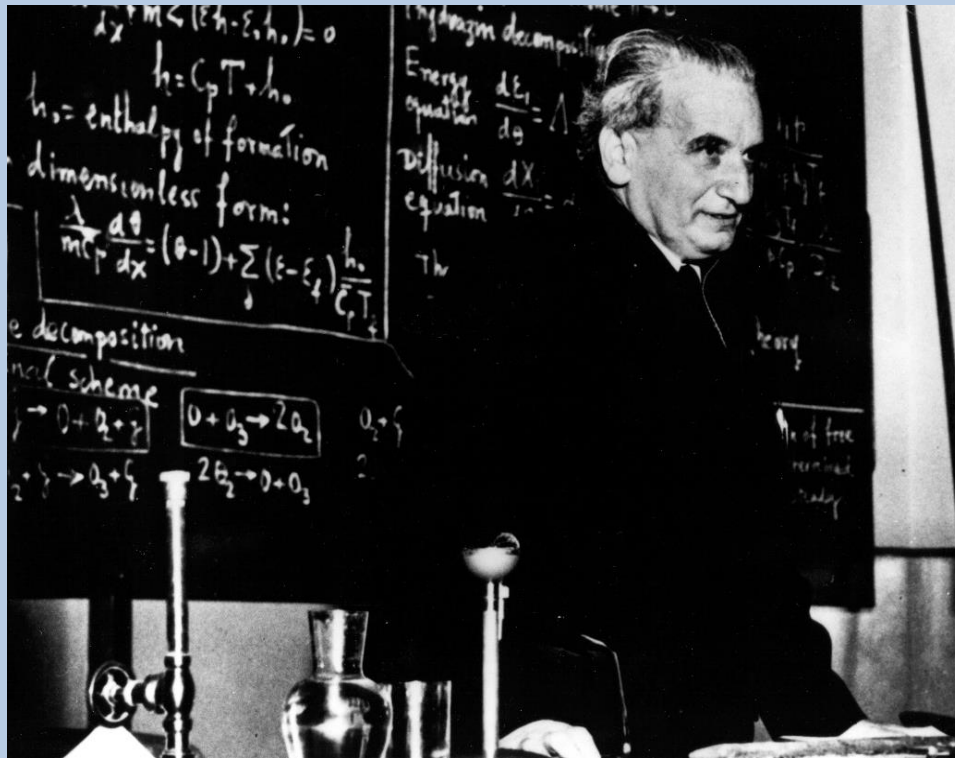
В 1947-1950 г.г. В МВТУ им. Н.Э Баумана были организованы **Высшие инженерные курсы** по изучению ракетной техники, обучение на которых прошли несколько тысяч работников оборонных предприятий.

В 1946-1948 г.г. были усовершенствованы программы обучения на имеющихся кафедрах и открыты новые, такие, как кафедра реактивного вооружения. Среди первых преподавателей новых кафедр (теперь СМ-1, Э-1, Э-3, ИУ-1) были Ю. А. Победоносцев, В. В. Уваров, В. И. Феодосьев, Л. М. Гайдуков, С. П. Королев, Б. Е. Черток.

Ракетный тепловой барьер

7

США в 1944 г., а СССР в 1945 г. активизировали работы по созданию управляемых баллистических ракет дальнего действия, опираясь на германский опыт работ в этой области. На пути создания таких ракет вырос **«тепловой барьер»** в виде мощного теплового и динамического воздействия на конструкцию головных частей (ГЧ) при движении ракет с большой скоростью в достаточно плотной атмосфере.



Американский аэродинамик
Theodore von Kármán

В начале 1950-х годов аэродинамик Теодор фон Карман (Theodore von Kármán), анализируя проблемы гиперзвукового полета пришел к следующему заключению: «...При таких скоростях вероятно даже в разреженном воздухе поверхность будет нагрета до температур, которые не выдержат никакие из известных материалов. Эта **проблема температурного барьера** значительно более сложная, чем **проблема звукового барьера**».

СССР: Решение проблемы теплового барьера

8

Поиск подходов к решению проблемы «теплового барьера» можно рассмотреть на примере создания в ОКБ-1 первого поколения советских управляемых баллистических ракет дальнего действия (УБРДД) Р-1, Р-2, Р-5, Р-5М, Р-7, Р-7А под руководством С. П. Королева.



Королев Сергей Павлович (1907-1966 г.г.) закончил Аэромеханический ф-т МВТУ в 1930 г. (рук. дипломного проекта – авиаконструктор А.Н. Туполев). В ракетостроении с 1930 г. в ГИРД и РНИИ. Был репрессирован. С 1945 г. в НИИ-88 (ныне ЦНИИмаш), с 1946 г. – начальник отдела №3. С 1950 г. – главный конструктор ОКБ-1 в составе НИИ-88, с 1956 г. самостоятельной организации (после 1966 г.: ЦКБЭМ - НПО «Энергия». Ныне – ПАО «РКК «Энергия» им. С. П. Королева).

Главный конструктор ОКБ-1 С.П. Королев

СССР: Решение проблемы теплового барьера

9

УБРДД, созданные в ОКБ-1 под руководством С.П. Королева

Наименование ракеты, индекс	Макс. дальность, км/макс. высота подъема, км/макс. скорость, м/с / скорость у цели, м/с	Форма и размеры головной части, мм	Масса головной части, кг/заряд	Тепловая защита / Материал корпуса головной части
P-1 (8A11)	320/100/1650/800-1100	Острый конус, высота – 2100	1000 / Обычное ВВ	Нет / Низкоуглеродистая сталь
P-2 (8Ж38)	600/170/2170/700-1000	Острый конус, длина – 2255, аэродинамический стабилизатор (юбка) 1792, диаметр основания 1390	1500 / Обычное ВВ	Слой асбокартона между стальными оболочками / Низкоуглеродистая сталь
P-5 (8A62)	1200/300/3000/2200	Острый конус, высота 5250, диаметр основания 1650	1425 / Обычное ВВ	Минеральная обмазка 6 мм / Низкоуглеродистая сталь
P-5M (8K51)	1200/300/3000/1100	Острый конус	1300 / Ядерный 0.3; 1.0 Мт	Асбопластик (асбестовая ткань+фенолформальдегидное связующее) / Сталь дно связующее) / Сталь

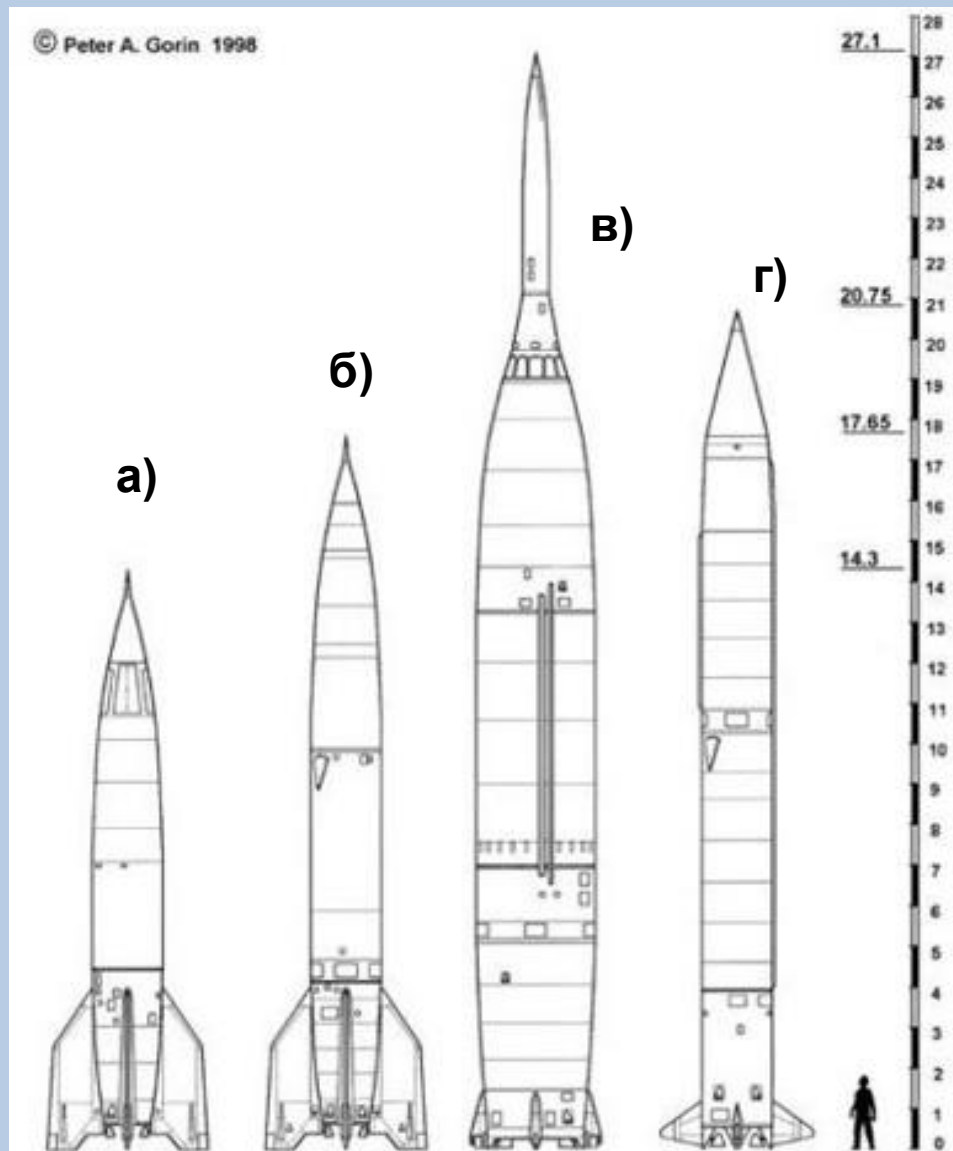
СССР: Решение проблемы теплового барьера

УБРДД, созданные в ОКБ-1 под руководством С.П. Королева

10

Наименование ракеты, индекс	Макс. дальность, км/макс. высота подъема, км/макс. скорость, м/с / скорость у цели, м/с	Форма и размеры головной части, мм	Масса головной части, кг/заряд	Тепловая защита / Материал корпуса головной части
Р-7 (8К71)	8835/1360/6510/5000	1956-1957 г.г. Острый конус, (угол полураствора 11 град.), 7200, диаметр основания 2590, наконечник 1635 1958 г. Конус, 5505, диаметр основания 2420, наконечник 765, сферическое притупление, радиус 300	1000 / Обычное ВВ 1957 г.: 5370 / Термоядерный 5.0 Мт 1958 г.: 3700	1956-1957 г.г. Стеклопластик на фенолформальдегидном связующем / Сталь 1957-1958 г.г. Асбопластик (асбестовая ткань+ фенолформальдегидное связующее) / Сталь
Р-7А (8К74)	1959 г. 12000/??/?/ 1961 г. 16000/??/?	Биконическая, 3070, диаметр основания 2420, сферическое притупление, радиус 300	3000 / Термоядерный 3.0 Мт; 2400 / 1.65 Мт	Асбопластик (асбестовая ткань+фенолформальдегидное связующее) / Сталь

СССР: Решение проблемы теплового барьера 11

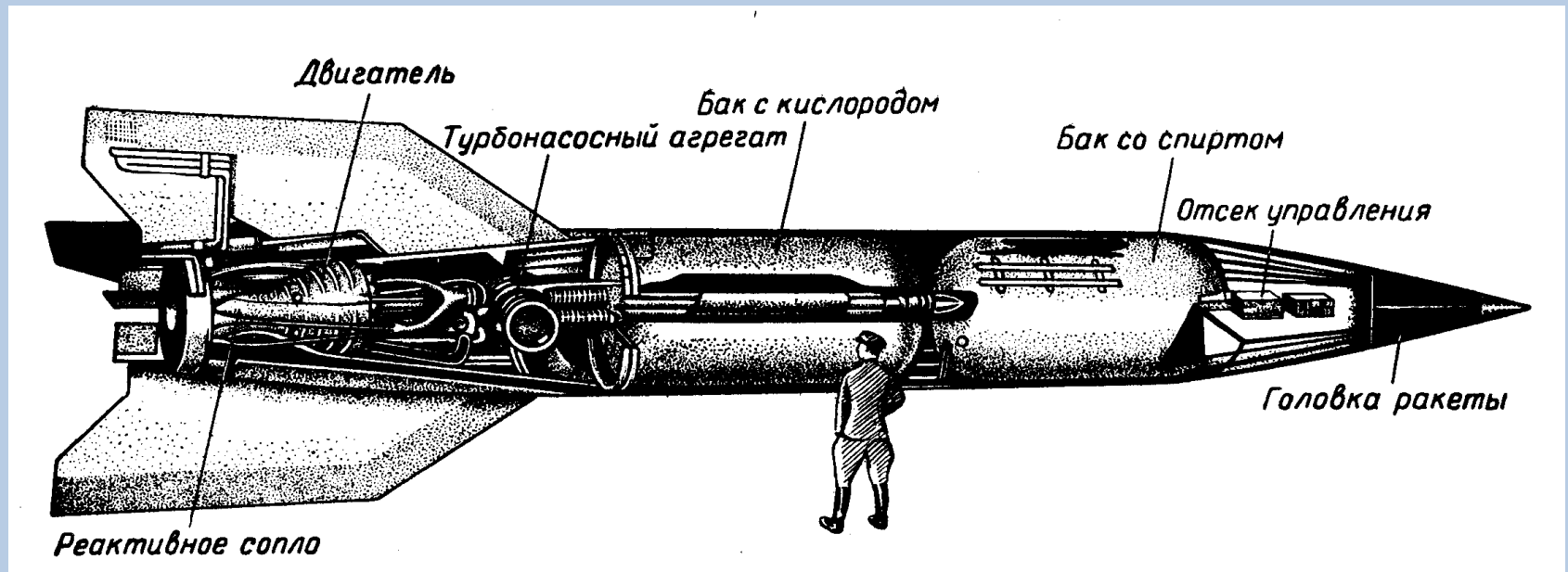


Тип ракеты	Максимальная дальность стрельбы, км
Р-1 (8А-11)	300
Р-2 (8Ж-38)	600
Р-3 (8А67)	3000
Р-5М (8К51)	1200

Проектный облик ракет: а) Р-1 (8А11), 1948 г.; б) Р-2 (8Ж38), 1949 г.; в) Р-3 (8А67), проект 1949 г.; г) Р-5М (8К51), 1956 г.

СССР: Решение проблемы теплового барьера

Ракета Р-1 (8А11) имела максимальной дальностью полета 320 км и представляла усовершенствованный вариант немецкой ракеты А-4 (V-2). Корпус головной части, изготавливался из дешевой и доступной низкоуглеродистой стали толщиной 6 мм. Под действием аэродинамического нагрева на его поверхности температура достигала 600 °С (температура плавления 1500 °С). При длительной эксплуатации, несущая способность такой стали падает вдвое уже при 470-500°С. **Возможность применения низкоуглеродистой стали вытекала из кратковременного действия запредельно высоких температур.**



Баллистическая ракета Р-1 (8А11) усовершенствованная немецкая А-4 (V-2)

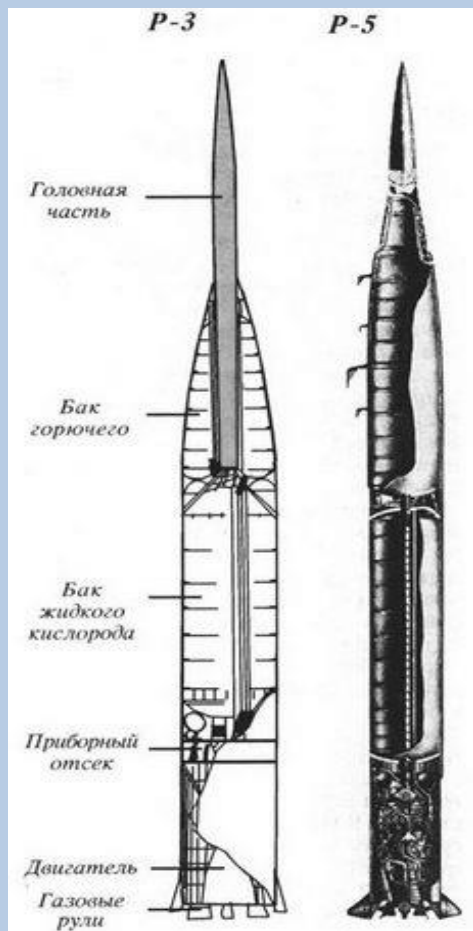
СССР: Решение проблемы теплового барьера¹³

Ракета Р-2 (8Ж38), созданная в 1949 г., была рассчитана на дальность 600 км. Из-за увеличения максимальной скорости входа в атмосферу тепловые и динамические нагрузки на корпус выросли настолько, что сохранение конструктивно-компоновочной схемы, аналогичной Р-1, стало бессмысленным. На Р-2 впервые было предусмотрено отделение ГЧ после выключения двигателя, что явилось революционным решением в ракетной технике. Новая конструктивно-компоновочная схема ракеты позволяла заметно облегчить ракету.

Первые 12 испытательных пусков ракет в октябре-декабре 1950 г. оказались неудачными, причем, у 7 ракет наблюдались нарушения ГЧ из-за перегрева на участке спуска. Пришлось увеличить прочность и улучшить теплоизоляцию корпуса ГЧ. У ракеты Р-2 ГЧ имела длину 2256 мм с аэродинамическим стабилизатором (юбкой) длиной 1792 мм с диаметром в основании 1390 мм. Коническая оболочка корпуса ГЧ была трехслойной. В ней наружный и внутренний слои толщиной 6 мм были изготовлены из низкоуглеродистой стали, а **защита боевого заряда от перегрева возлагалась на слой асбестового картона** толщиной 5 мм.

СССР: Решение проблемы теплового барьера ¹⁴

Для сдерживания потенциальных противников и обеспечения безопасности открытых стартовых позиций (длительность подготовки к запуску 6 часов необходимо было многократно увеличить дальность полета УБРДД. В заправленном состоянии ракета могла находиться только 20 минут.



В 1949 г. предполагалось, что новая **ракета Р-3 (8А67)** с дальностью полета 3000 км будет лишена этих недостатков. Скоро выяснилось, что никакие стали и сплавы для изготовления корпуса ее необычно длинной ГЧ не годятся. Применение термостойких металлов, таких как вольфрам и молибден исключалось из-за абсолютно неприемлемых весовых, стоимостных и технологических показателей. Теоретическую базу тепловых и теплопрочностных расчетов еще только предстояло создать. Реализация проекта Р-3 была отложена под предлогом создания межконтинентальной ракеты.

Проектный облик ракет Р-3 (8А67) и Р-5 (8А62)

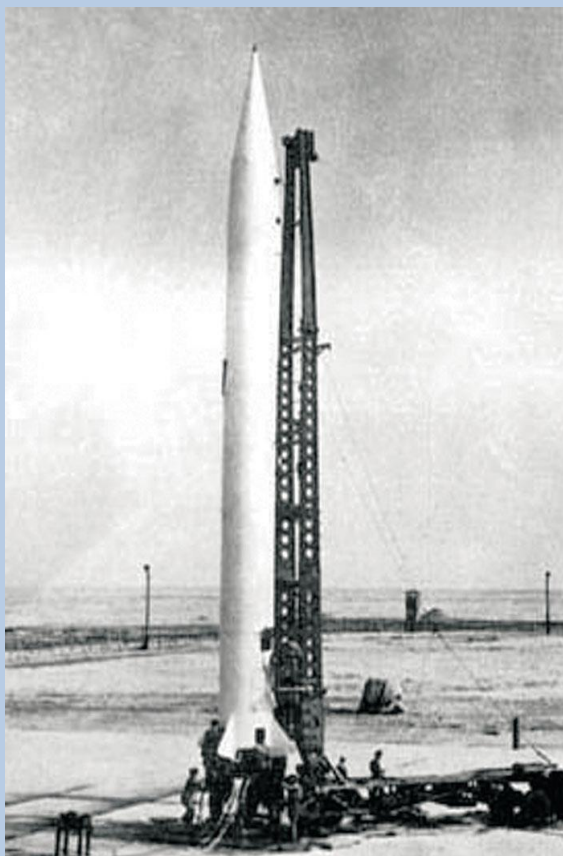
СССР: Решение проблемы теплового барьера ¹⁵

Проект ракеты Р-5 (8А62) с отделяемой ГЧ на дальность полета 1200 км начал разрабатываться в ОКБ-1 в 1951 г. ГЧ ракеты Р-5 имела форму острого конуса. В ходе испытаний в 1953-1955 г.г., были получены удовлетворительные результаты, но дальность полёта Р-5 не превышала 1000 км из-за разрушения ГЧ под действием аэродинамического нагрева. Для тепловой защиты стального корпуса ГЧ **на ракете Р-5 впервые начали применять минеральную обмазку толщиной 6 мм на основе сублимирующих (испаряющихся) высокоэнтальпийных материалов.**

На усовершенствованном варианте ракеты Р-5 – **Р-5М (8К51)** предписывалось установить ядерный боевой заряд – аналог отработанного к тому времени боевого заряда РДС-6 мощностью 0,3 Мт. Длина ГЧ была уменьшена и в 2 раза была снижена скорость ее подхода к цели (до 1100 м/с). Тем самым снижались динамические и тепловые нагрузки на корпус, а колоссальная мощность ядерного заряда многократно перекрывала вклад кинетической энергии при поражении цели. Слабым местом конструкции ГЧ оставался «металлургический» вариант ТЗП. В условиях высоких температур, вибраций и колебаний трудно было гарантировать прочное скрепление керамических (минеральных) обмазок с металлическим корпусом, имевших сильное различие в коэффициентах линейного термического расширения.

СССР: Решение проблемы теплового барьера ¹⁶

Решение ракетного теплового барьера впервые в мире нашли советские материаловеды, выпускники МВТУ им. Н.Э. Баумана **В.Н. Иорданский** и **Г.Г. Конради** (НИИ-88), а также их коллега **А.А. Северов** (ОКБ-1). Для ТЗП ГЧ экспериментальной ракеты **М5РД** (вариант ракеты **Р-5М**) они применили **асбопластик** – полимерный композиционный материал (КМ).



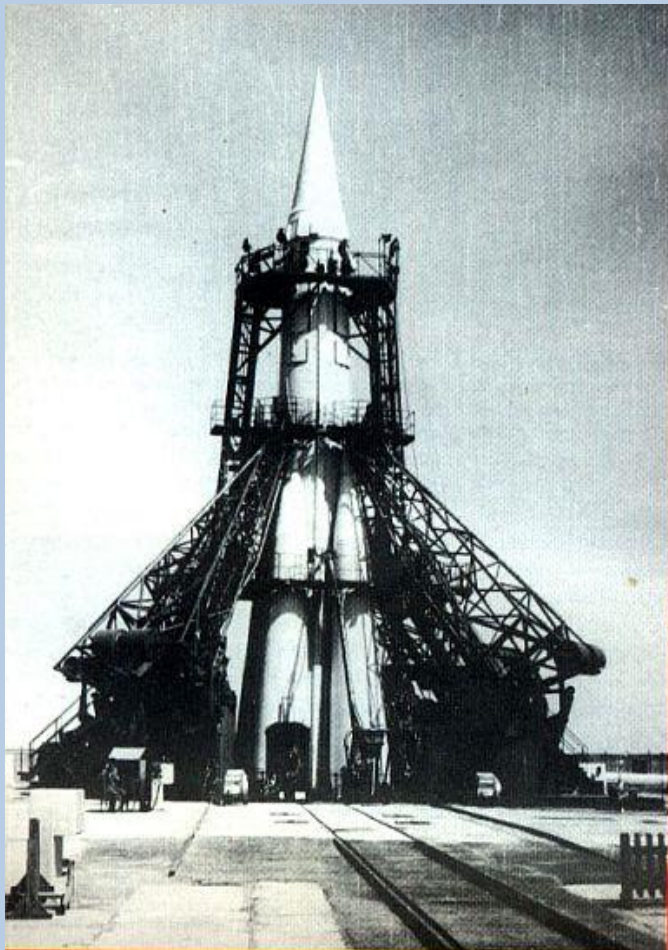
Успешные летные испытания ТЗП прошли в июле-сентябре 1956 г.

Поразительно, но оба компонента КМ были известны — **асбестовая ткань** и **фенолформальдегидная смола**. Такое простое, надежное и, по-своему, изящное техническое решение оказалось весьма эффективным в весовом отношении по сравнению с известными теперь зарубежными системами аккумуляции теплоты того же назначения. Кроме того, это решение отличала уникальная саморегуляция защитных характеристик.

Ракета 8К51 (Р-5М) — первая баллистическая ракета дальнего действия с ядерным зарядом. Его натурные испытания проведены 2 февраля 1956 г.

СССР: Решение проблемы теплового барьера

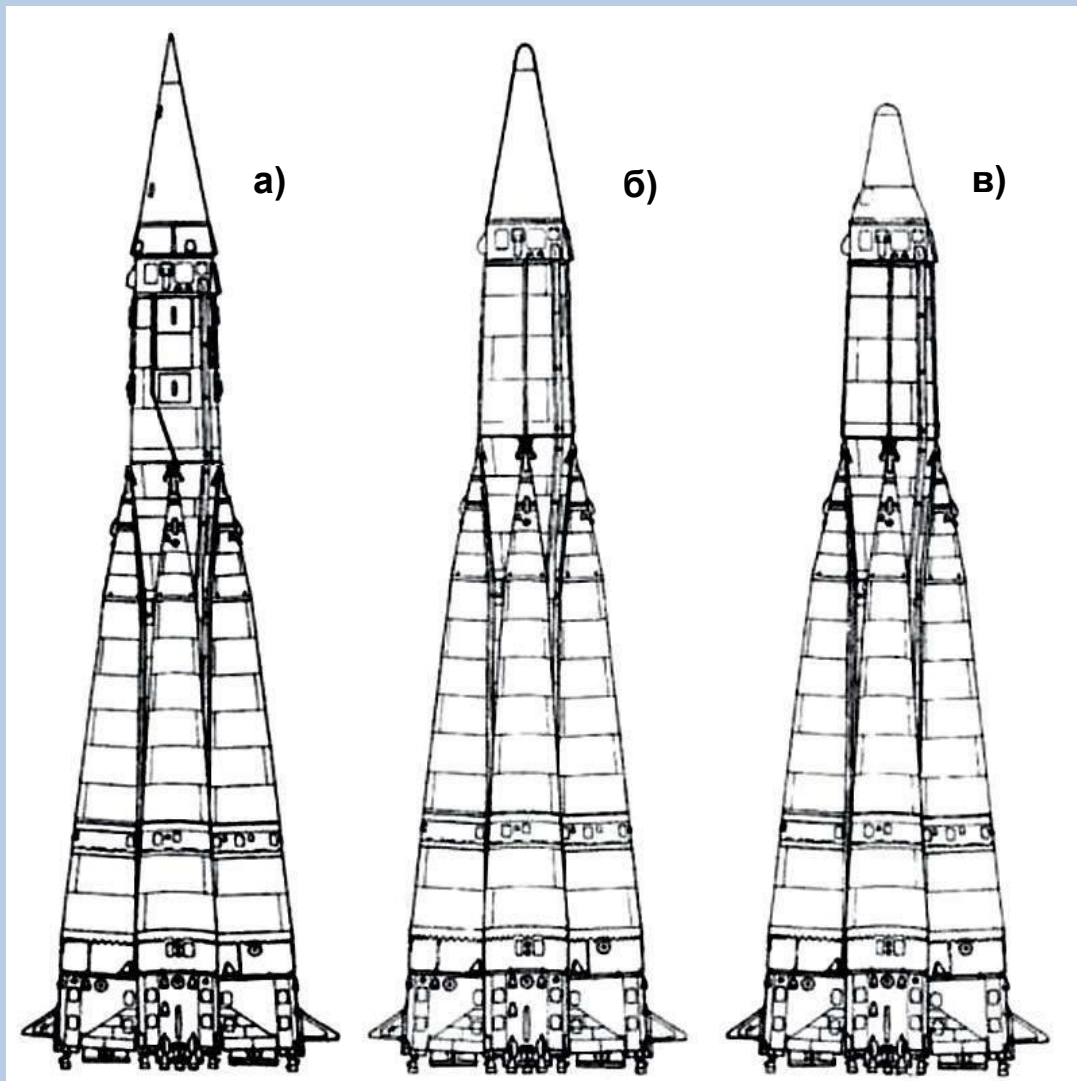
В 1950 г. в ОКБ-1 были начаты исследования по межконтинентальным баллистическим ракетам (МБР). В 1954 г. результаты исследований по темам Н-3 и Т-1 легли в основу проекта МБР Р-7 (8К71), предназначенной для доставки ГЧ массой 5.5 т с термоядерным боевым зарядом 5 Мт на дальность 8000 км. «Семерка» должна была лишить США неуязвимости. 17



В варианте 1956 г. ГЧ имела форму острого конуса длиной 7200 мм с наконечником длиной 1635 мм. **В ТЗП был использован стеклопластик на фенолформальдегидном связующем.** Технология нанесения этого покрытия оказалась весьма трудоемкой, а ее качество оставляло желать лучшего, так как на полигоне перед испытанием были обнаружены трещины на боковой поверхности.

Первая в мире межконтинентальная ракета Р-7 (8К71) вышла на испытания 15 мая 1957 г.

СССР: Решение проблемы теплового барьера 18



Изменение формы головных частей МБР Р-7 (8К71)

а) – вариант 1957 г., б) – вариант 1958 г.

и Р-7А (8К74) в) – вариант 1959 г.

Испытания Р-7, начатые 15 мая 1957 г., шли трудно из-за многочисленных отказов. ТАСС сообщило об успешном запуске советской МБР 21 августа 1957 г. Однако ни в этом, ни в запуске 7 сентября 1957 г. ГЧ до цели не долетела и разрушилась в полете, когда температура воздушной плазмы у передней критической точки острого конуса превысила 8000°C .

4 октября 1957 г. с помощью Р-7 был запущен Первый искусственный спутник Земли (ИСЗ), а 4 ноября – второй с собакой Лайкой.

СССР: Решение проблемы теплового барьера

19



В конце 1957 г. острый наконечник ГЧ был заменен наконечником с полусферическим затуплением радиусом 300 мм, его длина была уменьшена до 765 мм. Общая длина ГЧ составила 5505 мм. С учетом опыта испытаний М5РД **новое ТЗП было изготовлено из асботекстолита**. В одиннадцатом пуске 30 января 1958 г. ГЧ вместе со второй ступенью дошла до земли с перелетом 80 км, а полностью успешное испытание состоялось 29 марта 1958 г.

В 1959-1961 г.г. для увеличения дальности полета до 12000 км, а потом и до 16000 км на МБР Р-7А (8К74) масса ГЧ была уменьшена почти в 2 раза, а длина биконической ГЧ составила 3070 мм.

Советские специалисты смогли разобраться с особенностями гиперзвукового обтекания острых и затупленных тел и **первыми применили на них ТЗП абляционного типа**.

Головная часть МБР 8К71 (Р-7) испытана в 1958 г.
Музей РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров, Нижегородская обл.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ