

Знаменитый «СКАД»

Не только автомат Калашникова широко известен за рубежами Отечества. У многих на слуху загадочное слово «СКАД». Такой код НАТО в свое время был придуман для нашего ракетного комплекса сухопутных войск 9К72 с ракетой Р-17. Его модификации до сих пор находятся на вооружение многих стран. Много таких ракет использовали Ирак и Иран в войне между собой, при отстреле Израиля ЗРК «Патриот» американского производства сбивал его с трудом. А началось все с исследовательской работы с обычным для советского человека названием «Урал»...

Создание

Началась эта история достаточно давно. Оперативно-тактический ракетный комплекс 9К72 с ракетой Р-17 стал первым комплексом, с самого начала разрабатывавшемся для сухопутных войск по заданию ГАУ (ГРАУ), т.к. именно в 1958 году было принято решение о включении ракетных вооружений в состав Сухопутных войск.

Новые требования по ведению сухопутных операций, большая подвижность войск в современной войне, повсеместное внедрение тактического ядерного оружия и других средств массового поражения в войска приводили к необходимости совершенствования всех видов оружия, в том числе и ракетного. Поэтому для замены первых отечественных малогабаритных оперативно-тактических ракет (ОТР) Р-11 с обычной боевой частью и Р-11М с ядерной в 1957 году были начаты работы по одноступенчатой жидкостной ОТР с неотделяемой головной частью.

В 1957 г. в развитие работ по ракетам Р-11, Р-11М и Р-11ФМ СКБ-385 ГКОТ (гл. конструктор В.П.Макеев) была поручена разработка и запуск в производство конструкторской документации на новый улучшенный вариант на основе Р-11М - ракеты Р-11МУ (модернизованная, улучшенная, индекс заказчика 8К12). Параллельно с выполнением задания проектантам в инициативном порядке был предложен вариант более совершенной конструкции. Тогда же по решению главного конструктора В.П.Макеева разработали технические предложения. Их готовили зам. главного конструктора В.Р.Серов, ведущий конструктор ракеты 8К12 Ю.А.Бобрышев, конструкторы Г.Б.Мочалов, А.К.Кузнецов, Я.С.Садиков, В.Д.Алексеев, Е.В.Бушмин, П.А.Алексеев, П.С.Кухтов, А.Ф.Лысов. Вскоре предложения были поддержаны главным конструктором ОКБ-1 С.П.Королевым, заместителем министра К.Н.Рудневым, а так же одобрены ГАУ Советской Армии.

Вскоре, в апреле 1958 года, было подготовлено и выпущено Постановление правительства о создании комплекса с ракетой Р-17, одновременно документация на 8К12 была отозвана. В том же году ГАУ выдал тактико-технические требования (ТТТ) на ракетный

комплекс (РК) и разработан его эскизный проект. Работы шли очень быстро, уже к концу 1958 года была разработана конструкторская документация, а в феврале 1959 г. собран конструкторский макет. Разработка ракетного комплекса выполнялась СКБ-385 ГКОТ (главный конструктор В.П. Макеев, ведущий конструктор ракеты Р-17 Ю.А.Бобрышев) совместно со смежными организациями.

Оперативно-тактический ракетный комплекс (ОТРК) 9К72 с ракетой Р-17 был предназначен для поражения для уничтожения и подавления средств ядерного нападения противника, живой силы и боевой техники противника, разрушения оборонительных сооружений, а также ударов по важнейшим военным (складам и базам, штабам объединений и крупным пунктам управления, станциям снабжения и авиации на аэродромах), промышленным и административным объектам и узлам коммуникаций (железнодорожным узлам и др.), расположенным в оперативно-тактической глубине противника в пределах заданной дальности стрельбы.

Конструкция

В конструкцию ракеты Р-17 было заложен ряд принципиально новых технических решений и особенностей, позволивших увеличить дальность стрельбы до 300 км (по ТТТ – 240 км), существенно повысить её надежность и обеспечить значительно более высокие боевые качества по сравнению с ракетой Р-11М при тех же габаритах и весовых характеристиках. Для подачи компонентов топлива в камеру сгорания двигателя был применен топливно-насосный агрегат (ТНА) вместо газогенераторной вытеснительной системы, что дало возможность значительно снизить толщину металла и вес баков горючего и окислителя.

Ракета Р-17 представляла собой баллистическую ракету стартовым весом в 5835-5854 кг (длина 11,48 м, диаметр корпуса – 0,88 м) классической конструктивной схемы с неотделяемой боевой частью, с жидкостным ракетным двигателем, работающим на высококипящих компонентах топлива. Оперативно-тактическая одноступенчатая жидкостная ракета Р-17 состоит из головной части, корпуса, двигательной установки, системы управления в отдельном приборном отсеке и системы аварийного подрыва ракеты (АПР).

Первоначально разработку двигателя выполняло ОКБ-3 ГКОТ (гл. конструктор Д.Д.Севрук). Однако разработанный КБ двигатель оказался практически не работоспособным при температурах ниже -20°C . Поэтому Решением ВПК при СМ СССР от 26 октября 1959 г. разработка двигателя была поручена ОКБ-2 (гл. конструктор А.М.Исаева, вед. конструктор Н.В.Малышев). В качестве компонентов топлива были выбраны: горючее ТМ-185(НДМГ), окислитель АК-27И, пусковое горючее ТГ-02.

На ракете Р-17 был применен более совершенный однокамерный двигатель Р11-30 (С5.2) с насосной системой подачи топлива и генератором рабочего тела турбины. У этого ЖРД коэффициент массового совершенства был 8,65 кг массы на 1 т тяги (против 11,5 у ракеты Р-11М). Новыми были применение сброса горючего из межрубашечного пространства с

одновременной продувкой сжатым воздухом сократило разброс импульса последствия; большинство соединений магистралей сварные; выхлопная труба - ТНА использована в качестве теплообменника для подогрева воздуха, идущего на наддув баков. Применение турбонасосного агрегата (ТНА) в двигателе ракеты позволило получить: повышенное давление в камере сгорания и, соответственно, более высокую удельную тягу; существенно пониженное давление в баках, уменьшить толщину стенок; избежать высокотемпературной газогенераторной системы подачи топлива, выполнить баки из нержавеющей стали, не требующей антикоррозионных покрытий и термообработки после сварки.



Ракета Р-17 на гусеничном стартовом агрегате 2П19 (фото Макавенко, ГЦП-4, 1961 год)

Система управления (СУ) ракеты Р-17 - автономная инерциальная с интегратором боковых ускорений, она состоит из автомата стабилизации, автомата управления дальностью, коммуникационной аппаратуры и бортового источника питания. Она разработана в СКБ-626 (гл. конструктор Н.А.Семихатов). СУ обладала существенно большей точностью и стабильностью работы за счет применения более рациональных методов её построения; создания магнито-полупроводникового счетно-решающего прибора автомата стабилизации; использования гиросинтезатора боковых ускорения с дополнительным интегрирующим звеном, что исключило необходимость введения поправок на боковой ветер при наведении



ракеты на цель. Конструктивно приборы системы управления были размещены в специальном приборном отсеке (он стал традиционным в последующих конструкциях) между головной и средней частями ракеты, подальше от источника вибраций – двигателя.

Гироскопические приборы для системы управления ракеты были разработаны в НИИ-944 ГКС. В качестве органов управления на ракете были применены газовые графитовые рули. Приборы прицеливания создавались на заводе № 784 Киевского СНХ (гл. конструктор С.П.Парняков).

Ракета Р-17 оснащалась сменными боевыми частями: фугасной, ядерной, а впоследствии и кассетной. Замена их могла производиться непосредственно в войсковых частях. Серийная ракета Р-17 (8К14) оснащалась тремя штатными сменными головными частями 403А14, 8Ф44 и 8Ф45. Работы по разрывному заряду и снаряжению обычной головной части выполнял НИИ-6 ГКОТ; неконтактному взрывателю - СКБ-885 ГКРЭ. Для ракеты 8К14 в НИИ-1011 (ВНИИТФ) в 1960-1970-е годы разработал серию из 5 образцов боевых частей с ядерными зарядами различной мощности. Характерной особенностью этих боевых частей была простота эксплуатации, максимальная унификация по составным частям и возможность крупносерийного производства. При эксплуатации ракеты с ядерной головной частью на ГЧ надевается специальный термостатический чехол.

Совершенствование ракеты Р-17 и ее боевого оснащения было возложено на ОКБ-235, где были созданы фугасная, осколочно-фугасная и осколочная кассетная головные части. В середине 1970-х годов ракеты 8К14 стали дополнительно оснащаться головными частями 3Н8 и 3Н10, а в последствии и боевыми частями 9Н71 и 9Н78. В 1964 г. проходили испытания химическая боевая часть 8Ф44Г "Туман-3" и ядерная - 9Н33.

Система заправки ракеты Р-17 топливом была также модернизирована. Впервые была применена объёмно-температурная заправка основными компонентами топлива с помощью специального дренажного приспособления с подвижным градуированным по температуре топлива приспособлением, что позволяло заправлять большее

количество топлива в те же баки и хранить ракету без дренажирования в полном диапазоне температур. Заправка пусковым горючим производилась перед стартом под слой основного горючего без разделительных устройств.

Применение в ракете Р-17 аккумуляторной батареи ампульной конструкции, специальной колодки разъёма, обеспечивавшей автоматическую заправку ракеты воздухом, пусковым горючим и подачу воздуха для задействования ампульных батарей, применение гиросинтезатора автомата дальности, и ряда других решений существенно сократили число операций при подготовке ракеты на стартовой позиции и, тем самым, время подготовки к старту.

Все новые технические и технологические мероприятия, внедренные на ракете Р-17, позволили в сравнении с Р-11М при практически одинаковой стартовой массе увеличить дальность стрельбы в 1,6-1,7 раза.

Наземное оборудование и пусковые установки

Комплекс наземного оборудования для РК 9К72 создавался в ГСКБ ГКОТ (КБТМ, гл. конструктор В.П.Петров, ведущий конструктор С.С.Ванин), в него вошло 32 агрегата, 18 из которых были созданы по проектам ГСКБ (включая грунтовые тележки, заправщики окислителя, изометрические машины, контейнеры, термочехлы и др. агрегаты) и 7 серийно выпускались. К разработке агрегатов были привлечены ЦКБТМ и НИИХСМ. Агрегаты наземного оборудования ракетного комплекса 9К72, кроме стартового агрегата, могли обеспечивать работу с более ранней ракетой Р-11М.

Опытный образец стартового агрегата - самоходной пусковой установки (СПУ) "объект 810" был создан в КБ-3 ЛКЗ (гл. конструктор Ж.Я.Котин) на базе шасси тяжелой самоходной артиллерийской установки ИСУ-152К. Он проходил испытания с 1958 года (вес 39,6-41,5 т, длина с ракетой 12,6 м), по их завершению его приняли на вооружение в составе ракетного комплекса под обозначение 2П19 (затем появилась модификация - 2П19М).

Стартовый агрегат 2П19 обеспечивал транспортировку ракеты, заправленной основными компонентами топлива, с пристыкованной головной частью на расстояние до 500 км, проведение всех предстартовых испытаний, подъём ракеты в вертикальное положение, прицеливание, установку дальности стрельбы, автоматическую заправку пусковым горючим и старт ракеты.

Практически одновременно с 2П19 испытывался колесный стартовый агрегат 2П20 (вес 37 т, длина 12,9 м), созданный в ЦКБТМ (гл. конструктор Н.А.Кривошеин) на базе минского четырехосного тягача МАЗ-535 повышенной проходимости с колесной формулой 8x8. Опытная СПУ прошла комплекс испытаний, скорость движения по шоссе была до 40 км/ч, по грунтовой дороге – 20 км/ч. Но, несмотря на это она в серию не пошла и на вооружение принята не была.

К тому времени для оперативного ракетного комплекса «Темп-С» (разработчик МИТ) была создана СПУ на базе шасси колесного тягача МАЗ-543. Это же шасси было принято

использовать для ракетного комплекса 9К72. В 1967 году в ЦКБТМ (ведущий конструктор Я.И.Глазов) была создана колесная СПУ - стартовый агрегат 9П117, которая постепенно стала заменять в войсках гусеничную установку 9П19. Агрегат 9П117 смонтирован на специально приспособленном автошасси МАЗ-543 с колесной формулой 8x8, имеющим раздвоенную кабину водителя, что позволяет снизить высоту системы в походном положении.

На СПУ была размещена стрела. На ней установлено специальное устройство с гидроприводом для погрузки и разгрузки ракеты с тележек и стеллажей. Управление всеми операциями - кнопочное, полуавтоматическое. Полная масса опытных образцов СПУ с заправленной ракетой и личным составом составляла 38900 кг, благодаря внедрению специальных мероприятий удалось снизить массу серийных установок до 37400 кг. Опытные СПУ 9П117 изготавливались в ЦКБТМ, производство серийных было организовано на Петропавловском заводе тяжелого машиностроения в Казахстане.

В дальнейшем в комплексе была применена модернизированная колесная пусковая установка 9П117М, с которой были удалены элементы без крановой перегрузки ракет. Выпускалась и пусковая установка 9П117М1, которая отличалась от 9П117М в основном новым радиатором от автомобиля ГАЗ-69 вместо радиатора автомобиля "Победа".

Для подготовки ракеты к боевому применению создан комплекс технической позиции, который размещается на трех специальных автомашинах ЗиЛ-157 с кузовом КУНГ-1М. В него входят: машина горизонтальных испытаний 2В11, машина автономных испытаний 9В41 и машина ЗИП технической позиции.

Транспортировка ракет 8К14 (8К14-1) производится в контейнерах без топлива, так называемом в "сухом" виде. Для этого могут привлекаться автопоезда народнохозяйственного назначения МАЗ и КамАЗ с применением унифицированного оборудования 9Т132.

Изготовление и испытания

Первые опытные ракеты Р-17 (8К14) изготавливались на заводе №385 в Златоусте. В дальнейшем, после изучения состояния дел, по решению председателя ВСНХ Д.Ф.Устинова для изготовления всех ракет Р-17 и двигателей С5.2 был определен завод №235 и в соответствии с Постановлением правительства от апреля 1959 года производство ракет официально передается на завод №235 Удмуртского СНХ (директор В.А.Земцов, главный инженер П.П.Полухин). Это же предприятие осуществляло в последствии серийное ведение конструкторской документации (гл. конструктор В.Я.Тохунц, впоследствии Е.Д. Раков).

Совет Министров СССР и Удмурдский Совнархоз в 1959 году приняли решение по организации выпуска комплектующих изделий для ракеты Р-17 (8К14) на предприятиях Удмурдской АССР: на Ижевском мотозаводе было организовано изготовление системы управления, на Сарапульском электрогенераторном заводе - рулевых приводов, на Ижевском машзаводе - аппаратуры системы автоматического подрыва ракеты (АПР). Для отработки производства ракет был создан Ижевский филиал НИТИ-40.

Отработки ракеты проводили совместно СКБ-385 и ОКБ-235 завода №235. Первые две ракеты были изготовлены в августе 1959 года и направлены в г. Загорск для испытаний. В ноябре 1959 года еще две ракеты 8К14 были направлены на ГЦП-4 под Капустин Яр для проведения летных испытаний. В начале 1960 г. на заводе №235 был изготовлен 2-ой конструкторский макет и проведена корректировка документации.

Летные испытания ракеты Р-17 (8К14) были начаты в декабре 1959 года, при их проведении были выявлены серьезные недостатки. По результатам испытаний были проведены необходимые доработки систем ракеты, в том числе и подверглась значительным изменениям двигательная установка.

Первый этап лётно-конструкторских испытаний проведен в период с 12 декабря 1959 г. по 5 февраля 1960 г. на ГЦП-4. Его основная цель заключалась в проверке надежности и правильности работы всех систем ракеты, головной части, безопасности старта и полета при пусках ракеты со стартового агрегата 2П19. Предусматривалось запустить 10 ракет, но в связи с получением достаточного экспериментального материала проведены пуски 7 ракет. Подтверждена надежность старта и полета ракеты на максимальную - 240 км и минимальную - 50 км дальность.

Совместный промышленности и Министерства обороны этап испытаний ракеты проводился с августа 1960 г. по август 1961 г. Целью совместных испытаний являлась отработка и проверка на соответствие тактико-техническим требованиям Министерства обороны ракеты и комплекса наземного оборудования. Председателем комиссии был генерал-полковник В.С.Коробченко (начальник Ленинградского высшего инженерно-командного училища), его заместителем - технический руководитель испытаний В.Р. Серов (заместитель гл. конструктора СКБ-385). Предусматривалось провести 35 пусков ракет, в ходе испытаний их число сократили на 5 единиц.

В ходе испытаний проведенные конструктивные изменения уменьшили сухую массу ракеты примерно на 140 кг, был подтвержден заданный диапазон дальности 50-270 км и необходимая точность. На совместном этапе испытаний были также успешно проведены 2 пуска ракеты Р-17 на дальность 300 км.

Положительные испытания позволили рекомендовать принять комплекс с ракетой Р-17 на вооружение Советской Армии. Вся дальнейшая работа по комплексу целиком передана Воткинскому заводу №235. Серийное производство ракет было начато в 1961 году на этом заводе, оно продолжалось более четверти века с 1961 до 1987 года для ракетных частей сухопутных войск нашей страны, а также для стран Варшавского договора и ряда других зарубежных стран.

В процессе серийного производства ракеты 8К14 специалистами завода постоянно проводились опытно-конструкторские работы по улучшению тактико-технических и эксплуатационных характеристик, повышению стабильности параметров, качества и надежности

изготавливаемых изделий. По результатам выполненных работ повысилась стабильность основных параметров огневых испытаниях двигателя, повышена надежность функционирования элементов автоматики двигательной установки, увеличено время нахождения ракеты на боевом дежурстве в заправленном состоянии с 1 до 7 лет, срок эксплуатации ракет увеличен с 7 до 25 лет.



Самоходная пусковая установка 9П117 (фото А.В.Карпенко, ВИМАИВиВС)

На вооружение

24 марта 1962 г. Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР № 284-136 ракета Р-17 принята на вооружение Советской Армии. Комплекс 9К72 с ракетой Р-17 стоял на вооружении более 30 лет, в том числе около 15 лет был основой вооружения ракетных частей и соединений Сухопутных войск.

Впервые гусеничные СПУ 9П19 с ракетами были открыто продемонстрированы на военном параде на Красной площади в Москве 7 ноября 1961 года. В 1965 году на ноябрьском параде там же были впервые показаны колесные СПУ 9П117. В НАТО комплекс 9К72 получил код *SS-1c Scud B* (по старой классификации - *T-7B*).

Ракетные комплексы 9К72 в Советском Союзе были сведены в ракетные бригады сухопутных войск. Обычно в бригаду входит три огневых дивизиона, по три батареи в каждом дивизионе. В каждой батарее была одна СПУ 9П117 (9П19, 9П19М) и ТЗМ. Всего в бригаде имелось по 9 СПУ и 9 транспортно-заряжающих машин. Стрельба ракетой Р-17 производится со стартовых агрегатов. После выхода агрегата на огневую позицию проводятся предстартовые испытания, подготовка, прицеливание, заправка пусковым горючим и старт через 20-22 минуты.

С принятием на вооружении комплекса 9К72 встал вопрос об автоматизации управления ракетными подразделениями, частями и соединениями. Для управления ракетным дивизионом с 1965 года в томском ПО "Контур" под руководством О.Г.Протопопова была начата разработка системы автоматизированного управления "Ужба-Т". В 1977 году был принят на

вооружение комплекс автоматизированного управления ракетной бригадой с комплексом 9К72. В 1985 году был принят на вооружение, созданный под руководством Ю.П.Пакина, унифицированный комплекс автоматизированного управления "Плед" ракетными бригадами с ракетами оперативно-тактического назначения.

В результате проведения работ в ОКБ-235 были успешно решены вопросы обеспечения транспортировки ракет вертолетами, было увеличено время нахождения ракеты Р-17 на боевом дежурстве в заправленном состоянии с двух до семи лет, существенно сократилось время и объем регламентных работ.

Экспорт и боевое применение

С 1973 года вариант ракетного комплекса 9К72Э начал поставляться на экспорт, первые ракеты Р-17Э (8К14Э) были поставлены в Египет. Комплекс с ракетами Р-17Э и Р-300Э (при разработке ракета Р-17 имела индекс Р-300) поставлялся в страны Варшавского договора, в Египет, Ирак, Ливию, Сирию, Йемен, Северную Корею. По приказу МОП от марта 1989 года Воткинский машзавод изготовил головные части к ракетам Р-17 (8К14) для оказания военной помощи Республике Афганистан. По оценкам, ракетный комплекс 9К72Э находится на вооружении следующих стран: Сирии (одна бригада - 18 СПУ), Ливии (72 СПУ), Северная Корея (24 СПУ), Ирак (две бригады - 36 СПУ), Йемен и Афганистан.

Потенциал 9К72 поистине не исчерпаем, сегодня известны зарубежные варианты модернизации ракеты Р-17. Часть ракет Р-300Э проданных Ираку были модернизированы немецкими и бразильскими специалистами, по другой информации Китаем, Египтом и Францией. Так появились ракета "Аль-Хусейн" с дальностью стрельбы до 600 км и "Аль-Аббас" с дальностью стрельбы до 900 км. Увеличение дальности было получено в том числе и за счет уменьшения массы боевой части. Максимальная скорость и высота полета этих ракет стала выше своей предшественницы Р-17Э, возможно из-за этого корпуса некоторых ракет не выдерживали больших нагрузок и разрушались в полете.

Характеристики ракет Ирака

Характеристики	Р-300 (Р-17Э)	Аль-Хузейн	Аль-Аббас
Длина, м	11,25	12,46	13,75
Диаметр корпуса, м	0,88	0,88	0,88
Масса боевой части, кг			
Дальность стрельбы, км	300	630	900
Точность стрельбы (КВО), м	450	1000-3000	1000-3000

Провели совершенствование ракетного комплекса и в Северной Корее. При этом система управления осталась практически без изменений. Северная Корея продолжает активные работы по

ракетному оружию. Еще в 1979 г. КНДР приобрела у Египта несколько ракет Scud-B (P-17) и пусковых установок советского производства. Инженеры специально созданного КБ аккуратно разобрали и скопировали их (известный прием). Уже к 1987 г. ракеты производились крупной серией от 8 до 10 единиц в месяц. Во время ирано-иракской войны более сотни таких ракет было поставлено Ирану. В июне 1990 г. проходит испытания усовершенствованный вариант ракеты Scud-C дальностью пуска 570 км. Повышенной дальности пуска удалось достичь примитивным путем - уменьшив забрасываемый вес с 1000 кг до 770 кг. До конца 1999 г. в КНДР произведено свыше 1000 ракет обеих модификаций. Более половины их экспортировано в другие страны. В 1980-х гг. ракеты "Аль-Хусейн" и "Аль-Аббас" Ирак применял против Ирана.

Экспортный вариант комплекса 9К72 и вариантов на его базе имеет опыт боевого использования, он был использован в арабо-израильских войнах (Египет обстреливал ракетами Израиль), в ирано-иракской войне и в других событиях в зоне Персидского залива. В ходе так называемой «войны городов» с 29 февраля по 20 апреля 1988 года по шести иранским городам было выпущено 189 ракет, из них 135 непосредственно по столице – Тегерану. Для запуска ракет использовались штатные мобильные пусковые установки типа 9П117 и стационарные пусковые столы.

До начала операции «Буря в пустыне» в Вооруженных Силах Ирака насчитывалось до 800 ракет типа P-17Э (P-300). В первые дни войны авиацией коалиции были атакованы все стационарные площадки, 12 из которых были уничтожены и 13 повреждены. Наиболее эффективно действовали самолеты F-111F и «Харриер», затем следовали F-117, F-16, B-52, F-15E и F/A-18. Ираком в 1991 году было выпущено до 133 ракет P-300 по территории Израйля, Саудовской Аравии и Бахрейна, 80 ракет достигли цели, 7 ракет сошли с траектории и только 46 (по другим данным - 47) были сбиты ЗРК "Пэтриот" американского производства. На подготовку к пуску иракцы затрачивали до 10 минут, после чего район сразу покидали. Точность стрельбы ракет была не высокая, поэтому потери коалиции были не значительными. Однако одна из ракет попала в казарму американских военнослужащих, в результате погибло 28 человек. Боевой опыт показал, что уже морально устаревший «Скад-Б» обладал достаточно высокой боевой устойчивостью. Кроме этого, ракетный комплекс 9К72 применялся в 1980-х годах при ведении боевых действиях в Афганистане.

За длительное время серийного производства и эксплуатации ракет P-17 было проведено большое количество опытно-конструкторских работ и мероприятий, направленных на повышение ТТХ и эксплуатационных характеристик ракет. Проводились различные эксперименты с этими ракетами. (продолжение следует)

При подготовке публикации использованы материалы ГРЦ «КБ им. Акад. В.П.Макеева»