

Научно-исследовательские работы,
выполненные на кафедре СМ-12 по направлению
«Технологии композитных конструкций РКТ»

Профессор кафедры СМ-12
Михаил Андреевич Комков

Вспоминание о создании и работе групп «Намотка ПКМ» и «Нитевидные кристаллы» - в дальнейшем это группа «ТЗП»

В конце 50-х годов прошлого века Эдуард Адамович Сатель организовал на своей кафедре (М-8) совершенно новое тогда направление, которое в дальнейшем было оформлено как «Технологии композитных конструкций РКТ». Руководителем направления был назначен к.т.н., доцент Александр Константинович Добровольский, а его помощником к.т.н., доцент Сергей Сергеевич Леньков. Ими были сформированы две научные группы, в которых решались разноплановые задачи.

1). Проектирование и разработка научных основ метода намотки стеклопластиковых сферических баллонов высокого давления, которые по предварительным расчетам должны были быть вдвое легче стальных баллонов, применяемых в изделиях РКТ в конце 50-х годов.

2). Разработка оригинальной технологии изготовления высокотемпературных теплозащитных покрытий изделий РКТ на основе нитевидных кристаллов Al_2O_3 , Si_3N_4 , TiO_2 , обладающих уникальными механическими и теплофизическими характеристиками.

Первым инженером, а в дальнейшем и аспирантом А.К. Добровольского, стал Анатолий Борисович Джерелиевский, выпускник 1959 г кафедры М-1. Работы по намотке сферических баллонов проводились в содружестве с инженерами ДФ НИИТМ (Днепропетровский филиал) и материаловедами стеклянных волокон и стеклопластиков из ВНИИСПВ (пос. Крюково, Московская область).

Были проведены прочностные расчеты и спроектированы стеклопластиковые сферические оболочки баллонов, получаемые методом зональной намотки. Разработана многозонная кинематика намотки и технологический процесс изготовления

сферических баллонов с герметизирующей оболочкой из сырой резины. Спроектированы солевые, вымываемые горячей водой, сферические оправки и, главное, опытно-промышленный станок Днепр-1 (ЮМЗ, г. Днепропетровск) для намотки баллонов диаметром до одного метра с непрерывным изменением зонального угла намотки от полярного отверстия к экватору оболочки. Другой намоточный станок СфН-6 для изготовления методом зональной намотки сферических баллонов диаметром до 400 мм был спроектирован на кафедре М-8 и изготовлен на заводе. Этот станок и сейчас находится в рабочем состоянии и эксплуатируется на УЭЦ МГТУ им Н.Э. Баумана (пос. Орево, Московская область).

Непосредственно научными исследованиями и инженерной практикой занимались А.Б. Джерелиевский, аспиранты В.И. Костров, В.А. Калинин и В.М. Кузнецов, инженер И.М. Буланов, инженер-химик М.В. Мулюгина, механик Ю.И. Мулюгин и лаборантка В.И. Юлина. Ими в содружестве с инженерами ЮМЗ были изготовлены партии стеклопластиковых сферических баллонов с резиновой герметизирующей оболочкой диаметром 640 мм и партия баллонов диаметром 360 мм на кафедре М-8 в Калининградском филиале МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Все изготовленные баллоны прошли прочностные гидравлические испытания при нормальной температуре и показали хорошие результаты по массовым характеристикам при разрушающих давлениях 64...68 МПа. Однако при длительном хранении (около 4-х лет) под высоким давлением и низкой температуре резина покрылась трещинами, и баллоны стали негерметичными. К этому времени (середина 60-х годов) на ЮМЗ освоили выпуск сферических баллонов из титанового сплава ВТ-6С по массовым характеристикам сравнимых со стеклопластиковыми баллонами с резиновой герметизирующей оболочкой.

В дальнейшем у группы намотки, которой в 1971 г стал руководить В.М. Кузнецов, было длительное сотрудничество с ЦКБЭМ (РКК «Энергия», г. Калининград) по изготовлению созданию сферических оболочек из комбинированных материалов. Многозонная стеклопластиковая оболочка наматывалась на тонкостенную стальную или алюминиевую оболочку (герметизирующая и несущая оболочка-лейнер), но при испытаниях комбинированных баллонов давлением жидкости они разрушались по сварным швам, не достигая своих расчетных предельных значений.

Параллельно с изготовлением намоткой сферических баллонов проводились конструкторско-технологические исследования по намотке стеклопластиковых цилиндрических баллонов (к.т.н. В.И. Костров, 1968 г.). Теоретические и практические работы, связанные с герметизацией резиной стеклопластиковых баллонов, были выполнены В.А. Калинчевым (к.т.н., 1969 г.). Изготовление намоткой и исследование цилиндрических труб из лавсановых и стеклянных пленок проводил В.М. Кузнецов (к.т.н., 1970 г.), а стеклопластиковых труб с вмотанными металлическими и стеклопластиковыми фланцами И.М. Буланов (к.т.н., 1973 г.).

В это время в группе «намотка» проводилось совершенствование намоточного оборудования, конструировались технологические оправки, приобретались термические печи и разрывные машины для испытаний нитей и кольцевых образцов. Разрабатывались технологические процессы намотки, приобретались контрольно-измерительные приборы, разрабатывались правила контроля качества композитных конструкций, получаемых намоткой, проводились исследования свойств композитных материалов (И.М. Буланов, М.В. Мулюгина, Б.Н. Лягушев).

Вторая группа инженеров и аспирантов под научным руководством С.С. Ленькова проводила разработку состава и исследование свойств теплозащитных материалов и покрытий изделий РКТ. Руководителем группы инженеров был Ю.Ц. Куников (аспирант Э.А. Сателя, 1962 г.). В составе группы с 1963 г работали инженер В.А. Шишацкий и механик С.А. Ионов, а с осени 1966 г. – инженеры М.А. Комков и З.И. Свиридова. В последующие годы в группу пришли новые сотрудники, работы стали проводиться на двух территориях: в УЭЦ на установке «Кристалл» выращивали НК Al_2O_3 , а на Заводе экспериментального машиностроения (ЗЭМ, ЦКБЭМ) Шишацкий В.А. организовал получение нитевидных кристаллов Al_2O_3 на базе высокотемпературной (1800°C) печи с графитовой реакционной камерой (печь Таммана).

В Калининградском филиале МВТУ отработывали технологии по изготовлению металлических композиционных материалов (МКМ) на основе алюминиевой матрицы и высокопрочного стального (ВНС-9) волокна, а потом - композиционный материал на основе НК TiO_2 и полимерной матрицы (к.т.н. А.Н. Грибков, 1974 г.). На специальной насасывающей установке Комков М.А. проводил исследования метода фильтрационного осаждения и получения из коротких кварцевых волокон теп-

лоизоляционных материалов (ТИМ) и теплоизолирующих деталей в виде плиток, полусфер или конусов.

В дальнейшем эти исследования позволили создать на основе нитевидных кристаллов TiO_2 и связки из Al_2O_3 теплозащитные плитки ТИНК-21 для ВКС, работоспособные до температуры 1400°C (Ю.Ц. Куников, к.т.н., 1989 г.). А в УЭЦ, совместно с ЦСКБ (г. Самара), были созданы теплозащитные покрытия (ТЗП) для малых спускаемых КЛА на основе разработанного легковесного ($\rho_{ТЗП}=600$ кг/м³) абляционного материала ШКВКР (измельченное до $l_{КВ}=1,0...1,5$ мм штапельное кварцевое волокно + капроновое волокно + резольная смола). В этих работах самое активное участие принимали преподаватели кафедры М-8 к.т.н., доцент А.В. Фролов, к.т.н., доцент В.А. Калинин, ассистент Авсенева Наталья.

В конце 80-х и 90-х годах Ю.Ц. Куников с сотрудниками группы создали опытно-промышленную линию и разработали способ получения высокотемпературного теплоизоляционного материала (ТИМ) на основе коротких ($l_{\Lambda\Lambda}=0,5...1,5$ мм) базальтовых супертонких ($d_{БВ}=0,5...3,5$ мкм) волокон и неорганической связки Al_2O_3 .

Была разработана серийная технология изготовления методом фильтрационного осаждения из жидкой пульпы с гидроокисью алюминия и кислотностью $pH=7,5...8,5$ теплоизолирующих покрытий в виде плиток, полусфер и конусов. В 2000-е годы эти работы были продолжены к.т.н. Ю.В. Смирновым и М.П. Тимофеевым (к.т.н., 2007 г.). А в 2017 году по этому направлению была защищена кандидатская диссертация Ю.В. Баданиной.

В группе намотки с 1971 года проводились проектно-технологические и научно-исследовательские работы по конструированию и изготовлению орбитальной намоткой тороидальных конструкций из стеклопластиков и пленочных материалов. Были спроектированы и изготовлены в ЭПМ МВТУ им. Н.Э. Баумана и на заводе (ЗЭМ ЦКБЭМ, г. Королев) торонамоточный станок СНТ-2А и установка барабанного типа УСЛ-2Б для получения ленточного препрега (к.т.н. М.А. Комков, 1977 г.).

В 1973 году стараниями А.К. Добровольского и В.М. Кузнецова при большой поддержке заведующего кафедрой М-8 В.Г. Саксельцева был получен промышленный станок с ЧПУ СНП-3 (разработка НИИТМ для ЗЭМ ЦКБЭМ, изготовление

ЗТС г. Коломна Московской области) для намотки прямо- криволинейных трубопроводов и парубков. А в начале 80-х годов был приобретен торонамоточный станок СНТ-20У, на котором, после его модернизации, в УЭЦ методом орбитальной намотки А.Н. Силаевым и В.В. Игнатьевым были изготовлены сложно профильные (прямоугольник, треугольник, двутавр) шпангоуты диаметром 400 и 1100 мм, сечение 35x35 мм и 75x75 мм.. Сотрудники группы намотки постоянно проводили НИ-ИОКР совместно с организациями ЦКБЭМ, ЦНИИСМ (г. Хотьково), НПО «Композит», АНТК им. А.Н. Туполева, ГКНПЦ им. М.В. Хруничева в течение длительного времени вплоть до 2002 года.

С конца 60-х и в последующие годы по направлению «Технологии композитных конструкций РКТ» на кафедре М-8 (СМ-12) были подготовлены и защищены *кандидатские* и *докторские* диссертации по композитным конструкциям и технологическим процессам их изготовления.

1. Костров В.И., цилиндрические стеклопластиковые баллоны (1968 г).
2. Калинин В.А., герметизация стеклопластиковых баллонов (1969 г).
3. Кузнецов В.М., трубы из лавсановых и стеклянных пленок (1970 г).
4. Буланов И.М., стеклопластиковые трубы и кольцевые образцы (1973 г).
5. Комков М.А., стеклопластиковые баллоны тороидальной формы (1977 г).
6. Крутиков Б.Н., разъемные по меридиану торы кругового сечения (1983 г).
7. Нехороших Г.Е., криволинейные стеклопластиковые трубопроводы (1985 г).
8. Шишацкий В.А., комбинированные баллоны тороидальной формы (1987 г).
9. Перфильев С.А., совмещенное конструкторско-технологическое проектирование композитных цилиндрических баллонов (1988 г).
10. Силаев А.Н., коробчатые шпангоуты из стеклопластика (1991 г).
11. Игнатьев В.В., двутавровые стеклопластиковые шпангоуты (1994 г).
12. Чан Нгок Тхань, тороидальные стеклопластиковые баллоны для дыхательных аппаратов (2007 г., Вьетнам).

Защищены кандидатские диссертации по технологическим процессам и исследованиям свойств композиционных материалов.

1. Грибков А.Н. (ПКМ на основе нитевидных кристаллов, 1974 г).
2. Протопопов К. (ПКМ на основе прошивных тканей, 1976 г).
3. Бочкарев С.В. (ПКМ на основе радиационного отверждения, 1984 г).
4. Куников Ю.Ц. (ТЗП на основе ШКВКР и ТИНК-21, 1989 г).
5. Вахид аспирант из Сирии (УУКМ – выбор углеродных матриц, 1996 г).
6. Тимофеев М.П. (ТИМ на основе коротких базальтовых волокон, 2007 г).
7. Беляков Е.В. (Обшивка обтекателя из углепластикового препрега, 2012 г).
8. Баданина Ю.В. (ТИП на основе коротких базальтовых волокон, 2017 г).
9. Романенков В.А. (Технологические основы процесса изготовления теплозащиты спускаемых космических аппаратов, 2018 г.)

На основании выполненных НИИОКР были подготовлены и защищены *две докторские диссертации*: «Разработка основ технологии и средств изготовления намоткой из композиционных материалов тороидальных конструкций минимальной массы» (М.А. Комков, 1997 г.); «Совместное конструкторско-технологическое проектирование трубопроводов из ПКМ» (И.М. Буланов, 1999 г.).

Начиная с 1989 года, под руководством В.А. Шишацкого, кафедра проводит НИИОКР с АНТК им. А.Н. Туполева, а в 1991-94 годах выполняет опытно-промышленное изготовление из полиимидно-фторопластовых пленок ПМФ-352 криогенных прямо-криволинейных трубопроводов на станке СНП-3 для проектируемого тогда самолета ТУ-204. За эти разработки в 1995 году группа сотрудников каф. СМ-12 (В.А. Шишацкий, В.М. Кузнецов, Г.Е. Нехороших, М.А. Комков и М.В. Мулюгина) была отмечена первой премией МГТУ им. Н.Э. Баумана. В дальнейшем (1998-2001 г.г.) накопленный опыт позволил организовать на каф. СМ-12 изготовление методом намотки на станке СНП-3 пяти комплектов прямо-криволинейных трубопроводов из пленки ПМФ-352 (по 25 различных труб в комплекте) для пяти криогенных разгонных блоков КРБ-12, созданных и изготовленных в ГКНПЦ им. М.В. Хруничева по заказу Правительства Индии.

В 1983 году заведующий кафедрой М-8 Г.А. Киселев предложил читать студентам специальности 13.06 - «Ракетостроение» курс лекций по изготовлению композитных конструкций РКТ, названный в то время «Специальные технологические процессы», лектором был назначен М.А. Комков.

В 1986 году ректором МВТУ им. Н.Э. Баумана А.С. Елисеевым было принято решение о начале подготовки на кафедре М-8 двух групп студентов по специальности 12.10 - «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов». Был разработан учебный план специальности, подобран преподавательский состав. С самого начала специальностью руководил И.М. Буланов, а в 1997-2002 г. г. – М.А. Комков. В 2002 году на базе специальности 12.10 была организована новая на факультете кафедра СМ-13, первым заведующей кафедрой СМ-13 стал - И.М. Буланов.



Группа «Намотка ПКМ» в 1975 г. слева направо: Г.Е. Нехороших, Ю. В. Гнилош-
куров, М.А. Комков, А.К. Добровольский, М.В. Мулюгина, Б.Н. Лягушев, В.М.
Кузнецов

Однако после отделения кафедры СМ-13 работы, связанные с подготовкой студентов и аспирантов по композитным технологиям на каф. СМ-12, благодаря непосредственному участию в них зав. каф. профессора Тарасова В.А. и профессора Комкова М.А., не прекратились. В 2003-2007-2012-2017-2018 годах были подготовлены и успешно защищены пять кандидатских диссертации: Тимофеев М.П., Чан Нгок Тхань, Беляков Е.В., Баданина Ю.В., Романенков В.А.

В это же время (2009-2017 гг.) на кафедре СМ-12 выполнялись научно-исследовательских и опытно-конструкторских работы по нескольким договорам с ЗАО «КОМПОМАШ-ТЭК» (генеральный директор д.т.н., профессор В.А. Моисеев), связанные с разработкой новой конструкции насосно-компрессорных труб (НКТ) с композиционным теплоизолирующим покрытием для закачки перегретого до температуры 420 градусов Цельсия пара под давлением до 35 МПа в высоковязкий нефтяной пласт глубиной до 3000 метров. На каф. СМ-12 в этих работах непосредственное участие приняли В.А. Тарасов, М.А. Комков, А.С. Филимонов, М.П. Тимофеев, Ю.З. Болотин, Ю.В. Баданина.

Были выполнены теоретические и прикладные исследования, разработана технология изготовления высокопористых сложно профильных изделий (втулок, манжет, конусов, полуцилиндров или скорлуп) из коротких базальтовых волокон и связ-

ки из Al_2O_3 методом жидкостной фильтрации с коэффициентом теплопроводности 0.04 Вт/(м К). Разработана конструкция и изготовлены опытные образцы (диаметр 50x114 мм, длина 2500 мм) НКТ с низкоплотной (156 кг/м^3) и экологически чистой базальтовой теплоизоляцией и внешней силовой оболочкой, изготовленной намоткой из стеклопластика. Проведены успешные стендовые температурные и силовые испытания (каф. СМ-12, ЗАО «Компомаш-ТЭК», г. Москва, ООО «ВНИИТ-нефтетрубы», г. Самара) теплоизолированных НКТ с *вдвое* меньшей погонной массой по сравнению с вакуумно-теплоизолированными НКТ (термокейсы) для работы изделий при температурах до 750°C , что существенно повышает возможность добычи тяжелых вязких нефтей из устьев скважин глубиной до 3000 метров.

В 2016 году кафедра СМ-12 (зав. кафедрой А.Л. Галиновский) приобрела 3D принтер EOS FORMIGA P 110, на которой А.Н. Королев проводит научно-исследовательские работы по созданию сложно контурных изделий по 3-D технологии из полистирола и полиамидного порошка PA2200, изучает структуру и свойства получаемых материалов.

На кафедре СМ-12 (М-8) вот уже 37 лет проводится учебно-методическая работа по подготовке студентов по дисциплине «Технологии производства композитных конструкций». В настоящее время преподаватели каф. СМ-12 читают курсы лекций, проводят научно-исследовательские и курсовые работы, руководят курсовыми и дипломными проектами студентов и магистров, обучающихся по направлению специалитета и магистратуры на кафедрах СМ-12, Э-1 и СМ-13, по нескольким дисциплинам, суммированных как «Научные основы методов и технологии производства композитных конструкций РКТ». Большую поддержку в подготовке и проведении технологических практик, лабораторных занятий и чтении лекций студентам и магистрам оказывает директор МИЦ «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доцент каф СМ-12 Владимир Александрович Нелюб и зам. главного технолога, главный химик завода экспериментального машиностроения РКК «Энергия», доцент каф. СМ-12 Владимир Алексеевич Романенков.



Стажировка преподавателей кафедр М-1, М-8 (СМ-12), Э-1 и др. по ЖРД, 1985 год
От кафедры М-8 участие принимали: Калинин В.А, Комков М.А. и Плотников Ю.П. Четвертый справа – зав. кафедрой СМ-8 Геннадий Алексеевич Киселев

Монографии, учебники и учебные пособия.

Основные теоретические положения, технологические методы и процессы изготовления композитных конструкций и теплозащитных материалов и покрытий, изложены в работах.

1. *Технология производства и диагностика качества композитных конструкций ракетно-космической техники.* Производство конструкций из волокнистых композиционных материалов: учебное пособие / М.А. Комков [и др.]; под ред. М. А. Комкова, А. Л. Галиновского. — Старый Оскол: ТНТ, 2020. — 344 с.
2. *Технология производства и диагностика качества композитных конструкций ракетно-космической техники.* Обеспечение качества производства композитных конструкций: учебное пособие / М. А. Комков [и др.]; под ред. М. А. Комкова, А. Л. Галиновского. — Старый Оскол: ТНТ, 2020. — 344 с.
3. *Комков М.А., Тарасов В.А.* Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 431с., ил. (Первая премия МГТУ им. Н.Э. Баумана за 2012 год)
4. *Калинчев В. А, Ягодников Д. А.* Технология производства ракетных двигателей твердого топлива: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 687с., ил. (Первая премия МГТУ им. Н.Э. Баумана за 2012 год)

5. *Комков М.А., Тарасов В.А.* Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения: учебное пособие. – 2-е изд. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 431 с.: ил. – (Технологии ракетно-космического машиностроения).
6. *Буланов И.М., Воробей В.В.* Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учебник для вузов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. - 516с. (Премия правительства РФ за 2004 год)
7. *Сосуды давления из композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов /И.М. Буланов, В.И. Смыслов, М.А. Комков, В.М. Кузнецов.* – М.: ЦНИИ информации, 1985. – 308с.
8. *Калинчев В.А., Макаров М.С.* Намотанные стеклопластики. – М.: Химия, 1986. – 272с.
9. *Комков М.А., Буланов И.М.* Определение конструктивно-технологических параметров оболочек, намотанных из композиционных материалов: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1992. - 84с.
10. *Комков М.А.* Технология изготовления и испытания микропластика на основе непрерывных волокон и терморезактивных связующих. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. - 20с.
11. *Комков М.А.* Определение конструкторских и технологических параметров композитных баллонов торовой формы. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 24с.
12. *Комков М.А., Тарасов В.А., Моисеев В.А.* Проектирование и технология выполнения клеевых соединений: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 82с.
13. *Комков М.А., Тарасов В.А.* Расчет параметров намотки композитных оболочек цилиндрических корпусов и баллонов давления. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 24с.
14. *Технологическое проектирование оболочек баллонов и трубопроводов минимальной массы из комбинированных материалов: учебное пособие / [М.А. Бабурин и др.]; под ред. М.А. Комкова.* – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. – 70 с.