

# ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 2 (55)  
апрель – июнь  
2012

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал  
Издается с июля 1998 года  
Выходит один раз в три месяца

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: М.С. Высоцкий, М.А. Андреев, В.Н. Дашков, А.М. Захарик, А.Б. Зуев, В.Л. Колпашиков, Л.Н. Крупец, Д.И. Корольков, Г.С. Лягушев, Е.И. Медвецкий, М.Г. Мелешко, С.А. Чижик

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодинская, 4)

тел./ факс 203-88-80; 226-73-36

E-mail: mail@boim.by

Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс 00139

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 26.06.2012.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 5,1.

Тираж 250 экз. Заказ № 206.

Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-техническом институте НАН Беларуси».

Лицензия ЛП № 02330/0494176 от 3.04.2009 г.

220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Юбилей

Владимир Алексеевич Белый.....2

Супероружие Бриша.....6

Защитник отечества.....7

Полвека космической сенсации.....11

Аж сэрца сціскаецца.....15

### Разработка ученых и специалистов

Пространственно-временная обработка сигнала в бортовой радиолокационной станции беспилотного летательного аппарата.....18

Трение и износ полимерных композитов.....24

Численное моделирование течения газозвдушенного потока сквозь решетки цилиндрических стержней (электродов).....32

### Патентуем сами

Некоторые особенности стоимостной оценки запатентованных изобретений.....35

### Страницы истории

Секретоноситель.....37

### Из истории авиации

Звезды и тернии.....43

## ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ БЕЛЫЙ

*В этом году исполнилось 90 лет со дня рождения академика Владимира Алексеевича Белого — крупного ученого в области триботехники и материаловедения, вице-президента Академии наук Белорусской Советской Социалистической Республики, ректора Белорусского и Гомельского государственных университетов, основателя и первого директора Института механики металлополимерных систем НАН Беларуси, носящего в настоящее время его имя.*



*Академик В.А. Белый*

Владимир Алексеевич Белый прожил непростую, но насыщенную событиями и достижениями жизнь. В 15 лет он потерял отца, репрессированного в 1937 г. Реабилитация пришла лишь два десятилетия спустя. Надо было поддерживать мать и сестру. Поэтому после окончания с отличием средней школы Владимир Белый стал работать паровозным кочегаром. Началась война,

в которой железнодорожные магистрали стали главными артериями снабжения сражавшихся армий, эвакуации промышленного и человеческого потенциала вглубь страны. Железные дороги являлись основной целью бомбежек вражеской авиации, что приравняло их к передовой. Работники железных дорог вошли в состав железнодорожных войск. Они несли большие потери и требовали постоянного пополнения. Особенно острый недостаток ощущался в инженерных кадрах. В.А. Белый был направлен на учебу в Ростовский институт железнодорожного транспорта, эвакуированный в Тбилиси, который закончил с отличием уже в Ростове.

В 1953 г. было решено создать в Гомеле Белорусский институт железнодорожного транспорта. Гомель был на 95 % разрушен, но для высшего учебного заведения было выделено самое большое уцелевшее здание, срочно построены общежития, направлены из других регионов для работы в институте преподаватели и оборудование. В Гомель приехали известные профессора и молодые кандидаты наук из Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Ростова на Дону, Ташкента. Среди них был и кандидат технических наук Владимир Алексеевич Белый.

В.А. Белый быстро стал заметной фигурой в институте и уже на второй год работы был назначен заведующим кафедрой и деканом механического факультета. Затем стал проректором по научной работе. Уже в те годы многие отмечали его феноменальную память и умение проводить в уме сложные математические расчеты. К сожалению, компьютеров еще не было. Зато неизменным рабочим атрибутом была логарифмическая линейка. С ней он практически не расставался.

Большое внимание В.А. Белый уделял воспитанию студенческой молодежи. Время было не простое. Сказывались ужасные последствия вой-

ны. Республика еще оставалась в руинах, люди жили в землянках. Жили очень бедно. Многие мальчишки и девчонки воспитывались без отцов. Владимир Алексеевич был постоянным гостем в студенческих общежитиях. Воспитатель он строгий. Бывшие студенты вспоминают, как жестко он боролся с пьянством, а квартира Владимира Алексеевича напоминала музей холодного оружия, которое он лично изымал у студентов. До милиции он обычно дело не доводил. Это происходило по вечерам, а ранним утром он вместе со студентами оказывался на институтском стадионе и попробуй не потренируйся вместе с деканом.

В 1969 г. под руководством В.А. Белого был образован Институт механики металлополимерных систем Академии наук БССР, директором которого он оставался до 1979 г. Параллельно со дня образования в 1969 г. по 1973 г. он возглавлял Гомельский государственный университет. В 1973 г. В.А. Белый избран на должность вице-президента АН БССР, а в 1979 г., оставаясь вице-президентом, назначен ректором Белорусского государственного университета. С 1987 г. он работает советником, а затем почетным директором Института механики

металлополимерных систем НАН Беларуси. Вот вкратце и все, что было. Но еще были события, определившие его собственную судьбу, судьбу его многочисленных учеников и близких.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук Владимир Алексеевич защитил в Московском ордена Трудового Красного Знамени электромеханическом институте инженеров железнодорожного транспорта им. Ф.Э. Дзержинского в 1952 г. Тема диссертации — исследование трения колец о втулки паровозных золотников. Ученым руководителем работы (в те годы это был именно ученый руководитель) являлся доктор технических наук, профессор В.Н. Иванов. В эти годы судьба свела Владимира Алексеевича с человеком, ставшим на многие годы его наставником и другом, доктором технических наук, профессором Игорем Викторовичем Крагельским. Игорь Викторович и его семья принадлежали к поколению высокообразованной старой российской интеллигенции. Его отличали высочайший профессионализм, свободное владение несколькими иностранными языками, высокий уровень культуры.



*В первом ряду слева направо П.М. Машеров, Н.А. Борисевич, В.А. Белый, А.П. Александров*



*Владимир Алексеевич в редкие часы отдыха на даче в Городищах супругой, детьми и внучкой*

И.В. Крагельский по праву считается одним из крупнейших трибологов двадцатого столетия. В 1952 г. Игорь Викторович выступил официальным оппонентом по диссертационной работе В.А. Белого. Двадцать лет спустя он будет оппонировать работу, представленную на соискание докторской степени. Постановка кандидатской работы базировалась на результатах исследований всемирно известных ученых в области физики поверхностей и триботехники (И.В. Крагельский, Б.В. Дерягин и др.). Работа содержала ряд выводов и гипотез, существенно выходящих за рамки существовавших в те годы представлений. Ряд результатов диссертационной работы был использован в дальнейшей работе В.А. Белого.

Доктором наук Владимир Алексеевич стал сравнительно поздно в 48 лет. Сравнительно потому, что сегодня средний возраст защиты докторских диссертаций лет на 10 выше. И все-таки поздновато, слишком много времени заняла организационная работа по созданию, строительству и развитию Института механики металлополимерных систем АН БССР, а затем по реорганизации, строительству и развитию Гомельского государственного университета. Защита диссертации проходила в Объединенном Совете Отделения физических и технических наук Латвийской ССР

(г. Рига), где в те годы на базе Института механики АН Латвийской ССР сформировалась одна из наиболее продвинутых научных школ СССР в области механики и прочности полимерных материалов. Тема работы — создание и исследование новых материалов и конструкций на основе полимеров и металлов — полностью отражала основные научные направления созданного им в Гомеле института. С позиций сегодняшнего дня не просто понять восприятие полимерных материалов учеными и конструкторами того периода. Полимеры рассматривались как неполноценные материалы в сравнении с металлами и сплавами, прежде всего из-за их сравнительно низкой прочности и теплостойкости, сложного, малопонятного поведения под влиянием гаммы внешних факторов. Время осознания их преимуществ как материалов легких, коррозионно-стойких, обладающих высокой демпфирующей способностью, низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью и технологичностью переработки было еще впереди. И уж совсем фантастикой представлялось создание композиционных материалов на основе полимеров и металлов, полимерных покрытий металлов и сплавов. Используя стандартный лексикон современных диссертационных работ, автором был выполнен комплекс

научно-исследовательских работ, охватывающий широкий спектр проблем создания и исследования новых материалов и конструкций на основе полимеров и металлов, подчиненных единой цели — разработке теоретических и технологических основ формирования полимерных и металлополимерных материалов и их внедрению в различные отрасли народного хозяйства. Строго говоря, во многих случаях были нащупаны лишь первые шаги к решению перечисленных проблем. Работы по их развитию хватило еще десяткам будущих аспирантов и докторантов В.А. Белого.

Читая литературу об академике В.А. Белом, часто встречаешь утверждение о его великолепной интуиции. Возможно, но еще была и огромная работа человека над самим собой. В семье Владимира Алексеевича хранится удивительный архив. В этом архиве двадцать лет его жизни собственноручно расписаны буквально по дням на небольших, размером с половину открытки карточках. Важнейшие дела, встречи, впечатления каждого дня. Владимир Алексеевич читал много специальной научной литературы, но его также очень увлекали научно-популярные журналы («Знание — сила», «Техника молодежи», «Наука и жизнь», «Химия и жизнь» и др.). Они являлись непременным атрибутом домашней подписки на периодические издания. В них он искал нестандартные подходы к научно-техническим проблемам своей области знаний. Одним из любимых афоризмов Владимира Алексеевича был следующий. Как делаются великие открытия? Очень просто. Все знают, что это сделать нельзя, но всегда находится чудак, который этого не знает, и он это делает. Был ли это его собственный афоризм или он где-то его прочитал, сейчас сказать трудно.

В.А. Белый регулярно приглашался к участию в самых престижных научно-технических конференциях мира, международных форумах, посвященных развитию образования, участвовал в международных переговорах. В этих поездках были встречи с ведущими учеными мира, королевой Англии, президентом Филиппин, рядом лауреатов Нобелевской премии и т. д.

Постоянной страстью его жизни была педагогика. Это был педагог в широком смысле сло-

ва: обучение студентов, сотрудников, подготовка кадров высшей квалификации, воспитание собственных детей и внуков. Конечно, к детям и внукам было особое внимание, касалось ли это учебы в школе, которую сын и дочь закончили с золотой медалью, привлечение к спорту, обучение музыке или вождения автомобиля. Большую помощь в этом ему оказывала супруга, значительную часть своей трудовой жизни, проработавшая учительницей.

Естественно, его постоянно интересовала проблема подготовки научных кадров высшей квалификации. Он разработал и вручал каждому из своих аспирантов и докторантов целый комплект документов, который условно можно было назвать «руководство по подготовке диссертации». Оно включало все: от написания литературного обзора до выбора оппонентов. Об этом комплекте документов можно писать много. Приведем лишь один пример. Начинать написание диссертационной работы — любил повторять В.А. Белый — следует с автореферата. Суть работы в автореферате. Это квинтэссенция всей научной работы. Все остальное необходимо, чтобы удовлетворить требованиям Высшей аттестационной комиссии. С юмором добавлял: «Автореферат будут читать десятки людей, в том числе и потенциальные научные соперники. Диссертацию, возможно, прочтут оппоненты и я — Ваш научный руководитель».

Будет не правильно говорить о подготовке им академиков. Академик — это от бога, но нужно было найти талантливую молодежь и помочь ей раскрыться. Среди студентов первых выпусков БИИЖТА нужно было угадать будущего академика А.И. Свириденка и члена-корреспондента Б.И. Купчинова, среди десятков аспирантов Института прикладной механики АН СССР в Москве найти будущего академика Н.К. Мышкина, в Киеве вычислить член-корреспондента Ю.М. Плескачевского, а среди выпускников Белорусского государственного университета — члена-корреспондента С.А. Чижика.

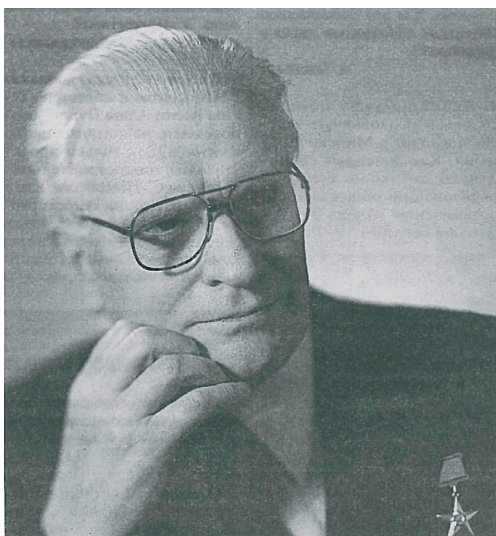
Сегодня это ведущие ученые республики, их многочисленные коллеги успешно развивают и преумножают заложенные академиком В.А. Белым полвека тому назад научные направления.

*Редакционная коллегия*

## СУПЕРОРУЖИЕ БРИЩА

Он создавал бомбы и гордится своей работой

*На днях Аркадий БРИШ, один из создателей первых отечественных атомной и водородной бомб, отметил 95-летие. Коллеги поздравляли почётного научного руководителя в стенах ВНИИ автоматики имени Н.Л. Духова, где разрабатывают ядерные боеприпасы и их компоненты.*



В прошлый раз в по-прежнему секретном институте журналистов (иностранных, в виде исключения) принимали за два дня до заключения пражского договора о сокращении стратегических наступательных вооружений. Выступление Аркадия Адамовича неожиданно после подписания документа процитировал Барак Обама — слова о надежде, что «когда-нибудь наступит время без ядерного оружия, будет мир и спокойствие на земле»...

Мы беседуем в его институтском кабинете: на скромном столе несколько телефонов, за спиной — красивая фотография языка пламени, подаренная одним из сотрудников. По глазам профессора и орденосца (среди прочих — боевой орден Красной Звезды за участие в белорусском партизанском движении) видно: пламя не гаснет и у него в душе. На другой стене — фотографии «отцов» советского атомного проекта, трижды Героев Соцтруда, ученых Игоря Курчатова, Николая Духова и Юлия Харитона. Кстати, сам Бриш — один из семи ныне живущих «героев атомного про-

екта СССР», всего в Союзе золотые Звезды Героев получили более ста атомщиков...

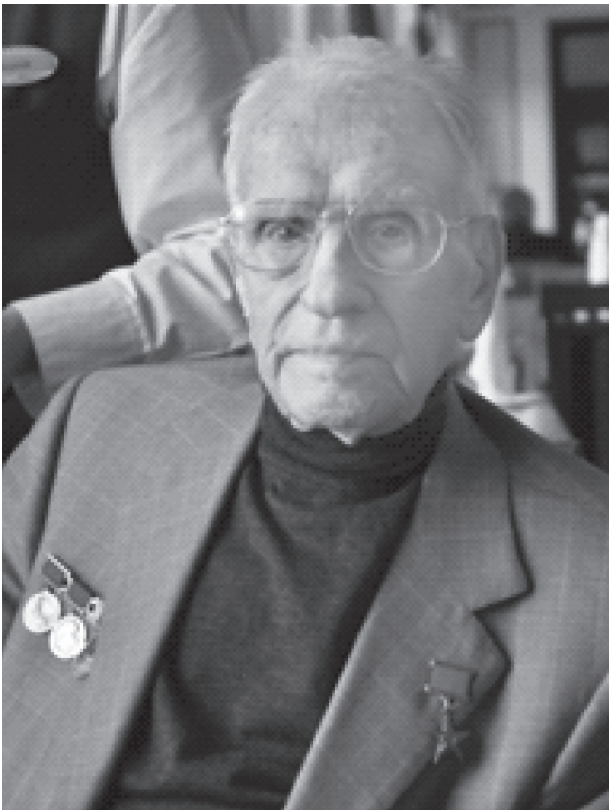
...В детстве Бриш, как и другие мальчишки, хотел стать летчиком. Но подвел близорукий левый глаз. По зрению не взяли учиться и на машиниста паровоза. Зато после 7-го класса приняли в школу электромонтеров. Половину дня занимало обучение, половину — работа, за которую даже что-то платили. В Минке, где жила семья (отец-учитель, мать и три брата), «украинского» голода не знали. Но время все равно было голодное — начало тридцатых. Бриш с улыбкой рассказывает, что из него вышел отличный электромонтер. Но через некоторое время он вернулся в школу, поступил в Минский госуниверситет, затем пришел в белорусскую Академию наук, планировал стать преподавателем. Пойти по этой стезе не дала война. После нее Бриш решил было поступать в военную академию, «но туда брали только офицеров, а я-то кто? Партизан...» Еще одним вариантом стала модная в то время дипломатическая служба — и ведь почти взяли в дипшколу! Не хватило только рекомендации райкома. Вскоре он и рекомендацию получил, но в другой руке уже было направление на «объект» — в создаваемое в мордовской глуши секретное КБ-11. Теперь-то ясно, что это сама судьба настойчиво подводила к дороге в нынешний Федеральный ядерный центр в Сарове...

...Наши послевоенные достижения связаны с выдающимися организаторами науки и техники — Сергеем Королевым, Игорем Курчатовым, Мстиславом Келдышем. Но один человек не может знать, как решить все проблемы... Настоящий лидер собирает вокруг себя умных людей, советуется. Так всегда поступал мой руководитель Юлий Харитон. Задача лидера — выбор правильного пути.

*Из статьи А.Колисниченко  
(газета «Аргументы и факты»  
№ 22(230) 30 мая 2012 г.*

## ЗАЩИТНИК ОТЕЧЕСТВА

*14 мая 2012 г. исполнилось 95 лет одному из создателей ядерного оружия в СССР, уроженцу г. Минска, участнику партизанской борьбы в Беларуси в годы Великой Отечественной войны, Герою Социалистического Труда, лауреату Ленинской и Государственных премий, Заслуженному деятелю науки и техники Российской Федерации, доктору технических наук, профессору Аркадию Адамовичу Бришу.*



Аркадий Адамович отсчитывает десятый десяток напряженных, трудных, но плодотворных и счастливых лет. Учеба на физико-математическом факультете БГУ, непродолжительная работа в НИИ химии АН БССР, разведчик штаба партизанской бригады им. К.Е. Ворошилова, снова учеба, научная и конструкторская работа, учеба, учеба, учеба... у руководителей и подчиненных, по книгам и статьям, на совещаниях, на работе и дома, в будни и праздники, в бессонные ночи раздумий. Ведь работа, как правило, выполнялась в условиях острой нехватки оборудования, материалов, сжатости сроков. На пройденном пути столько волнений, встреч, столько, казалось, безвыходных ситуаций и столько успешных

решений, заслуженных наград. Прожитые годы Аркадий Адамович вспоминает с гордостью.

Белорусский мотив у Аркадия Адамовича очень сильный. Он приезжал по служебным делам, на юбилеи Белорусского госуниверситета, навестить могилы своих родителей, которые похоронены на калядичском кладбище, на встречи с однополчанами.

Мое знакомство с Аркадием Адамовичем состоялось в 1981 г. В преддверии 60-летия Белорусского государственного университета готовился юбилейный стенд. Мне, тогда декану физического факультета, хотелось на этом стенде как можно более полно отразить успехи наших выпускников. Высшим признанием любого специалиста (в том числе ученого) в то время была золотая звезда Героя Социалистического труда, а для ученого — Ленинская премия, которая в нашей стране практически приравнивалась Нобелевской.

Начиная с первого выпуска, по архивам были составлены списки всех выпускников-физиков. Во все средние школы Белоруссии были направлены списки выпускников-физиков, проживавших ранее в их районе с просьбой найти родственников и выяснить их судьбу. Были задействованы преподаватели вузов, ученые, ведущие специалисты промышленных предприятий Минска, Москвы, Ленинграда, Хабаровска, других городов страны. Среди 8 Героев Социалистического труда и 6 лауреатов Ленинской премии Аркадий Адамович — Герой и Лауреат. На наше приглашение приехать в Минск Аркадий Адамович отозвался с радостью. Прислал фотографии, на празднование юбилея БГУ приехал с женой, очаровательной Любовью Семеновной. С этого момента мы поддерживаем теплые отношения: встречаемся в Минске и Москве, обмениваемся поздравлениями на праздники, изредка звоним друг другу.

Всякий раз Аркадий Адамович горячо интересовался университетом, с большим удовольстви-

ем встречался со студентами, преподавателями, учеными, при этом не только рассказывал, но интересовался уровнем подготовки, задавал много вопросов студентам. Что их волнует? Какие курсы лекций наиболее их интересуют? Почему? Какие виды приработка они предпочитают? Как проводят каникулы? Какой процент студентов во время учебы создают семьи? Где собираются применять полученные в университете знания? Как много желающих уехать работать за рубеж? Много ли желающих идти в науку? Поступать в аспирантуру?

С большой радостью Аркадий Адамович встречает гостей из Минска в московской квартире. Всегда угощения, среди которых большинство из продукции белорусских предприятий (даже здесь проявляется приоритетность) и расспросы о делах ваших личных и ваших близких, общих знакомых, о физическом факультете университета, о руководителях разного уровня, об общей обстановке в городе и стране, о финансировании науки, и т. д. Аркадий Адамович и его (ныне уже покойная) супруга Любовь Семеновна (выпускница геофака БГУ) всегда угощают разносолами, окружают вниманием, найдут интересную тему, сделают все, чтобы гость почувствовал себя непринужденно и, сколько позволяет время, сам не хотел уходить.

Аркадий Адамович Бриш родился 14 мая 1917 г. в семье белорусского учителя физики. Отец, начавший учительский путь в 1901 г., смог привить маленькому сыну такие важные для любого человека качества, как трудолюбие, обязательность и ответственность, а еще — любовь к технике, математике и физике как фундаменту инженерного дела.

После окончания 7 классов средней школы Аркаша Бриш поступил в фабрично-заводское училище. Трудовую деятельность начал в 14 лет (в октябре 1931 г.) учеником электромонтера Белорусской конторы Всесоюзного электротехнического объединения. В 1932–1935 гг. работал электромонтером и учился в вечерней школе Западной железной дороги. После окончания средней школы в 1935 г. поступил на физико-математический факультет Белорусского государственного университета. В студенческие годы А. Бриш кроме учебных занятий посещал научный кружок, где выступал с рефератами, выполнял первые научные исследования. Кроме того,

он активно занимался в спортивных секциях (сначала в велосипедной, затем в лыжной). В период летних каникул Аркадий Бриш работал вожатым в пионерском лагере, совмещая работу, дающую материальный привесок в бюджет семьи, педагогическую практику и отдых.

В 1940 г. дипломированный физик А.А. Бриш направлен на научную работу в Академию наук БССР. Молодого специалиста-физика определяют в институт химии АН БССР с заданием: рентгенографическими методами исследовать структуру и фазовый состав различных веществ. Однако младшему научному сотруднику Аркадию Бришу, с увлечением окунувшись в научную работу, не удалось в полной мере выполнить даже ближайšie задачи. Началась война и пришлось отказать от своих планов.



*А.А. Бриш пропитан энергией и энтузиазмом*

Война. Это отдельная страница в жизни Аркадия Адамовича Бриша, которая не просто оставила свой неизгладимый след в его памяти, но и, думается, в какой-то степени предопределила его жизненный путь. В Минске и его окрестностях сразу же после прихода немецко-фашистских захватчиков начали формироваться подпольные группы и партизанские отряды. В одну из таких подпольных групп, которую возглавляла Анастасия Фоминична Веремейчик, вошел Аркадий Бриш. Эта группа добывала и передавала в партизанский отряд разведывательные данные, оружие, боеприпасы и медикаменты. На ее счету изъятие и сохранение сейфа с архивом народного писателя Беларуси Якуба Колоса, организация нелегального прослушивания радиопередач из Москвы, распространение листовок. Аркадий Бриш принимал самое активное участие



в деятельности подпольной группы. Он организовал вывоз из Минска оборудования и материалов для подпольной типографии, был связным, разведчиком, а затем вошел в разведгруппу штаба бригады им. К. Ворошилова, действовавшей в Узденском районе. Ходил на боевые задания участвовал во многих боях с оккупантами. В частности, в декабре 1943 г. принимал участие в разгроме крупной колонны фашистских автомашин, охраняемых броневиками, на шоссе Минск – Слуцк. За участие в боевых операциях в тылу врага он награжден орденом Красной Звезды и медалью «Партизану Отечественной войны» I степени.

В 1944 г. решением штаба партизанского движения Белоруссии А.А. Бриш был откомандирован для продолжения научной работы в институт машиноведения АН СССР в Москву. В 1947 г. А.А. Бриш входит в число первых сотрудников КБ-11, так называемый «Арзамас-16». В должности главного конструктора ядерных боеприпасов СССР работал с 1964 г. до 1993 г., затем 12 лет в должности Главного конструктора ядерных боеприпасов России. С 1996 г. он является Почетным руководителем Российского федерального научно-исследовательского института авиационной автоматики им. Н.Л. Духова в г. Москве. Результаты работ Аркадия Адамовича отмечены высокими наградами.

За успешное выполнение специальных заданий Правительства, за храбрость, стойкость и мужество, проявленные в партизанской борьбе против немецко-фашистских захватчиков, за заслуги перед государством, большой личный вклад в развитие атомной промышленности и боеспособности страны А.А. Бриш был удостоен государственных наград: Золотая медаль



*Заместитель директора ИТМО им. А.В. Лыкова К.В. Доброго председательствует на встрече*

«Серп и молот» (1983), четыре Ордена Ленина (1955, 1962, 1966, 1983), Орден Октябрьской революции (1976), Орден Почета (1999), два ордена Трудового Красного Знамени (1951, 1954), орден Отечественной войны II степени (1985), орден Красной Звезды (1948), медаль «Партизану Отечественной войны» I степени (1944), медаль «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» (1945), около 20 других медалей за значимый вклад в ратные и трудовые дела.

Опубликованная в 2011 г. уже упомянутая и подаренная мне Аркадием Адамовичем книга содержит вступительное слово Руководителя Федерального агентства по атомной энергии России С.В. Кириенко с емкой оценкой деятельности А.А. Бриша.

«Не секрет, что одним из важнейших условий признания за Россией статуса великой державы является надежность и безопасность ее ядерного арсенала, эффективность ядерно-оружейного комплекса.

Современное состояние ядерного оружия и ЯОК Росатома было достигнуто во многом благодаря высочайшему уровню патриотизма, преданности своему делу работающих в нем людей. К таким исключительным — как по профессиональным, так и по человеческим качествам — людям, без сомнения, относится Аркадий Адамович Бриш. Его самоотверженное служение атомной отрасли России, продолжающиеся более 60 лет, чувство глубочайшей гражданской ответственности за свершенное вызывают у меня колоссальное уважение».

Беларусь не только место, где прошли 27 лет жизни, место, где родился, рос, учился, воевал Аркадий Адамович. Здесь однополчане, знакомые леса, дома и улицы, друзья юности и новые знакомые. Здесь был родительский дом. Здесь могила отца, проработавшего учителем в школах Минска 56 лет, умершего в 1961 г., могила матери, лишь на пять лет пережившей своего мужа, отца Аркадия Адамовича. Как-то поздней осенью мы вместе с Аркадием Адамовичем искали под запорошенной листвой могилы его родителей. Когда нашли и смели обильный слой кленовых и березовых листьев, Аркадий Адамович долго стоял с непокрытой головой у могил близких и дорогих ему людей. Чтобы не мешать, я отошел к другим моги-

лам. Потом, уже в машине Аркадий Адамович сказал: «Что-то связывает нас с тем миром. Побыл на могилах и как бы поговорил. Я физически чувствую необходимость приезжать сюда. Побываю на могилах, становится легко. Пройдет какое-то время, чувствую: надо опять ехать».

В марте нынешнего года Аркадий Адамович снова посетил г. Минск. В Институте тепло- и массообмена НАН Беларуси выступал с 2-часовой лекцией, отвечал на множество вопросов. Некоторым из пришедших на встречу достался подарок от Аркадия Адамовича: книга «Аркадий Адамович Бриш», изданная в серии «Творцы ядерного века» московским издательством «Атомная техника».

Аркадий Адамович Бриш имеет свыше 300 научных работ и 30 авторских свидетельств на изобретения. Ему есть, что рассказать, что вспомнить. К тому же, он прекрасный рассказчик. Железная логика, образность выражений, искренность эмоций, сдержанные, уверенные жесты, целеустремленный взгляд просто завораживают слушателей. Не верится, что ему вот-вот 95. Он привлекает личным обаянием, излучающей теплотой, тонким юмором, четкостью суждений, устремленностью в будущее. И сегодня он выглядит жизнерадостным, полным сил и какой-то внутренней энергии, невероятно деятельным, моложавым, статным.

Научные разработки А.А. Бриша были связаны с созданием специальной аппаратуры, которая позволила существенно усовершенствовать работу атомного заряда. В своей работе по созданию вакуумных приборов Аркадий Адамович Бриш



*Фото на память о встрече в ИТМО им. А.В. Лыкова*

показал себя как первоклассный экспериментатор и большой знаток электрических процессов в вакууме. После решения электровакуумных вопросов Аркадий Адамович принял участие в разработке комплекса специальной аппаратуры, обеспечивающей более полный распад радиоактивных веществ при ядерном взрыве, т. е. создание, так называемого «чистого заряда». Успешное развитие этой области в значительной мере связано с большой научно-исследовательской работой, которую выполнил Аркадий Адамович Бриш и руководимый им коллектив. Он являлся участником многочисленных воздушных и подземных ядерных испытаний на Семипалатинском и Новоземельском испытательных полигонах Министерства обороны. Его имя хорошо известно в ядерных национальных лабораториях США, Великобритании, Франции, Китая. Он пользуется огромным авторитетом среди зарубежных коллег.

Сегодня, являясь почетным научным руководителем Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н.Л. Духова, Аркадий Адамович активно работает по новым направлениям: обеспечение безопасного хранения ядерных зарядов, использованию ядерных в мирных целях (в частности для борьбы с астероидами), занимается редакторским делом. Он активно работает по упорядочению научного наследия и сохранению отечественного приоритета в этой ранее столь секретной области науки. Его издательскую деятельность красноречиво иллюстрируют уникальные книги «Военная мощь



*1992 г. Автор статьи с А.А. Бришем*

Советского Союза: от Сталина до Горбачева», «Человек столетия Юлий Борисович Харитон», в которых не только большие статьи Аркадия Адамовича, но и его научное редактирование, и организационная работа как члена редколлегии. Он продолжает работать в Межведомственной комиссии по радиационной стойкости ядерных боеприпасов.

Аркадий Адамович часто встречается со студентами, вступает в различных коллективах, отстаивая и защищая трудное, но высоконравственное и, можно сказать, счастливое прошлое нашей большой страны. Как он говорит «воссоздать правильную картину нашего недалекого прошлого у молодежи, защитить от клеветников, которые взяли готовые западные карикатуры на советское время и выдают их за действительность».

Все дальше и дальше время отделяет нас от страны носившей имя Союз Советских Социалистических Республик. Для многих представителей старшего поколения это имя неразрывно связано с гордостью, могуществом и процветанием родного Отечества — СССР, с гордостью за Великую победу над фашизмом, за первый спутник, за Гагарина, за многие научные открытия мирового значения и масштаба, которые были сделаны в СССР. Ядерное оружие, созданию которого посвятил многие годы наш земляк Аркадий Адамович Бриш, хотя и было повтором,

вынужденной мерой, навязанной США гонкой вооружений, позволило нашей стране отрезать ретивых поборников управлять другими народами и распоряжаться их судьбой.

Сегодня общепризнано, что наличие мощного ядерного оружия, в первую очередь у Великих держав, явилось сдерживающим фактором, обеспечившим в течение десятилетий сохранение жизни на Земле, хотя удержать от локальных кровепролитных войн не удалось. Ядерное оружие многие годы служило щитом для народов мира, в самый опасный период «холодной войны», сдержало «горячие» головы от амбиций, алчности и безрассудных приказов.

Думается, что в этом и состоит великая роль создания ядерного оружия, что оправдывает причастных к его созданию людей в глазах тех, кто еще сомневается в целесообразности и человечности мотивов его создания. А кто не сомневаются, те уверены: не будь в СССР ядерного оружия, мир сегодня разговаривал бы о «свободе» не только на другом языке, но и в другом смысле.

**С днем рождения Аркадий Адамович!**

**Здоровья Вам и творческих успехов на многие годы!!!**

*Эдуард Михайлович Шпилевский,  
ведущий научный сотрудник  
Института тепло- и массообмена  
им. А.В. Лыкова НАН Беларуси*

## ПОЛВЕКА КОСМИЧЕСКОЙ СЕНСАЦИИ

*Клеванец Д.В.*

В этом году исполняется пятьдесят лет со времени первого группового многосуточного полета советских космонавтов Андриана Николаева и Павла Поповича. Тогда, много лет назад, это была огромная сенсация во всем мире.

Так что же это было?

Эксперимент начался 11 августа в 11.30 по Московскому времени стартом ракеты с кораблем «Восток-3», который пилотировал летчик-космонавт майор Андриан Григорьевич Николаев. На следующий день в 11.08 оторвалась от старта ракета с космонавтом подполковником Поповичем Павлом Романовичем. Уже в этом была сенсация:

в те годы ракеты готовились к полету от полутора до двух суток. Корабли встретились на орбите (минимальное расстояние между ними было около пяти километров). Это вторая сенсация: и в СССР, и в США космические аппараты еще не имели достаточной управляемости.

Вот как описывает встречу Павел Попович:

«В этот момент, когда “Восток-3” выходил из тени, и его осветило далекое Солнце, я первый увидел корабль друга загоревшейся звездочкой. Тут же передал Андриану: “Я вижу”. Для подтверждения передал свои координаты. Николаев убедился и вскоре сам сообщил, что видит меня».



*Николаев и Попович на Красной площади*

Позднее космонавт рассказывал об этом подробнее.

«Андрей начал:

— Беркут, Беркут, я — Сокол, как меня слышите?

Я ему кричу:

— Привет, Андрей, Я не только тебя слышу, я тебя вижу! Ты справа от меня и летишь, как маленькая луна!

— Ты чего, Беркут, нас же ругать будут (нужно было пользоваться позывными)!»

В-третьих, космонавты занимались не только пилотированием, но и впервые проводили научные эксперименты, фотографировали как небо, так и землю. Во всех предыдущих полетах у смельчаков-пилотов еще не было столько времени, чтобы оторваться от управления аппаратом. Андриан и Павел смогли покинуть кресла — ложементы, передвигались по кабинам и даже делали зарядку. Это тоже было впервые в мире.

В-четвертых, невероятной по тем временам была длительность полета: ведь Титов летал всего сутки, а американцы только собирались произвести шестивитковый (около восьми часов) запуск. Николаев же провел на орбите четверо суток, а Попович — около трех.

15 августа полет был прекращен, корабли синхронно сошли с орбиты и без происшествий приземлились в Семипалатинской степи, всего в 200 км друг от друга. И это была пятая сенсация.

Весь мир удивлялся: что же за люди эти русские? Все интересовались подробностями биографий космонавтов. И выяснилось, что оба офицера — совсем не суперзвезды, и не супермены. Оба из многодетных и бедных семей. Николаев из чувашского села Шершелы, родился в 1929 г., в 14 лет потерял отца, после школы окончил лесной техникум, работал лесорубом. Как и всех молодых людей в СССР, его призвали в армию, направили в школу воздушных стрелков (воздушный стрелок на бомбардировщике в Советской Армии — это сержант срочной службы, имеющий законченное среднее образование, хорошие оценки в аттестате или дипломе и подходящий с точки зрения медицины). Уже на месте службы командир полка заметил настойчивого и способного парня и порекомендовал поступать в летное училище. В училище тоже все получалось неплохо, Андриан закончил его одним из лучших. После училища офицер Николаев немало полетал на истребителях, стал классным летчиком и получил орден Красной Звезды за посадку реактивного самолета с отказавшим двигателем. Когда же ему предложили поучаствовать в испытаниях новой техники — без колебаний согласился.

От своих ровесников-пацанов военного времени Андриан Николаев отличался разве что серьезностью и тягой к учебе. Да вот что еще рассказала журналистам его мама, Анна Алексеевна: когда ее сын был еще совсем маленький, «...несколько наших ребят потерялись в густых зарослях орешника. Всех их вывел из леса мой Андриан».

Павел Попович родился в 1930 г., в маленьком городишке Узин в Киевской области, неподалеку от Белой Церкви на Украине. Отец его — кочегар на сахарном заводе, мама — домохозяйка. С детства Павлик был веселый и добрый, любил кататься на лыжах, любил петь, как и все в семье, в школе любил математику. И никогда не плакал. Мама, Феодосья Касьяновна, вспоминала: «И в люльке не плакал. Плакал тильки два раза. Плакал, когда батько учив ремнем за кавуны з колгоспных баштанив. Плакал, когда сестру в сорок третьим погнали в Неметчину».

После шестого класса Павлик пошел в ремесленное училище — потому, что там кормили. Выучился на столяра, пошел работать, среднее образование получил уже в вечерней школе.

А дальше — как и у Гагарина: металлургический техникум, аэроклуб, армия и летное училище. А еще у Поповича был хороший голос-тенор, он был солистом хора, и ему даже предлагали учиться в консерватории. Да вот только тяга к небу перевесила.

На предложение полетать на новой технике Попович ответил: «Хохла салом не испугаешь». Павел оказался первым курсантом, зачисленным в отряд космонавтов.

Вот еще рассказ его матери:

«Прислав лыста: будэ кино про космонавтив — обязательно подывитесь. Пишлы до кино. И батька, и Колька, и я, и сестры. Дывимся. Все летают, все тренируются. А потом идуть з работы з Гагариным весели, як бригада в колгоспи. Я как закричу: Ой, Павлик!

А батько мне толк — молчи!»...

Как это было воспринято в мире.

Минск. «Рабочее вам спасибо, Андриан Григорьевич, что вы порадовали советский народ, все человечество новым подвигом!... Летайте в космосе! Мы, рабочие, своим трудом будем ковать вам еще более крепкие крылья!» А. Виташкевич, расточник Минского завода автоматических линий.

«Все эти дни, когда герои-космонавты летали вокруг Земли, мы, вставая по утрам, прежде всего, обращались к радиоприемнику: а где они? Мы думали о них, ставших для нас самыми дорогими и близкими и, узнав, что герои еще продолжают полет, удивлялись их силе и воле, восхищались и ими, и машинами, на которых они совершали

свой героический путь, и людьми, создавшими такие чудо-корабли». Петрусь Бровка.

Бухарест. «Отважные пионеры нашей эпохи Андриан Григорьевич и Павел Романович! Я буду несказанно рад, если смогу когда-нибудь встретиться с вами и, как братьев, обнять вас!..» Север Ионеску, строитель.

Берлин. Один из самых молодых жителей столицы ГДР, родившийся три дня назад, назван в честь советского космонавта Андрианом. Счастливая мать сказала: «Мой сын должен видеть в советском космонавте для себя образец».

Лондон. «От этих русских никуда не денешься. Нам снова приходится говорить: чудесно, фантастично, феноменально — настолько впечатляюще их мастерство... Они совершили такие подвиги, которые американцы еще и не пробовали совершать». Газета «Дейли мейл».

Париж. «Четвертый день вся Франция живет по космическим часам... Люди на улицах останавливают автомобили, чтобы по приемникам слушать новости с орбиты. Газета «Паризьен либере» пишет: «Николаев и Попович, подобно любому из нас, спят, едят, работают, разговаривают по телефону, и прогуливаются и развлекаются (Попович еще и песни пел перед сном!)»

Рим. Все газеты увеличили тиражи. Люди поздравляют друг друга на улицах, будто это они совершили этот подвиг. Вечером в трагтории перед телевизором всплакнула пожилая итальянка: «Он так похож на моего Джузеппе, этот русский Андриано».

Послание Папы Иоанна XXIII от 12 августа: «Мы хотим упомянуть молодого космонавта в



Мама Николаева, Анна Алексеевна



Павел Попович с родителями

наших молитвах. Эти космические подвиги, как они будут названы в анналах научных знаний о космосе, могут стать выражением истинного и мирного прогресса на пути к закладке прочных основ человеческого братства».

Западный Берлин. Седой, как лунь, сгорбленный старик Пауль Бейлих перебирает узловатыми пальцами пожелтевшие фотографии: «Вот с этой горы мы с Отто Лилиенталем прыгали вниз. Сначала пролетали 30–50 м, потом доходило и до трехсот... Не сочтите меня нескромным, но в строителях ваших космических кораблей я вижу, так сказать, своих товарищей по профессии...»

Это похоже на сказку, но вы, русские, со сказками в ладу!»

Копенгаген. «Большое впечатление на нас, простых людей, произвел интерес, проявленный космонавтом Николаевым к футболу (перед этим Андриан спросил у Центра управления, выиграл ли очередной матч его любимый «Шахтер»). Быть в таких условиях и интересоваться обычными земными делами — это трудно себе представить». Р. Вилландсен, жена каменщика.

Вашингтон. Телевидение США каждые полчаса транслирует новости с орбиты. Американцы называют космонавтов по-своему. Николаев у них «Нико», Попович — «Поп». Когда объявили, что «Нико» любит пиво и еще не женат, тут же появилась новая реклама. На магазинах женского белья: «Девушки, спешите к нам, Нико скоро будет приземляться!» На пивных лавках: «Нико любит наше пиво!» Между прочим, пива в космосе не полагалось, но сушеная вобла питания космонавтов была.

Дочка Поповича, шестилетняя Наташа, в один день заочно стала победительницей конкурсов красоты, «Мисс Калифорния» и «Мисс Айова».

После полета были многочисленные визиты в разные страны мира, оба космонавта окончили в 1968 г. Военно-Воздушную академию имени Жуковского, Николаев в 1963 г. женился на Валентине Терешковой, первой женщине, слетавшей в космос.



*Москва встречает космонавтов*

Космонавт Николаев отправился в свой второй полет 1 июня 1970 г. в экипаже с Виталием Севастьяновым на корабле Союз-9. В космосе они пробыли 18 суток, совершив очередной рекорд. На орбите занимались медико-биологическими исследованиями, испытаниями систем корабля, опытами по астрономии и изучением поверхности Земли.

После второго полета, уже будучи генерал-майором, Николаев защитил диссертацию, стал кандидатом технических наук.

Павел Попович совершил второй полет вместе с космонавтом Юрием Артюхиным на корабле Союз-14 и станции Салют-3 в 1974 г. Полет продолжался около 16 суток. Отрабатывались эксперименты в основном в интересах Министерства обороны.

После удачного приземления Попович также стал генерал-майором, защитил диссертацию. Он был автором нескольких книг, принят в Союз писателей СССР и России.

Андриан Николаев умер в Чебоксарах в 2004 г., во время проведения спортивных соревнований сельских команд Чувашии, где он был судьей.

Павел Попович умер летом 2009 г. на отдыхе в Крыму.



М.Танк (1978)

## «АЖ СЭРЦА СЦІСКАЕЦЦА...»

*Мікола МІКУЛІЧ, загадчык аддзела ўзаема сувязей літаратур Інстытута мовы і літаратуры імя Я. Коласа і Я. Купалы НАН Беларусі*

*Сёлета будзе адзначацца 100 гадоў з дня нараджэння выдатнага беларускага паэта, дзяржаўнага і грамадскага дзеяча, акадэміка Максіма Танка (Яўгена Іванавіча Скурко), які нарадзіўся 17 верасня 1912 года ў вёсцы Пількаўшчына былога Вілейскага павета Віленскай губерні (цяпер Мядзельскі раён).*

М.Танк пражыў вялікае, насычанае яркімі падзеямі і мастацкімі адкрыццямі жыццё. Ён пакінуў пасля сябе дзесяткі арыгінальных паэтычных кніг, кожная з якіх з’яўляецца этапнай у гісторыі беларускай літаратуры ХХ ст. Паэту належаць творы непрамінальнай красы і сілы эмацыянальнага ўздзеяння — вершы «Спатканне», «Песня кулікоў», «Родная мова», «Рукі маці», «Ave Maria», «Перапіска з зямлёй», «Перакройванне шыняля», «Мышцё бабкі Улліаны», «Мне пагаварыць бы», «Калі горыччу перапоўнена сэрца...», паэмы «Сказ пра Вяля», «Люцыян Таполя» і іншыя, што зрабілі б гонар любой нацыянальнай культуры свету. У перакладах лепшых спецыялістаў яго кнігі выдаваліся ў Расіі, на Украіне, у Літве, Латвіі, Польшчы, Балгарыі, Чэхаславакіі, Югаславіі, Кітаі, іншых краінах. Па сіле і размаху прыроднага дару, ідэйна-мастацкага мыслення, сцвярджэнні спаконвечных асноў народнага жыцця, па адмысловай якасці і самабытнасці рэалізацыі ў слове высокай эстэтыкі чалавечага духу Максім Танк пераўзыходзіць многіх вядомых і аўтарытэтных еўрапейскіх майстроў прыгожага пісьменства, лаўрэатаў знакамітай Нобелеўскай прэміі.

Паэт выходзіў у дружнай і працавітай сялянскай сям’і, аснову якой складалі дзед Хведар Маркавіч Скурко — валявая, каларытная асоба, вечныя працаўнікі-рупліўцы — бацька Іван Хведаравіч і маці Домна Іванаўна. У ёй панавалі шчырасць і цеплыня, узаема разуменне і павага,

характэрнае душэўна-чалавечае супольніцтва. Кожны тут клапаціўся пра кожнага, вымяраў свае імкненні і дзеянні сістэмай агульных каардынат і крытэрыяў, сямейных каштоўнасцей і прыярытэтаў.

Гэта і шмат што яшчэ добра пацвярджае дужа красамоўны і характарыстычны дакумент, які каторы ўжо год захоўваецца ў маім хатнім архіве, — ліст Язэпа Семяжона да Максіма Танка і яго жонкі Любові Андрэеўны. Я. Семяжон быў выдатным беларускім перакладчыкам, лаўрэатам Дзяржаўнай прэміі БССР, Заслужаным работнікам культуры Беларусі, мужам малодшай сястры Максіма Танка Людмілы Іванаўны. 18 лютага 1968 года Я. Семяжон тужліва пісаў з Мінска ў Маскву пра дрэнны стан здароўя яго бацькі, заклікаў паспець прыехаць у родную Пількаўшчыну.

У гэтыя дні М. Танк, першы сакратар праўлення Саюза пісьменнікаў БССР, знаходзіўся ў Маскве ў камандзіроўцы, рыхтаваўся да ўдзелу ў рабоце сакратарыята праўлення Саюза пісьменнікаў СССР. 23 лютага паэт збіраўся выехаць у Мінск, а адтуль — у Пількаўшчыну, аднак раніцай яго ажалобіла цяжкае паведамленне аб смерці бацькі. Пра гэта ў яго дзённікавых нататках знаходзім поўны адчаю і гаркаты запіс: «23.02.1968 г. Атрымаў тэлеграму ад Мілкі. Памёр папа ўчора вечарам 22-га. Я многіх страціў, але гэта страта — страшная і балючая. Адышоў чалавек, якому я абавязан усім і нічым яму не змог дапамагчы, адудзячыць, кроме пустой славы, што

ён — бацька вядомага паэта. Ехаць у Мінск не хацеў — не хацеў адрывацца ад зямлі і быць хоць крыху залежным ад дзяцей. Які гэта быў сціплы і вялікі чалавек! Вялікі і святы».

Дрогкім марозным ранкам 24 лютага 1968 г., у дзень пахавання бацькі, М.Танк быў ужо ў Мінску і практычна адразу разам з некаторымі роднымі і блізкімі, якія яго чакалі, выехаў у Пількаўшчыну. Сэрца паэта разрывалася ад віны і болю па цяжкой, незваротнай страце. «Дома засталі поўную хату людзей, — запіша ён пазней у дзённіку. — Тата ляжаў прыбраны ў труне. Паклалі яму ў галаве прывезеныя кветкі і шапку. Хвароба так яго адчарніла, што і пазнаць было цяжка. Страшна выглядала і мама, якая каля двух месяцаў пакутвала з татам. Шкада, што я не змог з ім пабачыцца перад смерцю. Казалі, ён, атрымаўшы маё пісьмо, заплакаў. Адчуваў тата яшчэ восенню, што гэту зіму ён не перажыве. Відаць, заўсёды буду вініць сябе, што праз праклятыя свае камандзіроўкі не змог яго наведзаць».

Застаўшыся на хутары адна, хворая і нямоглая Домна Іванаўна не магла абыйсціся без клопату і ўвагі сваіх родных і блізкіх і найперш — сыноў



Іван Хведаравіч і Домна Іванаўна

Яўгена і Хведара і дачкі Людмілы. Вядома, яны ўсяляк імкнуліся дапамагчы ёй. Што датычыць старэйшага сына, Максіма Танка, дык ён фактычна пры любой магчымасці і нагодзе вырываўся ў Пількаўшчыну, каб наведзаць родныя мясціны, прывезці маці ўсё неабходнае, дапамагчы па гаспадарцы, проста пабыць з ёю — падтрымаць душэўнай гутаркай, развезць цяжкія думы. «Ездзіў у чытаем да болю шчымлівы дзённікавы запіс паэта ад 5 жніўня 1969 г. — Пахадзіў па лясных сваіх нетрах, зайшоў у пуню дзе яшчэ ляжаць снапы і пласты сена, яшчэ сабраныя бацькам. Стаяць у кутку яго кош, граблі, вілы, сталярскі струмант, а самога гаспадара няма. І мама такая хворая, што аж страх глядзець. Абрадалася, што прыехаў. На адыходзе, як заўсёды, перажагнала мяне. З хаты ўжо не выходзіла. Слабая».

Гэты і многія іншыя дзённікавыя запісы М. Танка ўспрымаюцца як абразок высокіх духоўна-маральных клопатаў і турбот вялікага грамадзяніна і патрыёта роднай зямлі, прамяніста-светлай асобы, носьбіта выдатных душэўна-чалавечых якасцей, клапатлівага сына сваіх бацькоў — простых беларускіх сялян.

У 1968 г. М. Танку было прысвоена ганаровае званне народнага паэта БССР, праз год яго, ужо дэпутата і старшыню Вярхоўнага Савета БССР, абяруць дэпутатам Вярхоўнага Савета СССР, а яшчэ праз два — старшынёй праўлення Саюза пісьменнікаў Беларусі. У 1972 г. паэт стане акадэмікам Акадэміі навук БССР, а ў 1974 г. — Героем Сацыялістычнай Працы. У 1970-я гг. пабачаць свет ці не лепшыя яго кнігі — «Хай будзе святло» (1972), «Дарога, закалыханая жытам» (1976), «Прайсці праз вернасць» (1979), якія атрымаюць высокую ацэнку не толькі грамадска-культурнай супольнасці Беларусі і Савецкага Саюза, але і еўрапейскай крытыкі — польскай, чэшскай, англійскай і інш. За зборнік вершаў у перакладзе на рускую мову «Нарачанскія сосны» (1977) яму будзе прысуджана Ленінская прэмія — найвышэйшая адзнака працы і яе вынікаў у былым СССР. Але пра ўсё гэта, на жаль, ужо не будзе ведаць яго маці Домна Іванаўна, якой не стане 30 чэрвеня 1971 г.

Як і ў выпадку з бацькам, па збегу акалічнасных абставін у дзень смерці маці Максім Танк знаходзіўся ў Маскве — на гэты раз прымаў удзел у рабоце пятага з'езда Саюза пісьменнікаў СССР. Атрымаўшы тэлеграму з цяжкай весткай, паэт адразу вылецеў у Мінск і неўзабаве быў у Пількаўшчыне. Пра развітанне з самым блізкім і дарагім на зямлі чалавекам ён запіша ў сваім



дзенніку 13 ліпеня: «Мама ляжала ў труне, збітай з нейкіх таўшчэзных дошчак. Худзенькая, як лучынка. Здаецца, упершыню ў сваім жыцці так спакойна адпачывала. Перад смерцю скардзілася: «Чым я так саграшыла, што і зямелька не хоча мяне забіраць...»

Перад маім ад'ездам у Маскву, калі Федзя спытаў у яе, ці пазнае мяне, сказала: «І нашто я цябе, сыноч, вучыла? Быў бы ты заўжды са мной...» Часамі ёй здавалася, што яна не дома, а ў Мінску. І тады прасіла, каб яе завезлі ў Пількаўшчыну, дзе яна магла б надыхацца свежым паветрам. Калі падавалі ёй вадку, не забывалася падзякаваць. Ёй, відаць, здавалася ўсё жыццё, што толькі яна павінна ўсіх даглядаць і абслугоўваць. Да апошняй хвіліны свайго жыцця непакоілася, што не можа нас пачаставаць...»

І далей: «Не стала на зямлі нашай Маці, з якой я нікога не магу параўнаць па сціпласці, працавітасці, любові да дзяцей і святасці. Ніхто, як яна, не ўмеў радавацца, калі мы яе наведвалі. Бласлаўляла, калі прыезджалі, хрысціла, калі

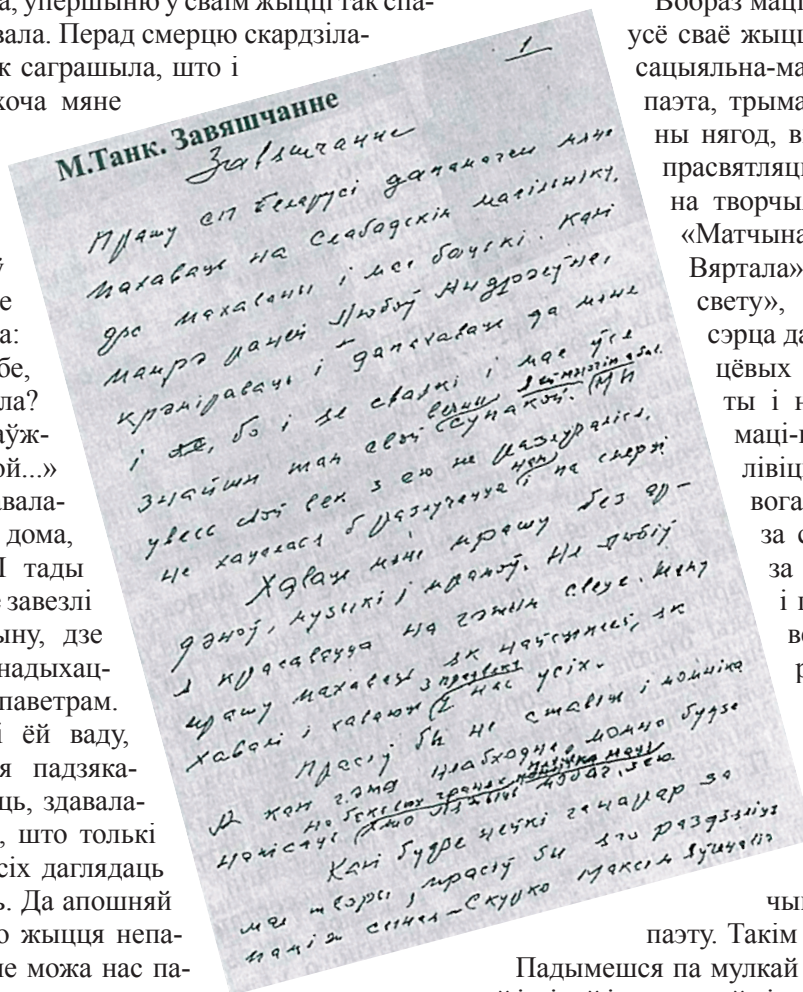
клася спаць, калі пакідалі яе. Цяпер днём і ноччу стаіць перад маімі вачамі».

Вобраз маці М. Танк пранясе праз усё сваё жыццё. Ён будзе сілкаваць сацыяльна-маральную энергетыку паэта, трымаць яго ў цяжкія часіны нягод, выпрабаванняў і страт, прасвятляць духоўна, натхняць на творчыя пошукі і адкрыцці. «Матчына малітва, якая не раз Вяртала» мастака «нават з-за свету», будзе саграваць яго сэрца да самых апошніх жыццёвых змрокаў. «Самы святы і нерукатворны» вобраз маці-працаўніцы, маці-руплівіцы з яе вечнымі трывогамі і перажываннямі за сваіх дзяцей і блізкіх, за роднае котлішча ярка і пераканаўча паўстае ў вершах М. Танка «У парэпанай раме дзвярэй», «Помню: маці заўсёды клалася спаць...», «На прызбе» і інш.

«Непрытульны Слабадскі пагост» даў вечны супачынак і маці, і самому паэту. Такім было яго завяшчанне.

Падымешся па мулкай сцежцы, усланай апаляй ігліцай і падсохлай лістотай, на высокі ўтравелы грудок, убачыш у нагах маці велічную магілу яе знакамітага сына — і сэрца міжволі сціснецца ў невыказнай самоце і вуццішнасці.

Материал взят из газеты «Веды» № 12(2376)



# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА В БОРТОВОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Гриднев Ю.В., Гриднев С.Ю., Пальцев В.А.

Мониторинг земной поверхности и наземных объектов с борта беспилотного летательного аппарата (БЛА) используется при решении широкого круга задач: топографического обеспечения, охраны границы, предупреждения чрезвычайных ситуаций, охраны природы и окружающей среды и т. п. Для решения этих задач в большинстве случаев на борту БЛА устанавливаются инфракрасные и телевизионные камеры, а также когерентно-импульсные радиолокационные станции (РЛС) с синтезированной апертурой антенны (РСА), которые позволяют получать радиолокационное изображение объектов на фоне растительной и водной поверхности, независимо от времени суток в любых метеорологических условиях и на больших дальностях наблюдения.

## 1. Синтез оптимальной структуры системы ПВ обработки сигнала цели на радиолокационном фоне в РСА

Принцип действия бортовых РЛС с синтезированной апертурой антенны основан на использовании перемещения одной антенны с широкой диаграммой направленности по траектории полета для последовательного формирования антенной решетки больших размеров. При облучении земной поверхности ось диаграммы направленности антенны (ДНА) РСА расположена под некоторым углом к горизонтальной плоскости и перпендикулярна прямолинейной траектории полета БЛА (рис. 1). Будем считать, что при боковом обзоре РСА на расстоянии  $r_0$  от БЛА внутри диаграммы направленности антенны с шириной угла  $\Delta\theta$  облучается подвижная цель (Ц) на фоне земной (водной) поверхности.

Отраженный сигнал в сантиметровом диапазоне волн принимается и обрабатывается в РСА в пределах ее ДНА на максимальном отрезке пути полета БЛА  $L_M = 2r_0 \operatorname{tg} \frac{\Delta\theta}{2}$ , где  $r_0$  — расстояние между БЛА и целью. Реальная длина интервала синтеза удовлетворяет двум условиям:  $L < L_M$ ;  $L \ll r_0$ . Ширина ДНА такой РЛС опреде-

ляется углом  $\Delta\theta = \frac{\lambda}{d_a}$ , который связан с угловым разрешением радиолокатора и зависит от длины волны  $\lambda$  и размеров реальной антенны  $d_a$ . Для синтезированной диаграммы антенны РСА угловое разрешение (разрешение по азимуту)  $\Delta\theta_{\text{РСА}} = \frac{\lambda}{2L}$  намного больше углового разрешения РЛС за

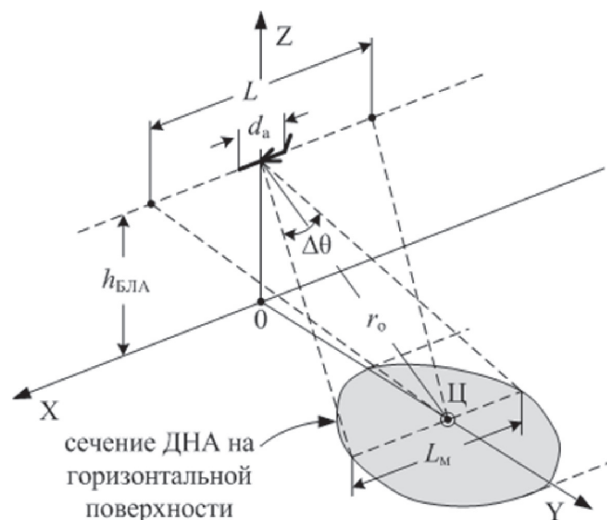


Рис. 1

счет большей апертуры  $2L \gg d_a$ , т. е.  $\Delta\theta_{\text{РСА}} \ll \Delta\theta$ . Высокая разрешающая способность по дальности обеспечивается за счет малой длительности импульсных сигналов.

Рассмотрим систему пространственно-временной (ПВ) обработки когерентно-импульсного флукутирующего сигнала цели на фоне коррелированных помех (местных предметов) в РСА, которая включает последовательно соединенные синтезированную антенну РСА в виде эквидистантной линейной  $M$ -элементной адаптивной антенной решетки (ААР) с шагом  $d$  и адаптивное приемное устройство с последовательно соединенным автокомпенсатором (АК) пассивных помех и автокогерентным накопителем (АКН) полезного сигнала (рис. 2).

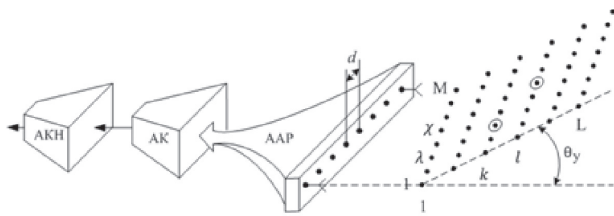


Рис. 2. Пространственно-временная система обработки сигнала

Эффективное обнаружение движущихся целей на фоне местных предметов в РСА основано на использовании как временных (частотных), так и пространственных (угловых) различий сигналов, отраженных от движущихся объектов и местности. В математической модели отраженного сигнала необходимо учитывать то, что радиосигналы представляют собой электромагнитные волны, которые зависят от времени и пространственных координат точек поля, т. е. является векторными полями. Если при приеме волн не учитывать их поляризацию, то можно ограничиться описанием наблюдаемого процесса в виде скалярной функции векторного аргумента — скалярного поля. Процесс наблюдения сигнала и помеха представляют собой пространственно-временные случайные процессы, которые можно описать комплексными функциями. Корректное построение теории оптимальной обработки случайных полей требует привлечение сложного математического аппарата. Однако эту задачу можно упростить, если в модели отраженного сигнала будем учитывать только междупериодную и междуканальную корреляцию комплексных огибающих, т. е. представлять ПВ сигнал, амплитуда и фаза которого зависит от дискретного времени (импульсы

с индексами  $kl$ ) и направления прихода сигнала (импульсы с индексами  $\chi\lambda$ ). Таким образом, на входы  $M$ -элементной ААР с междуканальным расстоянием  $d$  поступает пакет отраженных  $L$ -радиоимпульсов с периодом повторения  $T_{\text{п}}$ , каждый из которых можно записать в виде

$$\dot{y}_{k\lambda} = y_{k\lambda} e^{j\varphi_{k\lambda}} = x_{k\lambda} e^{j\vartheta_{k\lambda}} + f_{k\lambda} e^{j\psi_{k\lambda}}, \quad (1)$$

где  $x_{k\lambda}, f_{k\lambda}$  — случайные амплитуды полезного сигнала и фона ( $k$  — череспериодный индекс,  $\lambda$  — междуканальный индекс);  $\vartheta_{k\lambda}, \psi_{k\lambda}$  — регулярные фазы полезного сигнала и фона.

В выражении (1) сигнал фона представляет собой аддитивную смесь сигнала пассивной помехи и белого шума приемника:

$$\dot{f}_{k\lambda} = \dot{N}_{k\lambda} + \dot{h}_{k\lambda}, \quad (2)$$

где  $\dot{N}_{k\lambda} = N_{k\lambda} e^{j\psi_{k\lambda}}$  — сигнал помехи от местных предметов;  $\dot{h}_{k\lambda}$  — комплексная огибающая шума.

Междупериодный набег фазы отраженного сигнала цели и помехи ( $\Delta\vartheta = \Omega_{\text{дс}} T_{\text{п}}$ ,  $\Delta\psi_{\text{д}} = \Omega_{\text{дл}} T_{\text{п}}$ ) зависит от доплеровской частоты сигнала, которая для неподвижной цели определяется ее угловым положением относительно вектора скорости полета БЛА, а для движущейся цели — как ее угловым положением, так и радиальной скоростью полета БЛА.

Междуканальный набег фазы отраженного сигнала цели и помехи при угловом движении цели и помехи (перпендикулярно направлению на РСА) определяется угловой скоростью  $\Delta\dot{\theta} = \frac{v_y}{D}$ , которая после интегрирования дает угловое приращение  $\Delta\theta = \int \frac{v_y(t)}{D} dt$  и изменение угловой час-

тоты  $\Omega_y = \omega_0 \cos \theta_y \Delta\theta = \omega_0 \cos \theta_y \int \frac{v}{D} dt \frac{\text{Opposite}}{\text{Hypotenuse}}$ , что ведет к появлению междуканального набега фазы  $\Delta\vartheta_y = \Omega_y T_y = \left[ \omega_0 \cos \theta_y \int \frac{v}{D} dt \right] T_y$ , где  $T_y = \frac{d}{c}$  — междуканальный период обработки сигнала.

При отдельной обработке ПВ когерентно-импульсного полезного сигнала дискретные значения междупериодной корреляционной функции определяются через индексы  $kl$  согласно выражению  $R_{kl}^x = \overline{x_k x_l^*} = 2\sigma_x^2 r^{|k-l|} e^{j(k-l)\Delta\vartheta_{\text{д}}}$  и формируют корреляционную матрицу сигнала по времени  $\|R_{kl}^x\|$ , а дискретные значения междуканальной корреляционной функции определяются через индексы  $\chi\lambda$  согласно выражению  $R_{\chi\lambda}^x = \overline{x_{\chi} x_{\lambda}^*} = 2\sigma_x^2 r^{|\chi-\lambda|} e^{j|\chi-\lambda|\Delta\vartheta_y}$  и формируют корреляционную матрицу сигнала по углу  $\|R_{\chi\lambda}^x\|$  [1].

Аналогично дискретные значения между периодной корреляционной функции фона при его раздельной ПВ обработке определяются через индексы  $kl$  согласно выражению  $R_{kl}^f = \overline{f_k f_l^*} = 2\sigma_f^2 r^{|k-l|} e^{j|k-l|\Delta\psi}$  и формируют соответствующую матрицу  $\|R_{kl}^f\|$ , а дискретные значения междуканальной корреляционной функции фона определяются через индексы  $\chi\lambda$ , согласно выражению  $R_{\chi\lambda}^f = \overline{f_\chi f_\lambda^*} = 2\sigma_f^2 r^{|k-\lambda|} e^{j|k-\lambda|\Delta\psi}$ , и формируют соответствующую матрицу  $\|R_{\chi\lambda}^f\|$ .

Согласно [10], при обнаружении движущейся цели на фоне земной поверхности в РСА нельзя отдельно выполнять пространственную и временную обработку сигнала, поскольку каждой частоте принимаемого сигнала должна соответствовать определенная пространственная обработка, т. е. необходимо выполнить пространственно — временное сжатие сигнала. Поэтому единая ПВ обработка сигнала цели на радиолокационном фоне требует единой записи корреляционной функции сигнала по времени, по углу и по углу-времени в виде статистического усреднения флуктуирующих комплексных огибающих сигнала по четырем индексам  $kl\chi\lambda$  [2]:

$$R_{kl\chi\lambda}^x = \overline{x_{k\chi} x_{l\lambda}^*} = \overline{x_k x_l^* x_\chi x_\lambda^*} = \overline{x_k x_l^*} \cdot \overline{x_\chi x_\lambda^*} + \left(\overline{x_k x_\lambda^*}\right)^2 = R_{kl}^x R_{\chi\lambda}^x + \left(R_{k\lambda}^x\right)^2, \quad (3)$$

где  $R_{k\lambda}^x = \overline{x_k x_\lambda^*} = 2\sigma_x^2 r^{|k-\lambda|} e^{j|k-\lambda|\Delta\theta}$  — дискретные значения между периодной и междуканальной корреляционной функции.

Соответственно дискретные значения между периодной и междуканальной корреляционной функции сигнала цели согласно выражению (3) определяют единую ПВ матрицу сигнала цели:

$$\|R_{kl\chi\lambda}^x\| = \|R_{kl}^x\| \cdot \|R_{\chi\lambda}^x\| + \left(\|R_{k\lambda}^x\|\right)^2, \quad (4)$$

где  $\|R_{kl}^x\|$  — между периодная корреляционная матрица дискретных значений комплексной огибающей отраженного сигнала цели;  $\|R_{\chi\lambda}^x\|$  — междуканальная корреляционная матрица дискретных значений комплексной огибающей отраженного сигнала цели;  $\|R_{k\lambda}^x\|$  — ПВ (между периодная и междуканальная) корреляционная матрица дискретных значений комплексной огибающей отраженного сигнала цели.

Аналогично можно получить дискретные значения ПВ (между периодной и междуканальной) корреляционной функции сигнала фона (помехи) и ее единую ПВ матрицу:

$$\|R_{kl\chi\lambda}^f\| = \|R_{kl}^f\| \cdot \|R_{\chi\lambda}^f\| + \left(\|R_{k\lambda}^f\|\right)^2, \quad (5)$$

где  $\|R_{kl}^f\|$  — между периодная корреляционная матрица дискретных значений комплексной огибающей сигнала фона;  $\|R_{\chi\lambda}^f\|$  — междуканальная корреляционная матрица дискретных значений комплексной огибающей сигнала фона;  $\|R_{k\lambda}^f\|$  — ПВ (между периодная и междуканальная) корреляционная матрица дискретных значений комплексной огибающей сигнала фона.

Выражения (4)–(5) показывают, что единая ПВ корреляционная матрица сигнала цели и фона определяется произведением известных корреляционных матриц по времени (между периодной) и углу (междуканальной), а также новым членом квадрата ПВ корреляционной матрицы по времени и углу с учетом единой между периодной и междуканальной связи.

Задача обнаружения случайного сигнала цели при заданной корреляционной функцией на фоне другого случайного процесса с заданной корреляционной функцией фона при переходе к дискретным значениям сводится к задаче обнаружения одной случайной последовательности на фоне другой случайной последовательности. При этом будем считать, что полезный сигнал цели и сигнал фона являются нормальными стационарными процессами (комплексными сигналами) со средними значениями равными нулю и заданными корреляционными функциями  $R_{kl\chi\lambda}^x = R_{kl}^x \cdot R_{\chi\lambda}^x + \left(R_{k\lambda}^x\right)^2$

для сигнала цели и  $R_{kl\chi\lambda}^f = R_{kl}^f \cdot R_{\chi\lambda}^f + \left(R_{k\lambda}^f\right)^2$  для сигнала фона (помехи).

Наиболее полной статистической характеристикой комплексной огибающей отраженного импульсного сигнала и фона является их многомерная плотность вероятности, которая при отсутствии сигнала цели определяются фоном ( $y_{k\lambda} = f_{k\lambda}$ ):

$$w_0(y) = \frac{1}{(2\pi)^{LM}} \frac{1}{\text{Det}\|R_{kl\chi\lambda}^f\|} \exp\left(-\sum_{k,l=1}^L \sum_{\chi,\lambda=1}^M Q_{kl\chi\lambda}^f y_k y_l^* y_\chi y_\lambda^*\right), \quad (6)$$

а при условии наличия сигнала цели и фона ( $y_{k\lambda} = x_{k\lambda} + f_{k\lambda}$ ) определяется выражением

$$w_1(y) = \frac{1}{(2\pi)^{LM}} \frac{1}{\text{Det}\|R_{kl\chi\lambda}^{x+f}\|} \exp\left(-\sum_{k,l=1}^L \sum_{\chi,\lambda=1}^M Q_{kl\chi\lambda}^{x+f} y_k y_l^* y_\chi y_\lambda^*\right), \quad (7)$$

где  $Q_{kl\chi\lambda}^f = Q_{kl}^f \cdot Q_{\chi\lambda}^f + \left(Q_{k\lambda}^f\right)^2$  — элементы матрицы, обратной корреляционной матрицы фона  $\|R_{kl\chi\lambda}^f\|$ , имеющей определитель  $\text{Det}\|R_{kl\chi\lambda}^f\|$ ;  $Q_{kl\chi\lambda}^{x+f} = Q_{kl}^{x+f} \cdot Q_{\chi\lambda}^{x+f} + \left(Q_{k\lambda}^{x+f}\right)^2$  — элементы матрицы, обратной корреляционной матрицы сигнала цели и фона  $\|R_{kl\chi\lambda}^{x+f}\|$ .

ляционной матрицы сигнала и фона имеющей определитель  $\text{Det} \|R_{kl\chi\lambda}^{x+f}\|$ .

Математическим эквивалентом устройства оптимальной ПВ (междупериодной и междуканальной) обработки является отношение правдоподобия или логарифм отношения правдоподобия, которое определяется как отношение многомерной плотности вероятности совокупности результатов междупериодной и междуканальной обработки при наличии сигнала к многомерной плотности вероятности той же совокупности в отсутствие сигнала:

$$\Lambda(y) = \frac{w_1(y)}{w_0(y)} = \frac{\text{Det} \|R_{kl\chi\lambda}^f\|}{\text{Det} \|R_{kl\chi\lambda}^{x+f}\|} \exp\left(\sum_{k,l=1}^L \sum_{\chi,\lambda=1}^M (Q_{kl\chi\lambda}^f - Q_{kl\chi\lambda}^{x+f}) y_k y_l^* y_\chi y_\lambda^*\right). \quad (8)$$

Решение об обнаружении сигнала с учетом его единой ПВ корреляции принимается по величине

$$Z = \sum_{k,l=1}^L \sum_{\chi,\lambda=1}^M (Q_{kl\chi\lambda}^f - Q_{kl\chi\lambda}^{x+f}) y_k y_l^* y_\chi y_\lambda^*. \quad (9)$$

Данное выражение (9) представляет собой ПВ алгоритм единой междупериодной и междуканальной обработки входного сигнала  $y_{kl}$  при наличии его ПВ корреляции. Из выражения (9) также можно записать матрицу единой ПВ обработки сигнала, которая определяет структуру единой ПВ системы междупериодной и междуканальной обработки

$$\|R_{kl\chi\lambda}^y\| = \|Q_{kl\chi\lambda}^f\| - \|Q_{kl\chi\lambda}^{x+f}\|. \quad (10)$$

После преобразования выражения (10), ПВ матрицу обработки сигнала  $y_{kl\chi\lambda}$  можно представить в виде произведения двух сомножителей

$$\|R_{kl\chi\lambda}^y\| = \left[ E + \left( \|Q_{kl\chi\lambda}^f\| \cdot \|R_{kl\chi\lambda}^x\| \right)^{-1} \right]^{-1} \|Q_{kl\chi\lambda}^f\|, \quad (11)$$

где  $E = \|R_{kl\chi\lambda}\| \cdot \|Q_{kl\chi\lambda}\|$  — единичная матрица.

ПВ матрица обработки в виде двух сомножителей позволяет разделить обработку на два этапа

$$\|R_{kl\chi\lambda}^y\| = \|R_{kl\chi\lambda}^I\| \cdot \|R_{kl\chi\lambda}^{II}\|, \quad (12)$$

где  $\|R_{kl\chi\lambda}^I\| = \|Q_{kl\chi\lambda}^f\|$  — ПВ матрица первого этапа об-

работки сигнала;  $\|R_{kl\chi\lambda}^{II}\| = \left[ E + \left( \|Q_{kl\chi\lambda}^f\| \cdot \|R_{kl\chi\lambda}^x\| \right)^{-1} \right]^{-1}$  — ПВ матрица второго этапа обработки сигнала.

Первый единый ПВ сомножитель  $\|Q_{kl\chi\lambda}^f\|$  матрицы обработки сигнала фона определяется исключительно ПВ корреляционными свойствами фона согласно выражения (5) и имеет вид:

$$\|R_{kl\chi\lambda}^I\| = \|Q_{kl\chi\lambda}^f\| = \frac{E}{\|R_{kl\chi\lambda}^f\|} = \frac{E}{\|R_{kl}^f\| \cdot \|R_{\chi\lambda}^f\| + \left( \|R_{k\lambda}^f\| \right)^2} = \|Q_{kl}^f\| \cdot \|Q_{\chi\lambda}^f\| \cdot \|Q_{k\lambda}^{f1}\|, \quad (15)$$

где  $\|Q_{\chi\lambda}^f\|$  — обратная междуканальная матрица фона;  $\|Q_{kl}^f\|$  — обратная междупериодная матрица фона;

$$\|Q_{k\lambda}^{f1}\| = \left[ E + \frac{\left( \|R_{k\lambda}^f\| \right)^2}{\|R_{kl}^f\| \cdot \|R_{\chi\lambda}^f\|} \right]^{-1} \quad \text{— обратная}$$

ПВ (междупериодная и междуканальная) матрица фона.

Система, реализующая единый этап ПВ подавления и декорреляции (обеливания) фона, включает в себя антенную систему компенсации помехи, структура которой определяется матрицей  $\|Q_{\chi\lambda}^f\|$ , приемник подавления помехи, схема которого определяется матрицей  $\|Q_{kl}^f\|$  и ПВ устройство подавления помехи, структура которого определяется матрицей  $\|Q_{k\lambda}^f\|$ .

## 2. Структура ПВ адаптивного фильтра компенсации коррелированных пассивных помех

Квадрат амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ПВ фильтра подавления фона можно представить в виде дискретного преобразование Фурье от элементов матрицы первого этапа обработки сигнала  $y_{kl\chi\lambda}$ .

$$\begin{aligned} |K^I(\omega T_n, \omega_y T_y)|^2 &= \sum_{k-l} \sum_{\chi-\lambda} R_{kl\chi\lambda}^I e^{-j[(k-l)\omega T_n + (\chi-\lambda)\omega_y T_y]} = \\ &= \sum_{k-l} \sum_{\chi-\lambda} Q_{kl\chi\lambda}^f e^{-j[(k-l)\omega T_n + (\chi-\lambda)\omega_y T_y]} = \\ &= \sum_{k-l} \sum_{\chi-\lambda} Q_{kl}^f Q_{\chi\lambda}^f Q_{k\lambda}^f e^{-j[(k-l)\omega T_n + (\chi-\lambda)\omega_y T_y]} = \\ &= \sum_{k-l} \sum_{\chi-\lambda} \frac{1}{R_{kl}^f R_{\chi\lambda}^f R_{k\lambda}^f} e^{-j[(k-l)\omega T_n + (\chi-\lambda)\omega_y T_y]} = \\ &= \frac{1}{S_{kl}^f(\omega T_n)} \cdot \frac{1}{S_{\chi\lambda}^f(\omega_y T_y)} \cdot \frac{1}{S_{k\lambda}^{f1}(\omega T_n, \omega_y T_y)}, \quad (16) \end{aligned}$$

где  $S_{kl}^f(\omega T_n)$  — энергетический спектр последовательности междупериодных дискретных значений фона;  $S_{\chi\lambda}^f(\omega_y T_y)$  — энергетический спектр последовательности междуканальных дискретных значений фона;  $S_{k\lambda}^{f1}(\omega T_n, \omega_y T_y) = S_{ПВ}^f(\omega T_n, \omega_y T_y) =$

$= 1 + \frac{(S_{k\lambda}^f(\omega T_n, \omega_y T_y))^2}{S_{kl}^f(\omega T_n) S_{\lambda\lambda}^f(\omega_y T_y)}$  — энергетический спектр последовательности междупериодных и междуканальных дискретных значений фона.

Из выражения (16) следует, что ПВ фильтр подавления фона состоит из пространственного фильтра с частотной характеристикой  $K_I^2(\omega_y T_y) = \frac{1}{S_{\lambda\lambda}^f(\omega_y T_y)}$ , временного фильтра с частотной характеристикой и  $K_I^2(\omega T_n) = \frac{1}{S_{kl}^f(\omega T_n)}$  пространственно-временного фильтра частотной характеристикой  $K_I^2(\omega T_n, \omega_y T_y) = \frac{1}{S_{k\lambda}^f(\omega T_n, \omega_y T_y)}$ .

Таким образом, квадрат АЧХ ПВ устройства декорреляции фона обратно пропорционален междупериодному, междуканальному и междупериодно-междуканальному энергетическим спектрам фона.

Естественные пространственно-временные условия расположения пассивной помехи относительно траектории полета БЛА приводят в процессе обработки сигнала помехи к смещению спектра по углу и частоте, что требует подстройки параметров адаптивной антенной решетки под характеристики спектра помехи. Такая ААР автоматически совмещает свои зоны пространственного подавления по оси угловых частот с пространственными гребешками спектра помехи за счет подстройки угловой частоты коррекции пространственного автокомпенсатора под доплеровскую угловую частоту  $\omega_y = \omega_{y, \text{кор}}$ , а также согласует пространственную ширину зоны подавления по оси частот  $\Delta F_{\text{ААР}}$  с шириной гребешка спектра помехи  $\Delta F_f$ . Структурная схема  $M$  канальной ААР представлена на рис. 3.

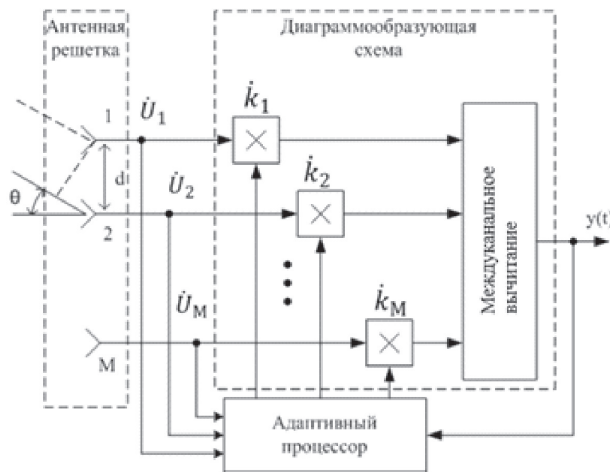


Рис. 3. Структурная схема  $M$  канальной ААР

В представленной схеме ААР каждый приемный канал имеет автоматически подстраиваемый «комплексный вес» пространственной обработки сигнала  $\dot{k}_i = k_i e^{-j\Delta\psi_i}$ , который при оптимальной обработке должен соответствовать пространственному комплексному коэффициенту корреляции  $k_i e^{-j\Delta\psi_{\text{П}}} = r_{\text{П}} e^{-j\Delta\psi_{\text{П}}}$ . При этом условии ААР будет выполнять свое назначение по оптимальному угловому подавлению пространственного спектра сигнала помехи. Принцип автоподстройки «комплексного веса» приемного канала поясняется двухканальной схемой, представленной на рис. 4.

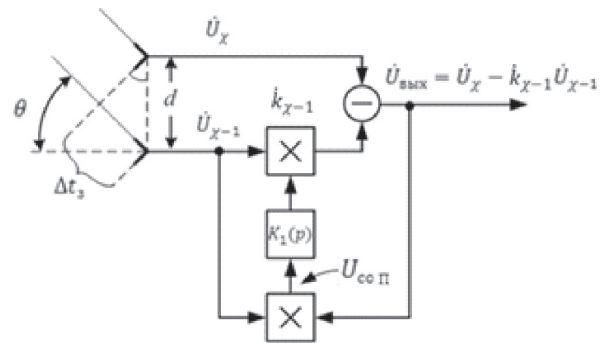


Рис. 4. Структурная схема пространственного автокомпенсатора

Регулируемый «комплексный вес»  $\dot{k}_{x-1}$  охвачен комплексной системой автоподстройки, в которой на выходе дискриминатора (схемы перемножения) формируется сигнал ошибки вида

$$\begin{aligned} U_{\text{соП}} &= K_d \left[ \overline{\dot{U}_{x-1}^* (\dot{U}_x - \dot{k}_{x-1} \dot{U}_{x-1})} \right] = \\ &= K_d \left[ \overline{\dot{U}_{x-1}^* \dot{U}_x - \dot{k}_{x-1} \overline{\dot{U}_{x-1}^* \dot{U}_{x-1}}} \right] = \\ &= 2\sigma_n^2 K_d \left[ r_{\text{П}} e^{-j\Delta\psi_{\text{П}}} - k_{x-1} e^{-j\Delta\psi_{\text{П}}} \right]. \end{aligned} \quad (18)$$

Для подавления междупериодного гребенчатого спектра помехи можно использовать классический автокомпенсатор (АК), который автоматически совмещает по оси частот зоны подавления с гребешками спектра помехи и согласует ширину зоны подавления с шириной гребешка спектра помехи. Структурная схема междупериодного АК показана на рис. 5.

В представленной схеме АК приемный канал имеет автоматически подстраиваемый «комплексный вес» обработки сигнала  $\dot{\alpha} = \alpha e^{-j\Delta\psi_{\text{Вкор}}}$ , который при оптимальной обработке должен соответствовать комплексному коэффициенту корреляции по времени  $\dot{\alpha} = \alpha e^{-j\Delta\psi_{\text{В}}} = r_{\text{В}} e^{-j\Delta\psi_{\text{В}}}$ . В этом случае АК будет выполнять свое назначение по оптимальному подавлению пространственного спектра сигнала помехи по дальности.

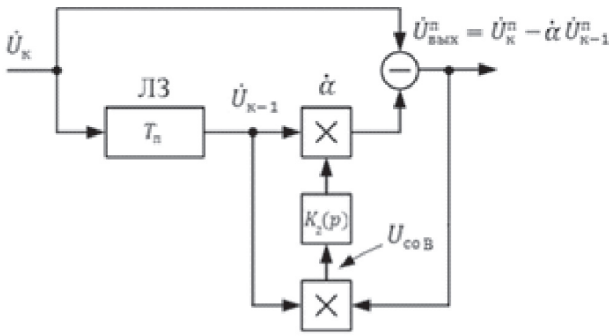


Рис. 5. Структурная схема междупериодного автокомпенсатора

Регулируемый «комплексный вес»  $\hat{\alpha}$  охвачен комплексной системой автоподстройки, в которой на выходе дискриминатора (схемы перемножения) формируется сигнал ошибки вида

$$\begin{aligned} U_{coB} &= K_d \left[ \overline{\hat{U}_{k-1}^* (\dot{U}_k - \hat{\alpha} \dot{U}_{k-1})} \right] = \\ &= K_d \left[ \overline{\hat{U}_{k-1}^* \dot{U}_k} - \hat{\alpha} \overline{\hat{U}_{k-1}^* \dot{U}_{k-1}} \right] = \\ &= 2\sigma_n^2 K_d \left[ r_B e^{-j\Delta\psi_B} - \alpha e^{-j\Delta\psi_{B\text{кор}}} \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

Теория и техника пространственной и временной автокомпенсации помех достаточно глубоко рассмотрены в известных работах [3, 4, 5, 6, 7]. Однако в этих работах не учитывается ПВ составляющая спектра фона (помехи), что не позволяет полностью компенсировать существующий в природе реальный ПВ сигнал помехи. Для решения этой проблемы предлагается с помощью системы автоподстройки сформировать «ПВ комплексный вес»  $\hat{\nu}$  и учесть его в пространственном и временном автокомпенсаторах.

Для синтеза структуры ПВ системы автоподстройки «ПВ комплексный вес» согласно выражений (18) и (19) должен включать два веса: пространственный  $\hat{k}$  и временной  $\hat{\alpha}$  и определяться выражением:

$$\hat{\nu} = \nu e^{-j\Delta\psi_{ПВ}} = \hat{k} \hat{\alpha}. \quad (20)$$

Тогда сигнал ошибки ПВ системы автоподстройки будет определяться следующим выражением

$$U_{coПВ} = \left[ r_{ПВ} e^{-j\Delta\psi_{ПВ}} - \nu e^{-j\Delta\psi_{ПВ\text{кор}}} \right]. \quad (20)$$

Сформировать данный сигнал ошибки ПВ системы автоподстройки можно двумя способами [8, 9]:

1. Суммарный междуканальный пространственный сигнал умножить на череспериодную

разность сигнала дальности и полученный результат усреднить

$$\begin{aligned} U_{coПВ} &= K_d \left[ \overline{(\dot{U}_\chi + \hat{k} \dot{U}_{\chi-1})^* (\dot{U}_k - \hat{\alpha} \dot{U}_{k-1})} \right] = \\ &= K_d \left[ \overline{\dot{U}_\chi^* \dot{U}_k} - \hat{\alpha} \overline{\dot{U}_\chi^* \dot{U}_{k-1}} + \hat{k} \overline{\dot{U}_{\chi-1}^* \dot{U}_k} - \hat{\alpha} \hat{k} \overline{\dot{U}_{\chi-1}^* \dot{U}_{k-1}} \right] = \\ &= 2\sigma_n^2 K_d \left[ r_{\chi k} e^{-j\chi k \Delta\psi_{ПВ}} - \alpha k e^{-j(k-1)(\chi-1)\Delta\psi_{ПВ\text{кор}}} \right] = \\ &= 2\sigma_n^2 K_d \left[ r_{ПВ} e^{-j\Delta\psi_{ПВ}} - \nu e^{-j\Delta\psi_{ПВ\text{кор}}} \right]. \end{aligned} \quad (21)$$

2. Суммарный череспериодный сигнал дальности умножить на междуканальную разность пространственного сигнала и полученный результат усреднить, что позволит получить сигнал ошибки вида

$$\begin{aligned} U_{coПВ} &= K_d \left[ \overline{(\dot{U}_\chi - \hat{k} \dot{U}_{\chi-1})^* (\dot{U}_k + \hat{\alpha} \dot{U}_{k-1})} \right] = \\ &= K_d \left[ \overline{\dot{U}_\chi^* \dot{U}_k} + \hat{\alpha} \overline{\dot{U}_\chi^* \dot{U}_{k-1}} - \hat{k} \overline{\dot{U}_{\chi-1}^* \dot{U}_k} - \hat{\alpha} \hat{k} \overline{\dot{U}_{\chi-1}^* \dot{U}_{k-1}} \right] = \\ &= 2\sigma_n^2 K_d \left[ r_{\chi k} e^{-j\chi k \Delta\psi_{ПВ}} - \alpha k e^{-j(k-1)(\chi-1)\Delta\psi_{ПВ\text{кор}}} \right] = \\ &= 2\sigma_n^2 K_d \left[ r_{ПВ} e^{-j\Delta\psi_{ПВ}} - \nu e^{-j\Delta\psi_{ПВ\text{кор}}} \right]. \end{aligned} \quad (22)$$

Полученный «ПВ комплексный вес»  $\hat{\nu}$  с учетом отношения помеха/шум добавляется в известные схемы пространственного и временного автокомпенсаторов (рис. 6, ключ 1), либо данный «ПВ комплексный вес» используется в отдельном ПВ компенсаторе, который подключается к выходу череспериодного автокомпенсатора (рис. 6, ключ 2).

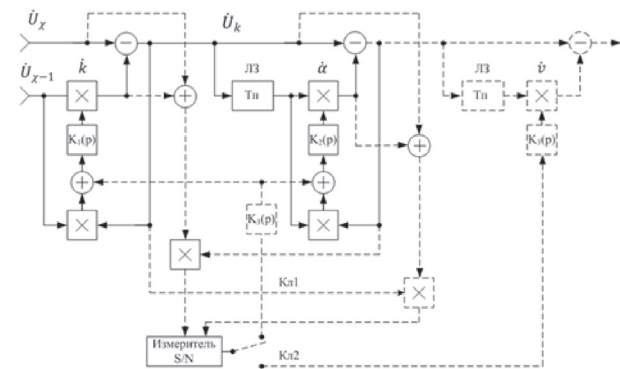


Рис. 6. Структурная схема пространственно-временного автокомпенсатора

Таким образом, применение дополнительного ПВ фильтра компенсации позволяет увеличить коэффициент подавления ПВ коррелированной помехи за счет адекватной структуры ПВ фильтра ПВ сигнала помехи [8, 9].

*Литература*

1. Охрименко, А.Е. Основы радиолокации и РЭБ / А.Е. Охрименко. — М.: Воениздат, 1983. — Ч. 1: Основы радиолокации. — 456 с.
2. Евсиков, Ю.А. Преобразование случайных процессов в радиотехнических устройствах: учеб. пособие для радиотехнических специальностей вузов / Ю.А. Евсиков, В.В. Чапурский. — М.: Высш. школа, 1977.
3. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / под ред. А.И. Канашенкова, В.И. Меркулова. — М.: Радиотехника, 2003. — 416 стр.: ил.
4. Коростелев, А.А. Пространственно-временная теория радиосистем: учеб. пособие для вузов / А.А. Коростелев. — М.: Радио и связь, 1987. — 320 с.: ил.
5. Монзинго, Р.А. Адаптивные антенные решетки / Р.А. Монзинго, Т.У. Миллер. — М.: Радио и связь, 1986.
6. Теоретические основы радиолокации / под ред. Я.Д. Ширмана. — М.: Сов. радио, 1970. — 560 с.
7. Пространственно-временная обработка сигналов / И.Я. Кремер [и др.]. — М.: Радио и связь, 1984. — 224 с.
8. Гриднев, Ю.В. Пространственно-временной автокомпенсатор: а. с. SU № 1507052 от 18.05.1987 / Ю.В. Гриднев.
9. Гриднев, Ю.В. Цифровой пространственно-временной автокомпенсатор: а. с. SU № 1632209 от 1.11.1990 / Ю.В. Гриднев.
10. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н. Антипов [и др.]. — М.: Радио и связь, 1988. — 304 с.

## ТРЕНИЕ И ИЗНОС ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

*Н.К. Мышкин, С.С. Песецкий, А.Я. Григорьев*

*Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси*

### Введение

Современный период развития техники характеризуется все более широким применением полимерных конструкционных материалов (инженерных пластиков) в таких важнейших отраслях промышленности, как автотракторная, авиационная, нефтехимическая и др. В сравнении с металлами или керамиками, полимерные материалы более технологичны, обеспечивают значительное снижение массы изделий, обладают высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред. Возможность изменять функциональные свойства полимеров изделий введением наполнителей различной природы делает очень эффективным применение полимерных композитов в узлах трения — подшипниках скольжения, зубчатых коле-

сах, кулачках, направляющих, в виде антифрикционных покрытий и т. п.

По объемам применения и перспективам дальнейшего расширения производства среди полимеров лидирующая роль принадлежит термопластам. Существенное улучшение триботехнических свойств термопластичных материалов обеспечивается введением в полимерную матрицу упрочняющих и смазывающих добавок. Перспективно применение смесей полимеров, которые, в сравнении с гомополимерами, обладают улучшенными эксплуатационными и технологическими характеристиками при более низкой стоимости и в ряде случаев существенно более высокими триботехническими свойствами.

Прогресс в области нанотехнологий обусловил интенсификацию исследований влияния нанораз-



мерных наполнителей (углеродных, глинистых, металлосодержащих и полимерных) на свойства полимерных композитов. Установлено, что небольшие добавки нанонаполнителей (1...5 об. %) способны кардинальным образом изменять триботехнические свойства полимеров. В современных представлениях такое сильное влияние объясняется тем, что при дисперсности частиц 10...100 нм их поверхность достаточно велика, чтобы даже при концентрациях в десятые доли процента перевести практически весь полимер в состояние граничного слоя, толщина которого достигает 0,02...0,50 мкм. В связи с этим в настоящей статье сделана попытка обобщения и анализа информации в области трибологии полимерных нанокompозитов.

### Трение полимерных материалов

Трение представляет собой совокупность процессов, протекающих в тонких поверхностных слоях контактирующих тел при их относительном движении. Основная концепция науки о трении — существование двух независимых компонент силы трения — *адгезионной* и *деформационной* — проста и плодотворна. Она составляет основу так называемой двучленной модели трения. Подобный подход применим к любым материалам, включая полимеры. Поведение полимеров при трении связывают с протеканием следующих основных явлений:

- образованием адгезионных связей между контактирующими поверхностями;
- деформированием, разрывом связей и срезом материалов пары трения в зоне контакта;
- формированием фактической площади контакта.

*Адгезионные связи, их формирование и разрушение.* Между атомами и молекулами двух поверхностей, приведенных в контакт, действуют силы притяжения и отталкивания. Действие этих сил приводит к формированию пятен фактического контакта. Процессы образования и разрыва связей определяют адгезионную составляющую трения.

Работа силы трения равна энергии разрушения межповерхностных связей. В общем случае образование, рост и разрушение связей определяются природой контактирующих поверхностей, химическими процессами, протекающими на них, и напряженным состоянием поверхностных слоев, вызванным условиями нагружения.

Если прочность межповерхностных связей превышает когезионную прочность менее прочного материала, происходят его разрушение и

перенос. В противном случае разрушение протекает по границе раздела материалов. В полимерах поверхностные и межмолекулярные силы, как правило, приблизительно равны по величине, поэтому разрушение часто происходит в объеме наименее прочного из контактирующих материалов. Однако это не всегда так. При определенных условиях в металлополимерном контакте металл может переноситься на поверхность полимера.

Контакт твердых тел с учетом адгезии описывается различными моделями, наиболее известными из которых являются модели Джонсона — Кендалла — Робертса (ДЖКР) и Дерягина — Муллера — Топорова (ДМТ). Сравнительный анализ этих моделей показал, что теория ДЖКР применима к телам размером более микрометра и имеющим свойства полимера, преимущественно, эластомера, а теория ДМТ справедлива для тел нанометрового масштаба со свойствами металлов.

*Деформационная составляющая силы трения.* Другой причиной возникновения силы трения считается деформация, происходящая при вступлении в контакт неровностей двух скользящих друг относительно друга поверхностей. Неровности испытывают упругую, пластическую или вязкоупругую деформацию в зависимости от свойств материалов. При начальном приложении нагрузки к полимеру возникает, главным образом, пластическая деформация, если полимер находится в стеклообразном состоянии, либо вязкоупругая или даже вязкопластическая, если он находится в высокоэластическом состоянии.

На любом масштабном уровне следует учитывать механические свойства контактирующих материалов, однако, в зависимости от уровня такие характеристики, как модуль Юнга и твердость, могут отличаться не только по величине, но и по физическому смыслу. Деформация сопровождается диссипацией механической энергии, которая определяется типом деформации, условиями трения, свойствами контактирующих материалов, масштабным уровнем механических свойств, составом окружающей среды и другими факторами.

*Фактическая площадь контакта.* Контактующие при трении поверхности не являются гладкими (рис. 1). При их сближении неровности, имеющие максимальную высоту, вступают в контакт. По мере возрастания нагрузки в контакт входят новые пары неровностей с меньшей высотой, образуя отдельные пятна контакта. Общая площадь этих пятен составляет фактическую площадь контакта (ФПК).

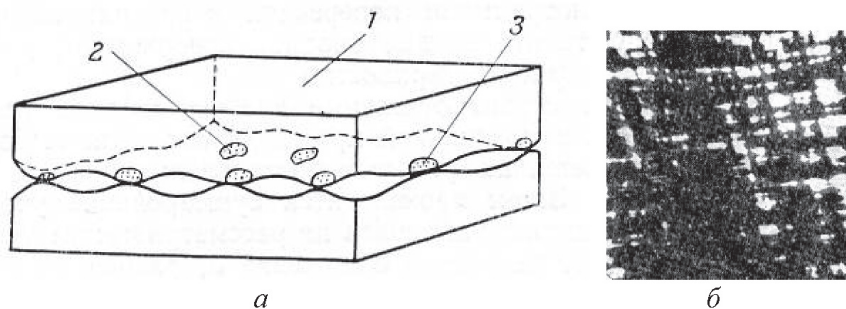


Рис. 1. Формирование фрикционного контакта:  
 а) 1 — номинальная; 2 — контурная площадь;  
 3 — фактическая площадь;

б) фактическая площадь контакта (белые пятна), сфотографированные с помощью люминесцентной краски

Выступы поверхности не являются гладкими, они тоже в свою очередь покрыты неровностями, которые возникают как проявление молекулярной и надмолекулярной структур полимеров. С учетом этого обстоятельства ФПК определяется на основе двухуровневой модели типа модели Арчарда, рассматривающей сочетание двух уровней неровностей — шероховатости и микрошероховатости.

Анализ двухуровневой модели показал, что наиболее высокие неровности первого уровня (шероховатость) вступают в контакт и формируют отдельные пятна контакта (контурная площадь). Но вопреки традиционному представлению, эти пятна не являются сплошными, а каждое из них состоит из некоторого числа меньших пятен. Общую площадь таких пятен меньшего масштаба и принято называть фактической площадью контакта. На пятнах фактического контакта может возникать сильное взаимодействие сопрягаемых поверхностей. Вклад физического и, возможно, химического взаимодействия в общее сопротивление относительному перемещению контактирующих поверхностей может быть очень существенным.

Процессы формирования фактической площади касания, деформирования материалов в зоне контакта, возникновения и разрыв адгезионных связей существенно зависят от условий нагружения фрикционной пары.

*Влияние нагрузки на трение.* Общепринято, что сила трения пропорциональна нормальной нагрузке (первый закон трения). По данным многих авторов, этот закон выполняется для некоторых полимеров, испытанных при определенных условиях (табл. 1).

Так, при скольжении стального шарика радиусом 6,35 мм по поверхности политетрафторэтилена (ПТФЭ), полиметилметакрилата (ПММА), поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилена (ПЭ) и нейлона коэффициент трения остается практически постоянным в диапазоне нагрузок 10–100 Н. Аналогичные результаты получены для ПТФЭ, политрифторхлорэтилена (ПТФХЭ), ПВХ, поливинилиденхлорида (ПВДХ) и ПЭ при нагрузке 2–15 Н, ПТФЭ, ПММА, полистирола

(ПС) и ПЭ при 10–40 Н и т. п. За пределами указанных диапазонов нагрузок пропорциональность силы трения нормальной нагрузке нарушается. Так, например, при умеренных нагрузках (0,02–1 Н) коэффициент трения снижается с ростом нагрузки, что можно объяснить упругой деформацией неровностей поверхности. Следует отметить, что аналогичным образом ведут себя резины, для которых типична упругая деформация. Следует иметь в виду, что нагрузка может изменять температуру вязкоупругих переходов в полимерах, влияя таким образом на механизм трения.

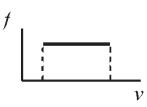
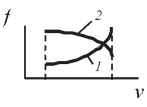

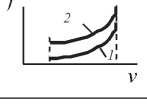

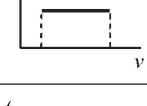
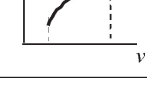
Таблица 1

Влияние нагрузки на коэффициент трения

Материал	Нагрузка, пара трения	Графическая зависимость
ПТФЭ, ПФХЭ, ПВХ, ПВДХ, ПЭ	2–15 Н Сталь – полимер	
ПТФЭ, ПММА, ПММА, ПК	10–40 Н Сталь – полимер	
ПТФЭ, ПЭ, ПММА, ПВХ, нейлон	10–100 Н Сталь – полимер	
ПТФЭ, ПММА, нейлон	Сталь – полимер	
Резина	Расчет	
Резина	Расчет	

*Влияние скорости скольжения на трение.* Считается, что сила трения не зависит от скорости скольжения. Это утверждение справедливо только в случае, если температура в контакте возрастает незначительно и, следовательно, поведение поверхностного слоя материала не изменяется. Однако весьма трудно разделить влияние скорости скольжения и температуры трения, поэтому необходимо внимательно анализировать данные, полученные различными исследователями. В табл. 2 представлены некоторые из большого числа имеющихся результатов.

Таблица 2  
Влияние скорости скольжения на коэффициент трения

Материал	Скорость скольжения, пара трения	Графическое представление
ПТФЭ, ПЭ, ПММА, ПК	0,01–1,00 см/с Сталь – полимер Нагрузка ограничена	
1 — нейлон; 2 — ПК	4–183 см/с Полимер – полимер	
ПТФЭ	10 <sup>-5</sup> –10 см/с Сталь — полимер	
1 — ПТФЭ; 2 — нейлон	0,1–10,0 см/с Сталь – полимер	
ПТФЭ	1,1–180,0 см/с Сталь – полимер	
Волокна	1,5 см/с Полимер – полимер	
Резина	Расчет	

Коэффициент трения не зависит от скорости лишь в ограниченном диапазоне (0,01–1,00 см/с) для ПТФЭ, ПЭ, ПММА и ПС, а также для контакта полимерных волокон. Обычно же имеет место сложная зависимость коэффициента трения от скорости, причиной которой может быть вязкоупругое поведение полимеров. При низких скоростях скольжения вязкое сопротивление в

зоне контакта увеличивается с ростом скорости. Если контактное давление велико, происходит аномальное вязкое течение, приводящее к резкому возрастанию вязкости вследствие роста скорости.

Аналогичная зависимость коэффициента трения от скорости может быть получена и на основе молекулярно-кинетических представлений. При высоких скоростях скольжения в зоне контакта доминирует упругое поведение материала, поэтому сила трения слабо зависит от скорости или уменьшается при ее снижении. Кроме того, следует иметь в виду, что при высокой скорости продолжительность контакта мала, что еще больше снижает силу трения.

В промежуточном диапазоне скоростей все указанные факторы являются конкурирующими, и зависимость силы трения от скорости скольжения имеет максимум, положение которого определяется релаксационными свойствами полимера.

*Влияние температуры на трение.* Полимеры, являющиеся вязкоупругими материалами, очень чувствительны к фрикционному нагреву. Хорошо известно, что трение — типичный диссипативный процесс, в котором механическая энергия превращается в тепловую (до 90–95%, согласно известным экспериментальным данным). Зачастую тепловое состояние фрикционного контакта оказывается решающим фактором эксплуатационных характеристик узлов трения.

Считается, что тепловыделение при трении является результатом деформации материала на пятнах фактического контакта. Механическая энергия может превращаться в тепловую вследствие протекания различных процессов, таких как пластическая деформация, гистерезис, диспергирование и вязкое течение. Другой источник теплоты трения связан с возникновением и разрывом адгезионных связей. По всей вероятности, эти процессы энергетически неэквивалентны, и различие энергий может вызывать выделение или поглощение теплоты.

Часто полагают, что влияние температуры на трение можно рассматривать с учетом механических характеристик полимеров, измеренных при определенных температурах. В пользу этого предположения говорит корреляция коэффициента трения с твердостью и прочностью на сдвиг для некоторых полимеров. Она имеет место только при отсутствии влияния температуры на адгезию.

Некоторые из зависимостей коэффициента трения от температуры представлены в табл. 3.

Таблица 3  
Влияние температуры на коэффициент трения

Материал	Температура, условия испытаний	Графическое представление
1 — ПС; 2 — ПТФЭ	20–80 °С Сталь – полимер	
1, 2 — ПТФХЭ; 3 — ПП	–50...+150 °С Сталь – полимер 1 — $v = 3,5 \cdot 10^{-5}$ см/с; 2 — $v = 3,5 \cdot 10^{-2}$ см/с	
1 — ПЭ; 2 — ПТФЭ	–40...+20 °С Сталь – полимер	
резина	20–200 °С Сталь – полимер	

Адгезия является ведущим механизмом трения полимеров в высокоэластическом состоянии по гладким поверхностям. Другие механизмы трения проявляются, когда полимер переходит из высокоэластического в стеклообразное состояние. В этом случае вклад механических потерь в объемную деформацию поверхностных слоев полимера возрастает. Если полимер нагрет почти до температуры стеклования  $T_g$ , роль объемной механической компоненты становится более значительной до тех пор, пока ее вклад не станет сравнимым со вкладом адгезии.

### Изнашивание полимеров и композитов на их основе

Общепринято, что наиболее распространенными видами изнашивания полимеров являются абразивное, адгезионное и усталостное изнашивание.

*Абразивное изнашивание.* Сущность абразивного изнашивания заключается в резании или пропахивании поверхности более твердыми частицами или неровностями, которые могут быть как внедренными в поверхность контртела, так и находиться в зоне контакта в виде свободных частиц. В первом случае говорят об изнашивании закрепленным, а во втором — свободным абразивом.

При абразивном изнашивании на поверхности появляются царапины, канавки и следы схватывания, а частицы износа, как правило, имеют вид мелких частичек стружки. Большинство моделей

абразивного изнашивания основаны на геометрическом описании неровностей, поэтому интенсивность изнашивания зависит от формы и угла при вершине абразивных частиц или неровностей, движущихся по сопрягаемой поверхности. Существует множество абразивных материалов, и природа абразивного изнашивания конкретной трибосистемы зависит в определенной степени от формы присутствия абразива в ней: твердые фазы исходной микроструктуры, загрязнения, попавшие в систему извне, продукты износа контактирующих поверхностей.

При воздействии абразивной частицы на пластичный материал возможна реализация двух различных типов деформирования. Первый из них — возникновение канавок, часто называемое пропахиванием, при котором впереди частицы образуется валик и материал оттесняется в стороны, формируя гребни на краях канавки. При этом не происходит удаление материала с поверхности трения. Второй тип деформирования — резание — подобен резанию при механической обработке. В этом случае весь объем материала, оттесненный абразивной частицей, удаляется в виде стружки.

Существует и другой подход к описанию абразивного изнашивания. Экспериментальные результаты показывают, что скорость абразивного изнашивания пропорциональна величине  $1/\sigma\varepsilon$ , где  $\sigma$  — предел прочности при растяжении, а  $\varepsilon$  — соответствующая деформация (рис. 2). Эта зависимость была установлена Ланкастером и Ратнером и часто называется их именами.

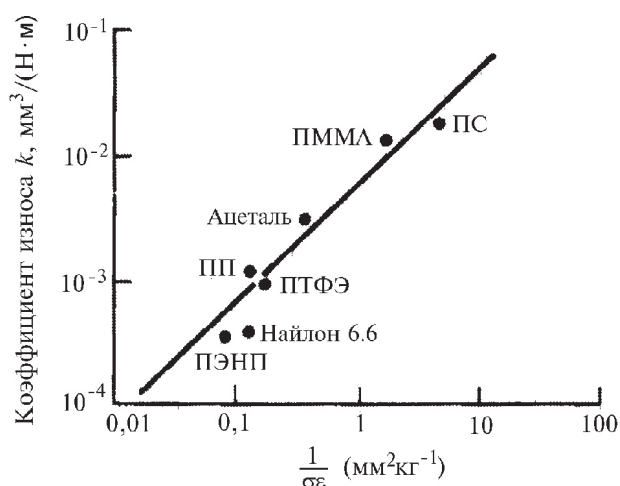


Рис. 2. Зависимость Ратнера – Ланкастера для абразивного изнашивания:

$\sigma$  и  $\varepsilon$  — предел прочности и относительное удлинение при растяжении соответственно

При изнашивании закрепленным абразивом часть неровностей оказывает пропахивающее действие, остальные — режущее. Соотношение между этими механизмами зависит от двух факторов: угла атаки частицы и прочности на сдвиг на границе раздела. При изнашивании свободным абразивом его частицы легко внедряются в поверхность полимера, и он ведет себя как абразивная шкурка, изнашивающая контртело.

*Адгезионное изнашивание и фрикционный перенос.* Адгезионное изнашивание является результатом среза адгезионных связей. В его основе лежит адгезия — одна из составляющих трения, описанная выше. Этот вид изнашивания включает формирование, рост и разрыв адгезионных связей. Его отличительная черта — перенос материала с одной из сопрягаемых поверхностей на другую вследствие образования локализованных связей между ними. Перенос полимеров является наиболее важной характеристикой их адгезионного изнашивания.

Явление фрикционного переноса наблюдается для материалов практически любой природы (металлов, керамик, полимеров) и их сочетаний. Полимеры склонны к фрикционному переносу при трении как по металлам, так и по полимерам. В качестве примера рассмотрим трение ПТФЭ по ПЭ. Было обнаружено, что в начальный период времени происходит перенос ПТФЭ в виде очень малых хлопьев. Толщина перенесенного слоя монотонно возрастает, а затем колеблется около среднего значения, зависящего от условий испытаний, особенно от нагрузки и скорости скольжения (рис. 3).

В зависимости от свойств полимера и условий трения перенесенные фрагменты могут иметь различную форму. Еще одним следствием переноса полимера является изменение шероховатости контактирующих поверхностей — шероховатость поверхности полимера претерпевает существенные изменения до тех пор, пока не наступит

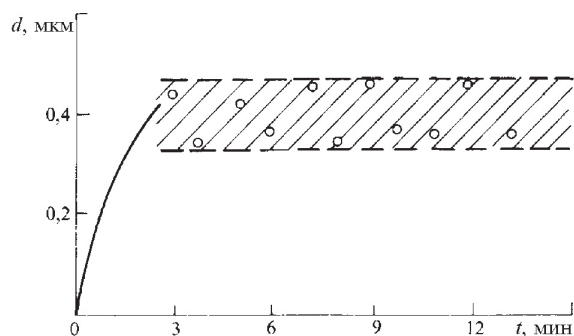


Рис. 3. Кинетика толщины перенесенного слоя ПТФЭ:  $N = 0,05$  МПа,  $v = 0,35$  м/с

стадия установившегося изнашивания, а шероховатость поверхности металла изменяется за счет переноса полимера.

*Усталостное изнашивание.* Усталость трактуется как изменение состояния материала в результате многократного деформирования, приводящего к прогрессирующему разрушению. Ее отличительной особенностью является накопление необратимых изменений, вызывающих зарождение и распространение трещин. Такой процесс протекает при трении и сопровождается практически все виды изнашивания. При качении и возвратно-поступательном скольжении материал в зоне фрикционного контакта испытывает многократное деформирование. Кроме того, каждая неровность поверхности трения претерпевает последовательное нагружение неровностями сопрягаемой поверхности. В результате в поверхностной и подповерхностной зонах возникают два изменяющихся поля напряжений разного масштаба от размера номинальной площади контакта в первом случае до диаметра фактического пятна контакта во втором. Они являются источником усталости материала в данных областях, которая приводит к зарождению и распространению трещин и отделению частиц износа. Такой процесс называется фрикционной усталостью. В отличие от объемной усталости, он охватывает только поверхностные и подповерхностные области материала. Удаление материала с поверхности в результате фрикционной усталости представляет собой усталостное изнашивание. Известно, что усталостные трещины зарождаются в местах возникновения максимальных касательных напряжений или деформаций растяжения.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что при трении положение зоны максимальных касательных напряжений зависит от коэффициента трения. При малых коэффициентах трения ( $f < 0,3$ ) зона, в которой касательные напряжения максимальны, находится под поверхностью трения, а при возрастании  $f > 0,3$  она выходит на поверхность. Однако при совместном нормальном и тангенциальном нагружении тела на поверхности и под ней возникают зоны, в которых происходит деформация растяжения, вызывающая фрикционный нагрев. Поэтому трещины могут зарождаться на поверхности и/или под ней (рис. 4).

Зарождение усталостных трещин облегчается наличием дефектов, являющихся концентраторами напряжений. Это царапины, углубления, риски и раковины на поверхности, а также примесные атомы.

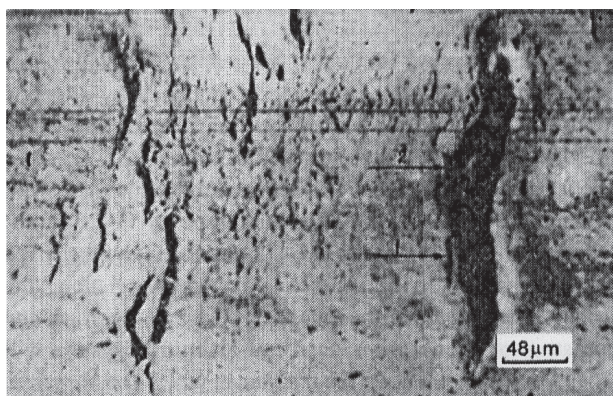


Рис. 4. Усталостное разрушение поверхности эпоксидной смолы:  $f = 0,17$

Под действием циклических напряжений поверхностные и подповерхностные трещины растут, сливаются и пересекаются друг с другом, в результате чего после определенного количества циклов деформирования отделяются частицы износа.

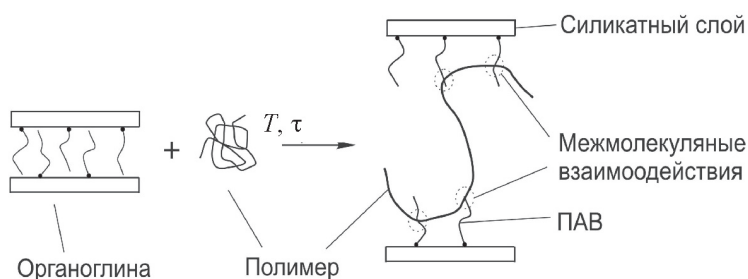


Рис. 5. Взаимодействие макромолекул полимера в расплаве со слоистым глинистым минералом, модифицированным органическим ПАВ

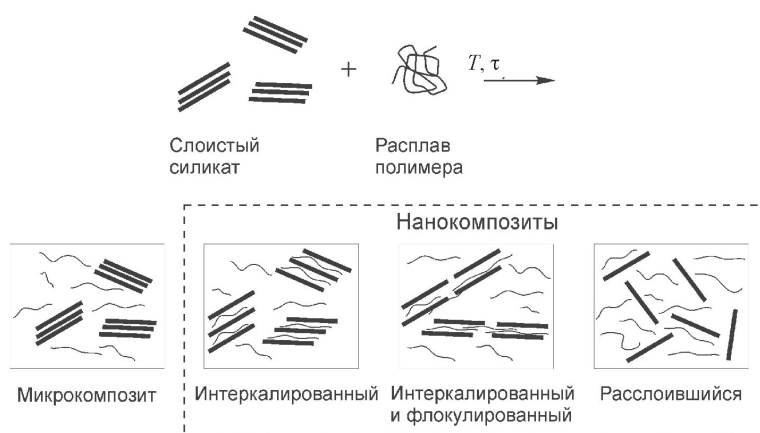


Рис. 6. Структура нанокompозитов, полученных диспергированием слоистого глинистого минерала в расплаве полимера

### Нанокompозиты триботехнического назначения

Основная трудность при получении нанокompозитов заключается в склонности ультрадисперсных частиц к агрегации, а частиц металла — еще и к окислению. Поэтому используются специальные технологии получения нанокompозита, предусматривающие особые условия введения частиц и обеспечивающие требуемое их распределение в полимерной матрице.

К настоящему времени наиболее широко изучены полимер-глинистые нанокompозиты. Методы их получения делятся на три основные группы: введение полимера или форполимера из раствора, полимеризация (поликонденсация), смешение в полимерном расплаве.

Исходные слоистые силикаты обычно содержат гидратированные  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  ионы. Поэтому для обеспечения хорошей смачиваемости полимерами (в т. ч. слабополярными) поверхность слоистого минерала модифицируют посредством обменных реакций с катионными ПАВ, включающими, как правило, первичные, вторичные, третичные или четвертичные катионы аммония или алкилфосфония. Хемосорбция ионогенных ПАВ снижает поверхностную энергию силиката и улучшает его смачиваемость полимером, приводя одновременно к повышению объема галерей (увеличению межслоевого зазора). На рис. 5 приведена схема формирования нанокompозитов путем прямого внедрения полимерного расплава в межслоевое пространство слоистого глинистого минерала, частицы которого обработаны специальным ПАВ.

В зависимости от уровня межфазного взаимодействия обычно получают три различных типа полимер-глинистых нанокompозитов (рис. 6):

- интеркалированные нанокompозиты (включение полимера в слоистую структуру происходит при обеспечении кристаллографической регулярности последней);
- интеркалированные и флокулированные нанокompозиты (с нарушенной регулярностью кристаллов);

– расслоившиеся нанокompозиты (отдельные слои хаотически распределены в объеме полимера).

Тип получаемого нанокompозита определяется природой и концентрацией глинистого минерала, природой полимера и ПАВ, а также условиями компаундирования в расплаве.

Весьма привлекательно применение для управления триботехническими свойствами полимеров новых аллотропных форм углерода — фуллеренов, углеродных нанотрубок, графенов. Удовлетворительное распределение углеродных наноматериалов в объеме как неполярных (полипропилен), так и полярных термопластов (полиамид 6, поликарбонат, полиимид) обеспечивается компаундированием в расплаве при использовании преимущественно двухшнекового экструдера и повышенных скоростей сдвига. Для улучшения распределения углеродных наноматериалов в объеме полимерной матрицы используются комбинированные технологии: обработка полимера и нанонаполнителя растворителем с последующим его испарением и компаундированием в расплаве, совместное диспергирование нанонаполнителя с порошкообразным полимером с помощью ультразвука в легко испаряющейся жидкости, использование специальных компатибилизаторов для улучшения распределения наночастиц в полимерном расплаве.

Металлсодержащие полимерные нанокompозиты (полимерные материалы, содержащие частицы металлов, их солей, оксидов, металлоорганических и других соединений), с частицами по размерами, сопоставимым с размерами макромолекул получают импрегнированием, осаждением и соосаждением, сорбцией из растворов, напылением, микрокапсулированием, диспергированием в растворах и расплавах полимеров, сорбцией металлокомплексных соединений с последующим их разложением и т. п.

Для получения металлсодержащих полимерных нанокompозитов наиболее технологичными являются методы, основанные на введении наночастиц непосредственно в расплав термопласта, смешении наночастиц с тонкодисперсными (нанодисперсными) порошками полимеров с последующим плавлением и прессованием материала,

разложении нетермостабильных солей и других соединений металлов в полимерном расплаве.

### Заключение

В середине XX в. возрос интерес к полимерам и материалам на их основе благодаря особенностям их структуры, специфическим механическим свойствам и возможностям управления этими свойствами. Однако при использовании полимеров часто возникали проблемы, связанные с их ползучестью, существенной зависимостью свойств от температуры, низкими теплопроводностью и атмосферостойкостью. Понадобились десятилетия, чтобы определить область современного машиностроения, в которой полимеры применимы в качестве триботехнических материалов, наиболее часто в виде покрытий и твердых смазок. Последние используются либо в чистом виде, либо в составе композиций или слоистых структур.

Дальнейший прогресс в науке о трении и изнашивании полимеров и композиционных материалов на их основе возможен на основе решения проблем, связанных с раскрытием микромеханизмов процессов, которые протекают в поверхностных слоях трущихся тел. Важным становится изучение структурных изменений в поверхностных слоях, происходящих на молекулярном уровне, и исследование трибохимических реакций. Необходимо также разработать методы регулирования структуры и триботехнических свойств полимеров на основе физических предпосылок и концепций.

Следует отметить, что современные приборы, которыми вооружены исследователи (атомно-силовые микроскопы, приборы для измерения поверхностных сил и т. п.), позволяют им решить многие проблемы в области трения и изнашивания полимеров.

Прогресс в машиностроении, несомненно, откроет новые возможности для применения полимерных материалов и сделает исследование их механических и триботехнических свойств актуальной и продуктивной областью науки и технологии.

Данная работа была частично поддержана грантами Белорусского фонда фундаментальных исследований Т11СРБ-003 и Т11ПЛШ-004.

### Литература

1. Трение и износ материалов на основе полимеров / В.А. Белый [и др.]. — Минск: Наука и техника, 1976. — 432 с.
2. Мышкин, Н.К. Трение, смазка, износ / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 368 с.
3. Tribology of Polymeric Nanocomposites / editors: K. Friedrich, A.K. Schlarb. — Amsterdam: Elsevier, 2008. — 551 p.
4. Polymer Tribology / editors: S.K. Sinha, B. J. Briscoe. — London: ICP, 2009. — 697 p.

УДК 533.6.011

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА СКВОЗЬ РЕШЕТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ (ЭЛЕКТРОДОВ)

*Дементьев А.А., г. Санкт-Петербург, ООО НПФ «Интэкос»,*

*Сороко О.Л., г. Минск РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по продовольствию»,*

*Дук А.А., г. Глубокое ОАО «Глубокский мясокомбинат»*

Крупномасштабное воздействие промышленного производства на среду обитания человека создает проблему защиты атмосферы от токсичных выбросов.

Традиционные способы обезвреживания и очистки газоздушных потоков от токсичных веществ (сорбционные и окислительные) не всегда решают проблему в силу различных объективных и субъективных причин, поэтому научный поиск разработки современных технологий по обезвреживанию вентвыбросов от токсичных газобразных веществ является актуальным.

На наш взгляд одним из перспективных направлений в разработках нетрадиционных технологий в области защиты атмосферного воздуха являются исследования элементарных процессов (нанопроцессов) протекающих в низкотемпературной плазме. Для возбуждения низкотемпературной плазмы (НТП) могут применяться различные виды газового разряда. Поскольку процесс должен протекать при атмосферном давлении наиболее приемлемым оказывается барьерный разряд звуковой частоты (БРЗЧ) [1–2].

НТП БРЗЧ является неравновесной плазмой химической системой, в которой наличие «активных центров» (возбужденные атомы и молекулы, жесткое УФ-излучение и т. д.) стимулируют химические процессы невозможные при обычных условиях.

Для возбуждения НТП БРЗЧ возможно применение любых конструкций и взаимного расположения электродов. Одним из главных критериев при разработке конструкции разрядного блока должны быть минимальные аэродинамические характеристики. С этой точки зрения перспективным является конструкция разрядного блока кассетного типа. На рис. 1 представлен схематический чертеж электроразрядной кассеты.

Электроразрядная кассета состоит из двух решеток цилиндрических стержней (электродов), расположенных в шахматном порядке. При разработке электроразрядного устройства необходимо сделать оптимальный выбор как самого устройства, т. е. подобрать диаметр стержней, расстояние между стержнями в решетке, расстояние между решетками, так и подобрать количество и взаимное расположение электроразрядных кассет в устройстве. Имеющиеся полуэмпирические зависимости [3–4] не позволяют сделать такой выбор, т. к. они описывают интегральные параметры течения газа сквозь решетки определенного типа.

Данная статья посвящена определению полей скорости течения и давления газа, а также сил сопротивления течению газа со стороны стержней при обтекании газом различных электроразрядных устройств.

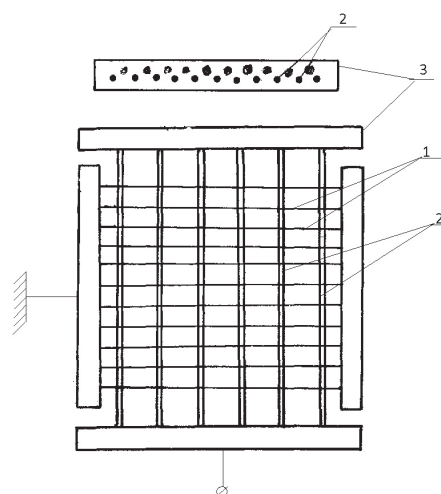


Рис. 1. Схематический чертеж электроразрядной кассеты:  
1 — низковольтный электрод; 2 — высоковольтный электрод; 3 — изолятор



Эти параметры являются основой оптимизации электроразрядного устройства.

Для построения уравнений, описывающих движение вязкого газа, вводятся следующие допущения:

1) поскольку скорость течения газа в вентиляционных каналах обычно не превышает 20 м/с, то считаем, что набегающий на электроразрядную кассету газ является несжимающейся жидкостью;

2) каждая электроразрядная кассета состоит из бесконечного числа параллельных друг другу цилиндрических стержней бесконечной длины;

3) скорость набегающего потока газа на кассету направлена перпендикулярно осям стержней.

С учетом этих предположений следует рассмотреть плоское течение газа.

Число Рейнольдса ( $Re$ ), определенное по диаметру стержней и скорости набегающего газа на кассету, на порядок и более превышает его критическое значение. Поэтому течение газа будет турбулентным. Турбулентное течение газа описывается уравнениями Рейнольдса.

Для нашего случая турбулентного нестационарного плоского течения вязкого несжимаемого газа уравнения Рейнольдса запишутся в следующем виде:

$$\rho \left\{ \frac{\partial U}{\partial t} + U \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial U}{\partial y} \right\} = \rho \cdot F - \frac{\partial P}{\partial x} + (\mu + Ar) \cdot \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right); \quad (1)$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial V}{\partial t} + U \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial V}{\partial y} \right\} = -\frac{\partial P}{\partial y} + (\mu + Ar) \cdot \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right). \quad (2)$$

Уравнение неразрывности имеет вид

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Поскольку течение газа является изотермическим, то динамическая вязкость газа  $\mu$  постоянна. С помощью параметра  $F$  в уравнении (1) учитывается влияние стержней на течение газа. При численном решении задачи для каждого стержня значение  $F$  определялось выражением

$$F = -\frac{W}{\rho \cdot \Delta x \cdot \Delta y}. \quad (4)$$

По своему физическому смыслу  $W$  — сила сопротивления течению газа со стороны каждого стержня, которая определялась формулой [5–6]

$$W = Cw \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 \cdot d. \quad (5)$$

Коэффициент турбулентной вязкости  $Ar$  принимается постоянным [7].

В начальный момент времени газ покоится. Составляющие вектора скорости,  $V = 0$ ,  $U = 0$ , давление  $P = \text{const}$  по всему пространству.

Областью расчета течения газа сквозь решетки стержней является прямоугольная область, включающая несколько стержней каждой решетки каждой кассеты. Область интегрирования уравнений (1)–(3) имеет открытые границы типа жидкость – жидкость. На границе области расчета, перед решетками стержней, составляющая вектора скорости  $U$  набегающего газа на кассеты растет от нуля до постоянного заданного значения  $U_H$ , составляющая  $V$  всегда равна нулю.

На границе области расчета за решетками стержней задаются условия:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial x} = 0.$$

На границах области расчета параллельных скорости набегающего потока задаются условия:

$$\frac{\partial U}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial y} = 0.$$

При решении задачи используется разнесенная сетка. Составляющие вектора скорости  $U$  задаются в точках  $(I, J+0,5)$ , составляющие вектора скорости  $V$  в точках  $(1+0,5, J)$ , давление  $P$  и сила  $F$  задаются в точках  $(1+0,5, J+0,5)$ . Использование разнесенной сетки дает возможность связать значения  $U$ ,  $V$  и  $P$  в соседних точках и позволяет избежать появления осцилляций в решении для  $P$ .

Дискретизация частных производных по пространству в уравнениях (1)–(3) проведена по трехточечной симметричной схеме, а частных производных по времени разностями вперед [9]. На каждом шаге по времени решается уравнение Пуассона для определения поля давления. Из разностных аналогов уравнений (1) и (2) вычисляются значения составляющих векторов скоростей  $U$  и  $V$  на  $(n+1)$  шаге по времени для всех точек расчетной области. Поскольку формулы для определения  $U$  и  $V$  являются явными, то имеется условие на максимальный шаг по времени, связанное с устойчивостью решения [10]:

$$0,25 \left( |U| + |V| \right)^2 \cdot \Delta t \cdot Re \leq 1; \quad \frac{\Delta t}{Re \cdot \Delta x^2} \leq 0,25.$$

Шаг по разностной сетке  $\Delta x = \Delta y$ .

Расчет проведен для двух различных электроразрядных устройств.

Первое устройство состоит из одной электро-разрядной кассеты с диаметром стержней в первой решетке  $d_1 = 0,01$  м и диаметром стержней во второй решетке  $d_2 = 0,015$  м. Расстояние между осями стержней в решетке 0,024 м, расстояние между решетками 0,018 м. Стержни (электроды) первой решетки по отношению к стержням (электродам) второй решетки расположены в шахматном порядке. На рис. 2 показаны изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней  $F$  и перепада давления газа  $\Delta P$  на электроразрядной кассете при различных скоростях набегающего потока  $V_H$ . Как видно из рис. 2, при увеличении скорости набегающего потока газа, вместе с ростом сопротивления течению газа со стороны стержней, растет и перепад давления на электроразрядной кассете.

Второе устройство состоит из электроразрядной кассеты, в которой стержни (электроды) расположены в двух параллельных плоскостях. Стержни (электроды) в каждой плоскости находятся друг за другом на расстоянии  $h = 0,024$  м, диаметр всех стержней  $d = 0,01$  м, расстояние между осями стержней в решетках 0,036 м.

На рис. 3 показаны изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней  $F$  и среднего перепада давления на устройстве  $\Delta P$  в зависимости от расстояния  $h$  между плоскостями стержней (электродов) в устройстве, скорость набегающего потока для всех  $h$  равна  $V_H = 7$  м/с. Как видно из рис. 3, средняя объемная сила  $F$  при малых  $h$  быстро растет, при больших  $h$  растет медленней.

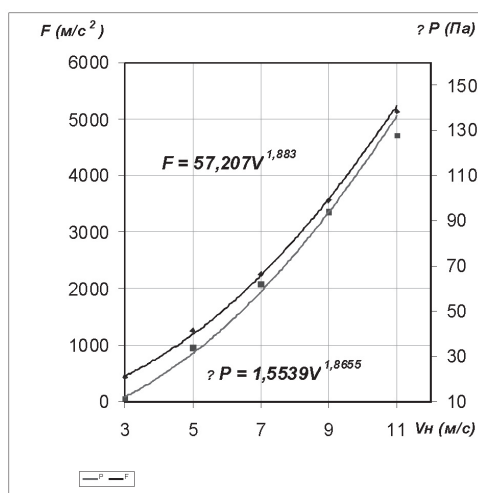


Рис. 2. Изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней и перепада давления газа на электроразрядной кассете при различных скоростях набегающего потока

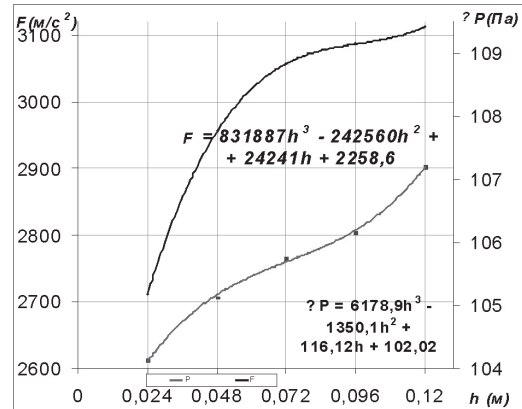


Рис. 3. Изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней и среднего перепада давления на устройстве в зависимости от расстояния между плоскостями стержней (электродов) в устройстве

Это объясняется тем, что при малых  $h$  стержни второй плоскости по течению газа находятся в аэродинамической тени стержней первой плоскости. Скорость набегающего потока на них мала, а это приводит к малым сопротивлениям течению газа со стороны стержней второй плоскости. При больших  $h$  стержни второй плоскости начинают выходить из аэродинамической тени, скорость набегающего газа на них растет, увеличивается и сила сопротивления течению газа. С ростом  $h$  влияние стержней первой плоскости на течение газа через стержни второй плоскости уменьшается, что приводит к слабому увеличению  $F$ . Течение газа от стержней первой плоскости до стержней второй плоскости успевает стабилизироваться и при больших  $h$  можно не учитывать влияние стержней первой плоскости на течение газа через стержни второй плоскости. В соответствии с ростом  $F$  увеличивается и перепад давления  $\Delta P$ .

Параметры течения газа, получаемые при расчете по разработанной методике, позволяют выбрать оптимальный вариант электроразрядного устройства по обезвреживанию вентиляционных выбросов.

#### Список обозначений

- $\rho$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;
- $V$  — составляющая вектора осредненной скорости течения газа направленная вдоль оси  $x$ , м/с;
- $U$  — составляющая вектора осредненной скорости течения газа направленная вдоль оси  $y$ , м/с;
- $P$  — давление газа, Па;
- $\mu$  — коэффициент динамической вязкости газа, Па·с;
- $Ar$  — коэффициент турбулентной вязкости газа, Па·с;
- $t$  — время, с;
- $C_w$  — коэффициент сопротивления цилиндра;
- $d$  — диаметр цилиндра, м;
- $\Delta x$  — шаг по разностной сетке вдоль оси  $x$ , м;
- $\Delta y$  — шаг по разностной сетке вдоль оси  $y$ , м;
- $\Delta t$  — шаг по времени, с.

**Литература**

1. Мак-Таггарт, Ф. Плазмохимические реакции в электрических разрядах / Ф. Мак-Тгггфрт. — М., 1972.
2. Полак, Л.С. Низкотемпературная плазма. Химия плазмы / Л.С. Полак, Д.И. Соловецкий. — Новосибирск, 1991.
3. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справ. пособие / С.С. Кутателадзе. — М.: Энергоиздат, 1990.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. — М.: Машиностроение, 1975. — 510 с.
5. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. — М.: Наука, 1973.
6. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. — М.: Наука, 1974.
7. Рейнольдс, А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях / А.Дж. Рейнольдс. — М.: Энергия, 1979. — С. 23.
8. Harlow, F.H., Welch J.E. (1965). — Phis. Fluids, 8. — p. 2182–2189.
9. Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей / К. Флетчер. — Т.2. — М.: Мир, 1991. — С. 394.
10. Peyret, R. Computational Methods for Fluids Flow. — Springer Ser. Comput. Phys. / R. Peyret, T.D. Taylor. — Berlin, Heidelberg: Springer.
11. Chorin, Math of Comput. / A.T. Chorin. — Vol. 22, n. 104. — Washington. — P. 24–27.
12. Harlow, E.M. Joor. Comp. Phys. / E.M. Harlow, A.A. Amsden — Vol. 3. — P. 80.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКИ ЗАПАТЕНТОВАННЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ

*Павлович А.Э.*

*к.т.н., патентный поверенный,  
оценщик объектов интеллектуальной собственности*

Для определения доходов, которые могут приносить нематериальные активы в виде запатентованных объектов, служит их стоимостная оценка. Цели ее многообразны, например, она необходима при заключении патентных лицензий, при внесении имущественных прав на патент в уставный фонд субъекта хозяйствования, при определении убытков в случае несанкционированного использования запатентованного объекта.

Методы оценки стандартизованы [2] и имеют расчетные формулы, которые едины для определенного вида объектов, например, для изобретений.

Однако, как говорят «изобретение изобретению рознь» и поэтому вводят различные поправочные коэффициенты (значимости, сложности и т. д.) [3]. Но не учитывают при этом потенциальную возможность обхода патента конкурентами.

Дело в том, что выходя на рынок товаров и услуг с запатентованным изобретением, субъект

хозяйствования может столкнуться с ситуацией, когда возникает спор с конкурентами в отношении несанкционированного применения его изобретения. Камнем преткновения в данном споре будет всегда, так называемая, «формула изобретения». Это самая важная правовая часть патента. Согласно статье 36 Закона [1], в отношении выявления факта использования изобретения, в том числе несанкционированного, следует, что использованием изобретения в проверяемом продукте конкурента признается наличие в этом продукте каждого существенного признака независимого пункта формулы запатентованного изобретения.

Естественно, если хотя бы один из этих признаков отсутствует, то продукт не будет считаться «пиратским» и конкурент не будет нарушителем.

Поэтому значимость формулы велика. И нужно это учитывать, т. е. перед применением расчета нужно изучить наличие конкурентов, их продукцию и проанализировать формулу изобретения на

возможность обхода конкурентами патента. Ведь если они не купят лицензию у владельца патента по причине своей уверенности, что не нарушают патент, то владелец патента потеряет определенную часть рынка сбыта.

При наличии конкурентов и их заинтересованности в анулировании патента, естественно, они будут стараться доказать, что в независимом пункте формулы запатентованного изобретения нет хотя бы одного существенного признака.

Определим силу патента по его формуле изобретения путем введения поправочного коэффициента в расчетную формулу оценки объекта. Например, назовем этот коэффициент — коэффициент правовой силы изобретения (*K прав. силы*).

Он будет складываться из коэффициента, учитывающего наличие конкурентов (*K конкур.*) и коэффициента формулы изобретения (*K форм.*):

$$K \text{ прав. силы} = K \text{ конкур.} \times K \text{ форм.}$$

Например, если не имеется конкурентов, то  $K \text{ конкур.} = 1$ , если только один конкурент, то  $K \text{ конкур.} = 0,9$  и т. д.

Для определения значений *K форм.* нужно проанализировать независимый пункт формулы патента в сравнение с описанием продукции конкурента (или конкурентов).

При не имении конкурентов, если в формуле много признаков, т. е. это длинное сложносочиненное (сложноподчиненное предложение), то коэффициент *K форм.* будет малой величины (чем больше признаков, тем меньше этот коэффициент), если же это короткая формула, с наличием небольшого количества признаков, то *K форм.* будет стремиться к единице.

Если же конкуренты есть и известна их продукция, то нужно проанализировать, а все ли признаки формулы изобретения там имеются. Поэтому упомянутые коэффициенты будут еще раз уменьшены. Чем меньше в продукции конкурента признаков из запатентованного продукта заказчика оценки, тем меньше будет *K форм.*

#### Источники информации:

1. О патентах на изобретения, полезные модели и промышленные образцы: Закон Республики Беларусь от 16.12.2002 №160-З.
2. Оценка стоимости объектов гражданских прав. Оценка стоимости объектов интеллектуальной собственности», утвержденный постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 20.01.2011 № 2: государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 52.5.01-2011.
3. Методические рекомендации по оценке стоимости объектов интеллектуальной собственности, утвержденные приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 06.01.2011 № 3.

Вводить поправки при оценке патентов также необходимо если у конкурентов имеется возможность их аннулирования.

Здесь очень важна так называемая «патентная чистота» изобретения, т.е., на дату подачи заявки на его патентование не должно быть опубликованной информации, которая бы содержала все отличительные существенные признаки независимого пункта формулы изобретения (проверяется новизна) или же бы не содержала хотя бы один из этих признаков, который явным бы образом следовал из известных опубликованных решений (проверяется изобретательский уровень).

И здесь камнем преткновения является опять же правовая формула изобретения, но не вся, а только ее отличительная часть. Поэтому перед применением расчета нужно провести более тщательный патентный поиск на дату приоритета оцениваемого патента, несмотря на то, что такой поиск проводился ранее заявителем патента и экспертами патентного органа, и проанализировать формулу оцениваемого изобретения на возможность отсутствия там новизны или изобретательского уровня, т. е. нужно определить силу патента на изобретение по его патентной чистоте, путем введения поправочного коэффициента в расчетную формулу оценки объекта. Например, назовем этот коэффициент коэффициентом патентной чистоты и промышленной применимости *K пат. чист. и пр. прим.* Он будет складываться из коэффициента, учитывающего количество публикаций, порочащих новизну патента (*K публ. нов.*), коэффициента, учитывающего количество публикаций, порочащих изобретательский уровень патента (*K публ. из.ур.*) и коэффициента, учитывающего промышленную применимость (*K пром. прим.*)

$$K \text{ пат. чист. и пр. прим.} = K \text{ публ. нов.} \times \\ \times K \text{ публ. из.ур.} \times K \text{ пром. прим.}$$

Таким образом более точная оценка стоимости передаваемых имущественных прав на запатентованные изобретения видится в введении упомянутых выше поправочных коэффициентов по его конкурентоспособности и патентной чистоте.

## СЕКРЕТОНОСИТЕЛЬ



Гурий Марчук.

*Академик Гурий Иванович Марчук — личность легендарная. Вместе с Курчатовым и Доллежалем создавал атомное оружие — первую в мире водородную бомбу, стоял у истоков нового класса подводных лодок с жидкометаллическим теплоносителем, аналога которым до сих пор нет. Он был последним президентом Академии наук СССР, а уже после перестройки занялся глобальными проблемами: экологией, изменением климата и даже медициной — генетикой и иммунологией. В свои 86 лет, несмотря на давно заслуженный отдых, он активно трудится в им же созданном Институте вычислительной математики РАН, читает лекции, ездит на конференции, пишет книги. Он советник президиума Российской академии наук, руководитель кафедры на факультете вычислительной математики и кибернетики МГУ. В этом интервью Гурий Марчук рассказывает о своей долгой и необычной жизни, а также о многом другом: о знакомце из секретной лаборатории «В» и таинственной особе, которой Курчатов нежно шептал «девочка моя», об обширных познаниях Тэтчер в теории сверхпроводимости и полном отсутствии интереса к науке у Горбачева, а также о том, как Хрущева гнали из Кремля граблями.*

— Гурий Иванович, рано ли проявились у вас математические способности?

— Довольно рано. Моя родина — юг Урала, Оренбуржье. Когда мне было пять лет, родители почему-то решили перебраться на Волгу, так мы оказались в селе Духовницком, это между Саратовом и Самарой. Отец мой был учителем химии. Кажется, класса с восьмого я вдруг стал легко решать задачи за 9-й и 10-й классы и как-то так вышло, что сложных задач для меня не стало. Однажды отец отправился на ярмарку и привез оттуда потрепанную книжку 1912 г. издания. На обложке было написано «Арифметика. А. Малинин и К. Буренин». Мне название показалось смешным. Но отец сказал: «Вот, сын, я купил тебе очень хорошую книгу. Давай сделаем так: если ты решаешь задачу, я плачу тебе 20 копеек. А если не решаешь, то платишь мне штраф — рубль». Конечно, я тут же схватил книгу. Первую задачу репил с ходу, вторую — подумал. А третью, как ни бился, решить не мог. Тогда попросил отца дать мне еще три задачи. И опять две решил, третью не могу. Книжка оказалась с секретом. В ней были перемешаны простые и сложные зада-

чи, какие даже не всем учителям под силу. В конце концов, подсчитав, мы с отцом выяснили, что никто никому не должен. С тех пор я понял, что в математике надо решать сложные задачи — простые ничего не приносят. Вскоре началась война. Мне было 16 лет, когда в 1942 г. я поступил на первый курс математико-механического факультета Ленинградского государственного университета, находившегося в эвакуации в Саратове. А в марте 43-го меня призвали в Красную Армию и направили во вновь организованную школу АИР — артиллерийской инструментальной разведки резерва Верховного главнокомандования. Я выучился на младшего сержанта, а к концу войны дослужился до старшего сержанта, побывав по специальным заданиям командования во фронтовых зонах Чугуева, Харькова и Сум. Ближе к концу войны оказался в Ленинградской области, где обеспечивал артмллерию Верховного главнокомандования сведениями, необходимыми для подавления вражеских войск в Пруссии. На войне мне повезло — даже не ранили. В октябре 1945 г. я поступил на второй курс математико-механического факультета ЛГУ.

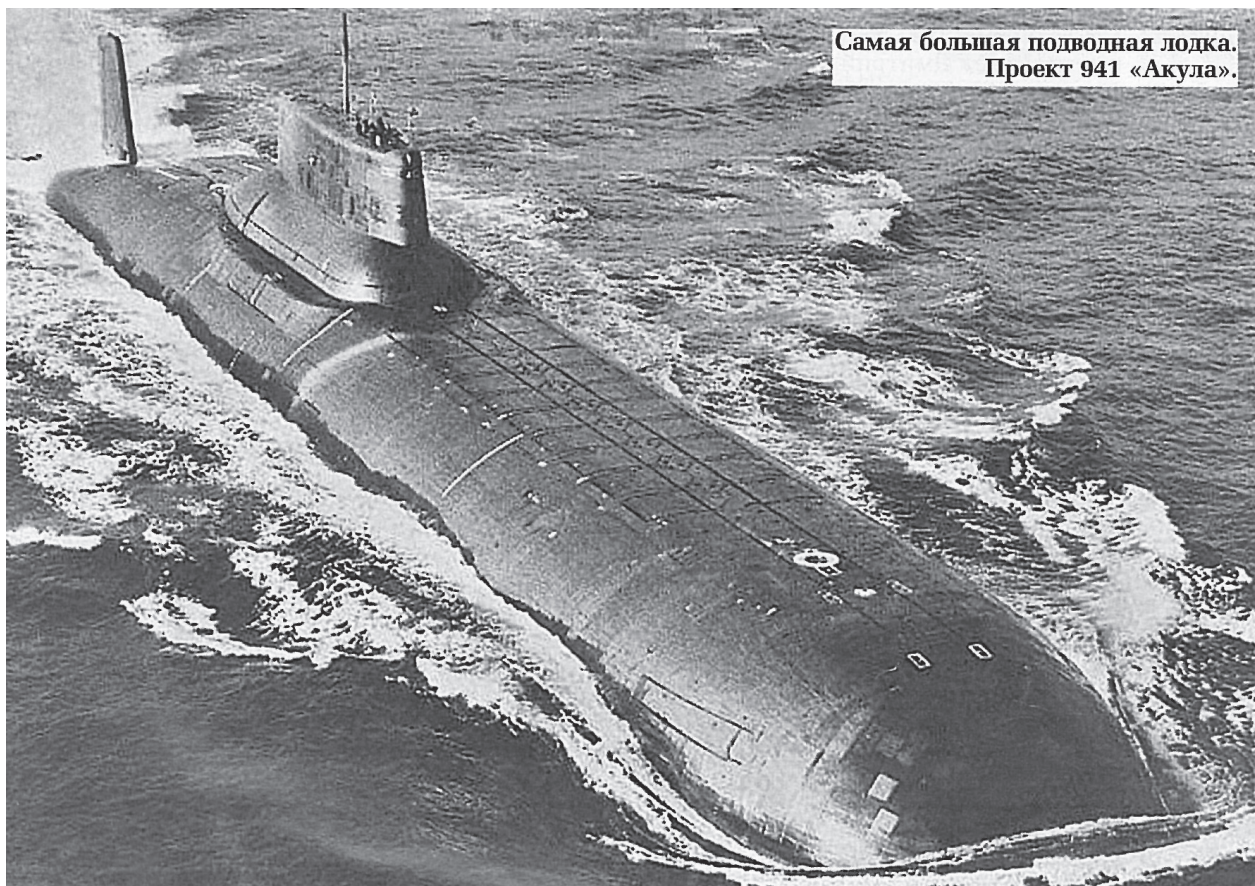
По окончании учебы попал на работу в ГЕОФИАН — Геофизический институт АН, где окончил аспирантуру и получил степень кандидата физико-математических наук. Работал под руководством выдающегося гидромеханика Ильи Кибеля, которому обязан методологией научного познания с помощью математических моделей.

**– Именно матмоделирование привело вас в атомную энергетику? Как это случилось?**

– Как-то зимой 1952 г. к нашему институту подъехал черный автомобиль ЗиС, из него вышел человек, который, как выяснилось, разыскивал меня. Пригласил проехать с ним, а на мой вопрос «куда мы едем», кратко ответил: «Узнаете». Мы ехали около полутора часов мимо красивейших подмосковных лесов, пока не свернули с шоссе к какому-то секретному объекту, окруженному высоким забором. Преодолев несколько кордонов, мы наконец очутились в административном здании и прошли в просторный кабинет. Его хозяин, невзрачный лысый человек, не представившись, сообщил мне, что отныне я буду работать в лаборатории «В». Как потом выяснилось, именно так и называлась лаборатория по созданию водородной бомбы. Я был раздоса-

дован и спросил: «А что будет, если откажусь?» На что человек спокойно ответил: «Тогда вы отсюда не выйдете». Впоследствии я узнал, что тот лысый человек — полковник КГБ, которому поручили обеспечивать деятельность и охрану сверхсекретной лаборатории по созданию супероружия. Узнав, что предстоит работать под руководством профессора Блохинцева, успокоился — по его книге «Основы квантовой механики» я учился в университете. Так началась моя многолетняя работа в Обнинске.

Через три года лабораторию «В» переименовали в Физико-энергетический институт Госкомитета СССР по использованию атомной энергии. Я получил должность руководителя математического отдела института. Первоочередной моей задачей стал математический расчет водородной бомбы на дейтерии, альтернативной знаменитой сегодня «слолке», которую, в свою очередь, разрабатывал Андрей Сахаров. Мы должны были в очень короткие сроки тщательно изучить свойства дейтерия и рассчитать термоядерные реакторы нового типа. На эту задачу работало основное предприятие в Арзамасе, его поддерживали в Институте Келдыша в Москве. А мы



Самая большая подводная лодка.  
Проект 941 «Акула».

обеспечивали теоретические расчеты, которые, как вы понимаете, должны быть очень точны. С задачей справились. Но о технических деталях рассчитанной нами водородной бомбы я и сегодня не могу рассказывать. Это закрытая тема.

Сотрудничать приходилось со многими незаурядными людьми. Научным руководителем института был выдающийся ученый Александр Лейпунский. Вместе с Петром Капицей он работал в Кембридже и считался ученым с мировым именем, а вернувшись в СССР, стал автором ряда первоклассных проектов использования атомной энергии в стране.

– **В Обнинске велись секретные работы. А ученые были тоже засекречены?**

– Долгое время я находился под грифом секретности. Снял его с моего имени лично Курчатов. Дело было так. Я написал монографию о расчетах ядерных реакторов. Книжка лежала в издательстве. И вот в моей квартире в Обнинске однажды вечером раздается телефонный звонок. Беру трубку: Курчатов. «Гурий Иванович, не могли бы мы встретиться завтра утром в Институте атомной энергии?» Курчатов тогда руководил этим институтом, сегодня носящим его имя. Конечно, я приехал. Игорь Васильевич сказал, что скоро начнется вторая Женевская конференция по мирному использованию атомной энергии и было бы хорошо в ее материалы от нашей страны включить мою книгу, с которой он, к моему удивлению, уже успел ознакомиться в рукописи. Я растерялся, поскольку знал, что книга выйдет в лучшем случае через полгода. Тогда Игорь Васильевич взял «кремлевский» телефон, набрал номер и сказал в трубку: «Але, девочка, это ты? Надо, чтобы такая-то книжка вышла через месяц». Поговорив с таинственной девочкой, он сообщил мне, что все в порядке. Я направился к выходу, но уже на пороге не выдержал и решил спросить, что же это за могущественная девочка? Курчатов засмеялся и пояснил, что «девочка» — сокращение инициалов Дмитрия Васильевича Ефремова, крупнейшего физика-энергетика. Курчатов многим давал ласковые, шуточные прозвища. Так, академика Якова Борисовича Зельдовича он называл не иначе как Ябэ, а академика Юлия Борисовича Харитона — Юбэ. Книга была издана ровно через месяц, и ее получили в комплекте с нашими материалами все иностранные делегации конференции. После этого действительно мое имя стало известным.

– **Как случилось, что вы стали заниматься атомными подводными лодками?**

– После того, как свою роль в проекте по расчетам водородной бомбы я выполнил, перед нами была поставлена новая, не менее важная задача — создать качественно новую атомную подводную лодку-охотник с жидкотеплопроводящим реактором. В 1952 г. мы были пионерами в такого рода исследованиях. Задачу удалось решить: наши лодки научились развивать скорость до 70 км/ч, что по тем временам было грандиозным достижением, и опускаться на глубину до километра.

Дело создания подводных лодок я освоил, как таблицу умножения. Самое страшное для ученого — перестать развиваться. И я стал мучиться: куда же податься? А тут из Новосибирска приехал академик Соболев. Сказал, что начинается организация Сибирского отделения Академии наук, строится Академгородок, где будет в том числе математический институт. Но с кадрами плохо. Вот и пригласил меня возглавить вычислительный центр в институте. Я решил съездить, посмотреть, что это за Академгородок. Когда увидел строящийся проспект Науки, с которого открывалась перспектива возведения сразу 15 академических институтов, у меня от восторга перехватило дыхание. Вернулся в Москву и все рассказал жене. Она ответила: «Ну, раз ты считаешь, что надо ехать, — поехали».

– **Наверное, жалели, что уехали из столицы?**

– Ны разу! В Сибири прожили наши лучшие годы. В начале 60-х гг. жизнь в Академгородке была особенно насыщенной событиями и интересными встречами. Кто к нам только ни приезжал! Так, вскоре после визита в Новосибирск Шарля де Голля в Академгородке появились французская спецшкола и Общество советско-французской дружбы. Франция стала моей любовью на всю жизнь. Меня не раз приглашали туда читать лекции, спустя годы я познакомился и подружился с Франсуа Миттераном, который вручил мне орден командора Почетного легиона, а в начале 90-х я стал иностранным членом французской Академии наук.

– **Ваша сибиряда длилась почти 20 лет. И, кстати, если бы не ваше заступничество, пол-Сибири сегодня находилось бы под водой.**

– Дело не только во мне. В середине 60-х было решено создать при Совмине СССР Совет по науке — независимый научный орган, который должен был давать объективные оценки крупных предложений по преобразованию страны, системе образования, строительству уникальных объектов. Туда вошли 16 академиков и два члена-корреспондента. Я стал ученым секретарем

совета. За годы его работы было принято немало важных решений, и одно из них касалось проекта по строительству Нижне-Обской ГЭС около Сургута. На проектные работы выделялись огромные по тем временам деньги — два миллиона рублей. Разбираясь в вопросе, мы поняли, что при реализации проекта будет затоплена почти треть Западной Сибири, и организовали мощную комиссию из специалистов, которая доказала Хрущеву несостоятельность идеи. Реализация этого бездумного, а точнее, безумного проекта, несомненно, привела бы к экологическому бедствию. Увы, примеров воплощения такого рода проектов в нашей стране предостаточно. Потому и случались в совете порой весьма резкие споры по тому или иному поводу.

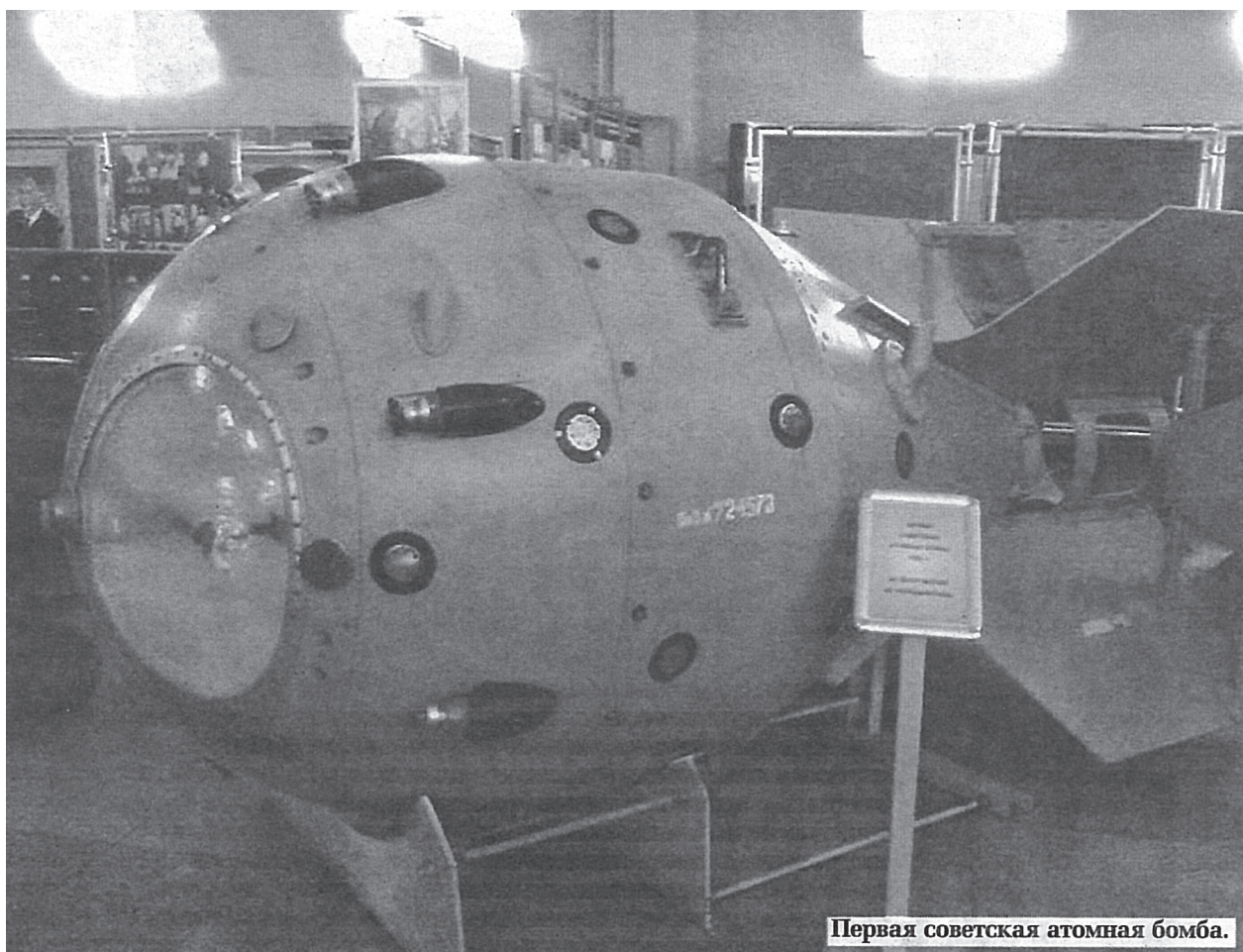
— После падения Хрущева что стало с вашим советом?

— Хорошо помню, как в Москве позвонил в диспетчерскую гаража Совмина, чтобы за мной прислали машину, и услышал, что с сегодняшнего дня машина меня обслуживать не будет. Это удивило. Я купил свежие газеты и узнал, что про-

шедший накануне пленум отстранил Хрущева от руководства страной. Новым генсеком избран Брежнев. Пospешил в Кремль своим ходом. Происходящее там меня поразило. Большая группа хозяйственных служащих и рабочих вошла во все кабинеты и, если там были портреты Хрущева, срывала их граблями и швыряла на тележку. Смотреть на это было просто противно. На следующий день новый председатель Совета Министров Косыгин на заседании Совмина поставил вопрос о ликвидации нашего Совета по науке. Это было первое постановление нового состава Совмина.

— На фоне замечательного жителя-бытия в Сибири как вы восприняли назначение на крупный академический пост в Москве?

— Для меня это было неприятной неожиданностью. Нисколько не лукавлю. Зимой 1979-го мне предложили пост заместителя Председателя Совета Министров и председателя Государственного комитета по науке и технике. Нельзя сказать, чтобы я обрадовался. Из Новосибирска уезжать совсем не хотелось.



Первая советская атомная бомба.



Угнетало и то, что все дела, по сути, буксовали. Чем дальше, тем больше было заметно, что страна движется к пропасти. Мы пытались спасти ситуацию, искали выход. Скажем, состоялся семинар крупнейших экономистов, по результатам которого подготовили доклад председателю Совмина Тихонову, где был сделан подробный анализ экономики страны и сформулированы важнейшие предложения. Тихонов на нашем докладе написал резолюцию членам Президиума Совмина внимательно его изучить и рассмотреть, однако ничего этого сделано не было. Между правительством и Политбюро существовали большие противоречия. Последнее слово было за Политбюро, и это вызывало раздражение в правительстве. Система управления Совмином не была замкнутой. Например, сельским хозяйством напрямую руководил секретарь ЦК, а Совмин был фактически отстранен от руководства сельским хозяйством. Правительство мало влияло и на валютную политику, хотя формально какие-то постановления принимались. Недаром ведь время называли застойным...

– **Но наконец пришел энергичный Горбачев...**

– Действительно, одно из первых его решений — провести всесоюзное совещание по развитию научно-технического прогресса — было, казалось бы, очень верным. На совещании сделали совершенно правильные акценты на развитие машиностроения как фундамента модернизации всей промышленности, на электронику, химическую промышленность и строительство. Но, увы, инерция старого, затратного механизма в экономике оказалась слишком сильной. Вместо реальных дел в высших эшелонах власти плели интриги. Скажем, однажды Тихонов поручил мне рассмотреть проблему окупаемости инвестиционных средств в стране. Я с энтузиазмом взялся за дело, обратился к экономистам, и уже через месяц мы сделали полный расчет и методику определения эффекта и затрат. Поехали в Совмин. Доклад попал, как обычно, к управляющему делами Смиртюкову, который терпеть не мог ученых и по-своему изложил суть вещей председателю Совмина. Тот в негодовании приказал все пересчитать и не морочить ему голову. Мы пересчитали: получилось то же самое. Тихонов, вместо того чтобы вызвать меня и все прояснить, опять выслушал только Смиртюкова, разгневался и опять потребовал пересчитывать. В третий раз делать этого мы не стали. Поняв, что перегнул палку, Смиртюков позво-

нил мне и сказал: «Можете не пересчитывать — я спихну дело в архив». Порой накачивало отчаяние, хотелось шпунуть и уйти в отставку, но наутро я вставал с репимостью продолжать попытки что-то изменить.

– **Значит, Горбачев вас разочаровал? Но ведь именно при нем вы стали президентом Академии наук СССР...**

– Горбачев пытался связать научно-технический прогресс и экономическое развитие страны с политическими преобразованиями, думая изменить облик партии и отстранить ее от управления государством. Речь могла идти только о путях, с помощью которых мы пришли бы к новой структуре общества — деполитизированного, деидеологизированного, демократического. И я полностью разделял эти цели. Но в сложной ситуации, в которой оказалась страна, Горбачев прислушался к силам, которые обещали провести необходимые преобразования за 500 дней. Поверив им, Горбачев попал в ловушку. Нам требовался свой, особый подход к смене экономической и политической системы, невозможно было в одночасье отказаться от всего, что народ создал за многие годы. Идея радикального перехода к новой системе за 500 дней погубила хорошее начало.

Когда на Политбюро приняли решение рекомендовать меня на пост президента АН СССР, радость я не испытал. Но меня поддержал замечательный ученый, мой друг и учитель академик Александров — его мнение оказалось решающим. Сам он решил уйти с этого поста в отставку — его буквально подкосила трагедия в Чернобыле. Я понимал, что на этом посту должен буду если не приумножить, то хотя бы сохранить потенциал академии, укрепить международные связи, чтобы предотвратить массовую эмиграцию ученых за рубеж. Догмы, к которым мы привыкли за много лет, как гири на ногах, тянули вниз. Мы должны были научиться летать. Все шесть лет своего президентства я старался решать нелегкие вопросы. Были и другие планы, однако осуществлять их становилось все труднее. В стране росло политическое напряжение. Вскоре стало ясно, что СССР больше нет.

– **Правда ли, что вы были дружны с «железными леди» — Индирой Ганди и Маргарет Тэтчер?**

– Еще в начале 50-х, когда работал в Обнинске, судьба впервые свела меня с Джавахарлалом Неру — первым премьер-министром Индии и его дочерью Индирой Ганди, молодой красивой женщиной. Впоследствии мы стали настоящи-

ми друзьями. Я был уже членом правительства, когда Индира Ганди вновь приехала в Москву, и мне было поручено сопровождать ее в поездке в Звездный городок. Оказалось, она хорошо помнит нашу первую встречу, хотя прошло много лет и юная красавица превратилась в убеленную сединами даму, наделенную высшими полномочиями премьер-министра страны.

А с Маргарет Тэтчер совсем другая история. С ней я познакомился в аэропорту «Шереметьево», когда она прилетала на похороны Брежнева. С первых же слов меня поразило то, что она, бесспорно, была активным ученым, а не просто политиком. Как рыбак рыбака, ученый всегда узнает ученого — по складу ума, по манере задавать вопросы. В молодости она училась у будущего нобелевского лауреата Дороти Ходжкин, разрабатывала и исследовала классы некоторых полимеров, поэтому к обсуждению научных проблем всегда относилась с большим интересом. Через несколько лет во время очередного визита Тэтчер посетила один из институтов академии, по профилю близкий к ее работе. Сотрудники познакомили высокую гостью с уникальными установками, созданными для изучения низкотемпературной сверхпроводимости. Она обошла ряд лабораторий, все время задавая вопросы и участвуя на равных в научных дискуссиях.

– Ну, а в Лондоне-то вы побывали?

– Да, мы приехали для обсуждения проекта двустороннего соглашения. Тогда я получил приглашение на Даунинг-стрит, в резиденцию Маргарет Тэтчер. Она сама встретила нас у подъезда...

– Уйдя в отставку, вы не вышли на пенсию, а стали директором основанного вами же Института вычислительной математики РАН.

– Создавая институт в 1980 г. в Москве, я руководствовался опытом организации Вычислительного центра СО АН. Это уникальное учреждение.

В нем нет традиционных отделов и лабораторий, вся работа осуществляется в творческих коллективах по проектам. Проект может предложить любой сотрудник и пригласить для его выполнения любого члена коллектива. Нам удалось добиться отсутствия проблемы утечки мозгов — во всяком случае, в нашем институте. Наоборот, к нам нередко приезжают по контракту талантливые ученые из других стран — США, Франции, Германии...

– Слушая вас, создается впечатление, что все у вас получалось как будто само собой. Медициной занялись тоже случайно?

– Его величество Случай, или, как кто-то скажет, судьба, очень многое, если не все, определяет в жизни. Такой же случай подтолкнул меня заняться проблемой иммунологии всерьез, когда 30 лет назад после гриппа я заболел хронической пневмонией. Врачи говорили, что подлатать можно, но полностью вылечиться нельзя. И вот я и мои ученики, которые только что окончили университет, начали развивать математическую иммунологию. О ее эффективности можно судить по мне: я избавился от «неизлечимой» болезни.

Мне интересно жить, и, пожалуй, я незлой человек. Но, увы, время нам неподвластно. Оно летит с неумолимой быстротой, сохраняя веру в то, что завтра будет лучше, чем вчера. Однажды академик Трапезников произнес очень понравившуюся мне фразу: «В умирающем обществе последней умирает наука». Это как человек, находящийся при смерти: врачи считают, что его можно спасти, пока функционирует мозг. Очень верное сравнение. Не будет у нас науки — прощай, Россия!

*Наталья ЛЕСКОВА,*  
[www.itogi.ru](http://www.itogi.ru)

(Материал взят из газеты  
«Советская Белоруссия»

№ 52 (23942); вторник, 20.03.2012)

## ЗВЕЗДЫ И ТЕРНИИ

### Часть третья

(продолжение)

Клеванец Ю.В.

*«Большая масса и скорость — вот залог будущности авиации. Не нужно бояться больших тяжелых машин. Дайте им скорость и выпустите в воздух вагон. Сменяемость пилотов в воздухе, независимость полетов от остановки одного из моторов, уход за ними в воздухе — вот громадные преимущества больших аппаратов»*

И. Сикорский

#### 5. Самые большие в мире

Вернемся в зиму 1912–1913 гг. Здесь уже говорилось, что в это время в самом разгаре были работы по еще не виданному в мире большому самолету. Его называли «Гранд».

По сути это был тот же С-6, но пропорционально увеличенный во всех размерах. Масса возросла в три раза. Крыльевая коробка четырехстоечная, с подкосом. Размах верхнего крыла 27 м, нижнего — 20 м. Фюзеляж внешне подобен длинной закрытой сверху лодке с выступающей над ней кабиной экипажа. Перед кабиной «балкон», на который вела застекленная дверь. Кабина полностью закрытая, что считалось тогда невозможным в принципе. Остекление — обычные силикатные оконные стекла.

В кабине двойное управление, два места для летчиков и два для механиков (их тогда называли машинистами). Боковые окна кабины открывались, через них механики могли выйти на крыло прямо в полете для мелкой починки и регулировки моторов. Фюзеляж имел малую строительную высоту и поэтому был расчленен проволокой как изнутри, так и снаружи для повышения жесткости. Проволока в расчалках — от 1,5 до 3 мм в диаметре. Фанерные (а точнее, из «арборита Костовича») наружные стенки фюзеляжа крепились на фанерные же шпангоуты медными и латунными шурупами. Было и продольное усиление фюзеляжа в виде четырех ясеневых балок 40×40 мм. За кабиной экипажа располагалась пассажирская каюта с диваном и четырьмя плетеными креслами. Кабины разде-

лялись фанерной перегородкой со стеклянной дверкой. За пассажирской кабиной находился туалет, целиком «заимствованный» из железнодорожного пассажирского вагона. Задняя стенка в туалете откидывалась, в этом проеме предполагалось устанавливать пулемет «Максим» (между прочим, непригодный для воздушного боя, но других в России не производилось).

Крылья типовые для абсолютного большинства тогдашних самолетов двухлонжеронные. Лонжероны коробчатые, собранные на клею и на тех же латунных шурупах из сосновых полок и фанерных стенок.

Нервюры тоже коробчатые, 8-миллиметровая фанера использовалась для стенок, сосновые рейки 20×8 мм для полок, собраны они на клею и на гвоздиках. На крыле устанавливались также и косые нервюры для восприятия крутящих нагрузок от двигателей. Поверхности крыльев имели матерчатую обшивку, пропитанную эмалитом. Обшивка крепилась на нервюры рейками и гвоздиками. На нижнем крыле была фанерная «дорожка» для того, чтобы было можно ходить. Коробка крыльев при сборке расчленивалась той же струнной проволокой, что и фюзеляж. Диаметр проволоки — 3 и 3,5 мм.

Оперение было разнесенным, т. е. с двумя рулями направления. Рули направления имели выпукло-вогнутый профиль и устанавливались симметрично «спинами» друг к другу (это было сделано для усиления устойчивости, поскольку конструктор все-таки опасался неожиданного разворота от остановки мотора). Поскольку центровка

из-за установки двигателей на крыле была смещена назад по сравнению с исходным С-6, то стабилизатор было решено сделать несущим.

Шасси представляли собой двойные расчаленные пирамиды с восемью колесами и четырьмя лыжами. Колеса взяты стандартные от лицензионного «Ньюпора».

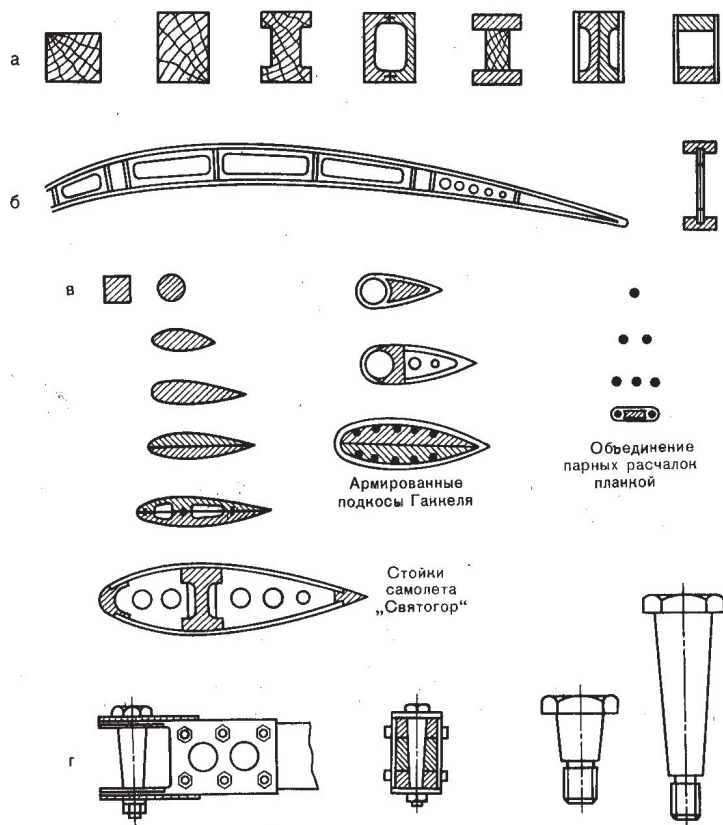
Двигателей два, управление двигателями позволяло работать как с одним, любым мотором по выбору, так и с двумя одновременно с каждого места пилота (организовано как вращающиеся друг в друге трубы).

К марту 1913 г. самолет был готов, и как только подсохла земля на аэродроме, т. е. с 15 марта начались испытания — сперва пробежки, потом — подлеты. Пилотировал сам Сикорский. Затем состоялся первый полет.

Здесь надо сделать отступление. Во время постройки «Гранда» по Петербургу ползли самые фантастические слухи. Видные ученые заявляли: аэропланы уже достигли наивысшей массы, а «страусы не летают». Говорили: этот недоучка еще и авантюрист. Утверждали, что из закрытой кабины летчик не увидит земли при посадке и непременно разобьется. И вообще чего только не говорилось. Сикорскому нужно было постоянно проявлять выдержку, чтобы не вступать в полемику и не отвлекаться от работы.

Ну, а теперь к первому полету. «Гранд» неплохо оторвался от земли, правда, мощности двух стосильных «Аргусов» явно не хватало для уверенного полета: самолет летел только на полном газу и «не хотел» идти вверх. На «балконе» в этом полете стоял механик Панасюк с двухсаженной рейкой в руках. Рейку он должен был выставить вниз при посадке: Сикорский все-таки сомневался: сможет ли он из закрытой кабины правильно определить высоту в две сажени, необходимую для выравнивания. Чтобы Панасюк не отбил руки, конец рейки был подпилен и при ударе о землю должен был легко отломиться. А механик должен был в этот момент кричать летчику.

И полет, и посадка прошли уверенно. Все опасения оказались напрасными.



Примеры конструкций типовых узлов и элементов конструкций русских самолетов:  
 а — сечения балок лонжеронов крыла — от простого к сложному;  
 б — типовая нервюра крыла (вид в плане и сечение);  
 в — примеры исполнения стоек, подкосов и растяжек (сечения) сверху вниз — от простого к сложному;  
 г — пример узла навески лонжерона крыла с коническим самоцентрирующимся болтом

В мае начались полеты по кругу. Самолет вел себя хорошо, правда, по-прежнему «не хотел» подниматься высоко. В конце мая на нижнее крыло установили еще два «Аргуса» с толкающими винтами в тандем с двумя первыми. Высота полета увеличилась до 0,5 км, скорость — с 80 до 90 км/ч. Были проведены полеты с двумя выключенными двигателями (авторитеты говорили, что делать этого никак нельзя). Управление при этом становилось сложнее, но, тем не менее, один человек с ним справлялся. В одном из полетов два механика дружно ходили по самолету — от балкона до туалета и обратно. Центровка, конечно, менялась, но аэроплан не падал, как предрекали скептики.

Наконец, 8 июня в полет пригласили корреспондента «Вечернего времени». Назавтра в газете появилась восторженная статья.

Для увеличения силы тяги (все-таки задние моторы работали в «аэродинамической тени») все «Аргусы» переставили на переднюю кромку крыла, сделав все винты тянущими. Было изготовлено новое верхнее крыло с размахом 28 м. Увеличен размах горизонтального оперения, установлены два добавочных руля направления (в спутную струю каждого двигателя). По предложению Шидловского самолет в такой компоновке назвали «Русским Витязем».

18 июля состоялся первый полет «Русского Витязя». Аэроплан держался намного уверенней «Гранда», скорость возросла до 100 км/ч. Вскорости сестра конструктора Ольга поездом отправлялась домой в Киев. Игорь проводил ее на вокзале, затем поехал на аэродром, вместе с пилотом Янковским на «Витязе» догнал поезд, поравнялся с нужным вагоном, затем, передав управление напарнику, вышел на балкон и помаhal сестре платочком с высоты 50 м. В поезде, конечно, начался ажиотаж.

В конце июля начались маневры русской армии в Красном Селе. Во время маневров новый аэроплан был показан царю. Николай II по при-



*Конструктор Сикорский дает пояснения царю Николаю II на балконе «Русского Витязя»*

ставной лестнице поднялся на балкон и осмотрел кабину «Витязя», беседуя при этом с Сикорским. На память о встрече конструктору был подарен золотой портсигар. А на самолет повесили специальную мемориальную доску с надписью: «Сию кабину осчастливил Своим посещением Державный адмирал будущего великого Российского Воздушного флота Его Императорское Величество Государь Император».

В августе того же года на «Русском Витязе» была установлена целая серия мировых рекордов по подъему на высоту пяти, шести, семи и, наконец — восьми человек. Последний полет продолжался 1 ч 54 мин, среди пассажиров были и депутаты Государственной Думы.

1 сентября начался очередной конкурс военных самолетов, о котором здесь говорилось выше. Сикорский теперь уже был кем-то вроде эксперта, устроил «показательные выступления» на своем самолете, но, как уже отмечалось, праздник был омрачен катастрофой аэроплана С-6Б. А 9 сентября был разбит и «Витязь». С пролетающего над ним аэроплана системы Меллера оторвался двигатель вместе с винтом и упал прямо на крыльевую коробку. Надо сказать, что летчик с «Меллера», известный в то время офицер Габер-Вльнский, остался цел и невредим (он был шепилотом московского «Дукса» и постоянным соперником Сикорского на конкурсах). Когда к обломкам совершенно разбитого «Меллера» подбежали люди, первое, что они услышали — поток отборной брани. Летчик сам поднялся с земли. Но два самолета были безнадежно разбиты.

Стоимость изготовления «Витязя» оценивалась в очень большую сумму — 63 тыс. руб. Самолет строили за счет средств «Руссо-Балта», что было весьма накладно для акционерного общества. Пока правительство рассматривало вопрос о компенсации затрат, Шидловскому удалось получить согласие акционеров на постройку второго самолета.

Сикорский вновь погрузился в работу.

Проектные работы по следующему большому самолету начались уже в августе. Конструктор решил использовать в своей новой машине еще большую, шестистоечную крыльевую коробку. Площадь крыльев должна была увеличиться в 1,5 раза. Двигатели тоже должны быть новыми, более мощными. Вместе с тем в конструкцию закладывались импортные материалы, что должно было дать эффект уменьшения массы.

Фюзеляж предусматривался цельным, безвыступающих частей и переднего «балкона».

Зато конструктор хотел соорудить боковой «балкон» и еще «мостик» сверху фюзеляжа (он все никак не мог расстаться с морскими аналогиями). Обитаемый отсек был увеличен (размеры 8,5×1,6×2 м). В пилотской кабине и в пассажирской каюте предусматривалось искусственное освещение от батареек (в последующем на самолеты устанавливались генераторы с крыльчатками). Вместо переднего балкона на самолете была предусмотрена оружейно-пулеметная площадка (ее проектировали под установку морской 37-миллиметровой скорострельной пушки).

На боковой балкон можно было выйти через дверь в каюте, а на верхний мостик — по лестнице из туалета-кладовки, через люк.

Управление было решено сделать одинарным, т. к. в большой кабине пилоты могли спокойно разойтись, сменяя друг друга. При этом штурвал управления по крену крепился не на напольную колонку, как это делается обычно, а на раму, качающуюся на потолке. Нечто похожее можно видеть в инопланетном летательном аппарате из недавнего российского фильма «Обитаемый остров». Соответственно, тросы управления по крену и по тангажу шли по потолку, тросы управления по курсу под полом.

Конструктор хотел установить еще одно, третье крыло — между крыльевой коробкой и стабилизатором, но потом от этой идеи отказался.

Для остекления кабин, по-видимому, применялся целлулоид. Сикорский постарался максимально уменьшить количество проводочных растяжек, поскольку предыдущий «Русский витязь» из-за обилия проволок оказался сложным в эксплуатации: на нем постоянно приходилось что-то подкручивать и подтягивать, как на музыкальном инструменте.

В отличие от всех прежних аэропланов, на новом, названном «Илья Муромец» было решено использовать импортные материалы: американский орех гикори (полки лонжеронов крыльев), оregonскую сосну и ель-спрус. Носовая (с гнутыми стенками) часть фюзеляжа выполнялась из «арборита Костовича».

Крыльевая коробка была шестистоечной, состояла из 7 секций. По стойкам были разъемы, секции собирались на болтах. Элероны только на верхнем крыле. По нижнему крылу проложена фанерная дорожка

для механика, обслуживающего двигателя. Под верхним крылом, над фюзеляжем, подвешивались бензобаки из латуни на 400 л бензина. В этих же баках перегородками были организованы емкости для масла.

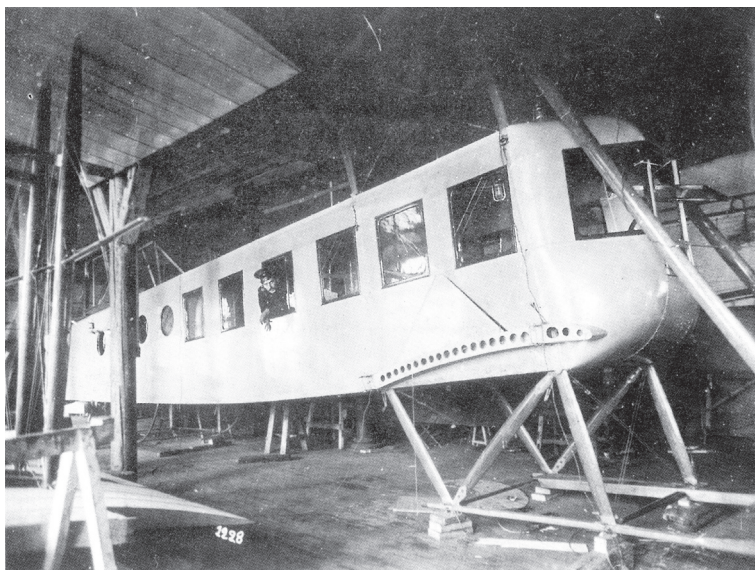
Шасси — ферма из N-образных трубчатых секций, трех лыж и 12 колес от «Ньюпора». Колеса по три штуки объединялись в блок, который обшивался кожей.

Горизонтальное оперение — несущее, как и на «Русском Витязе», но увеличено по площади. Руль направления состоял из трех поворотных секций.

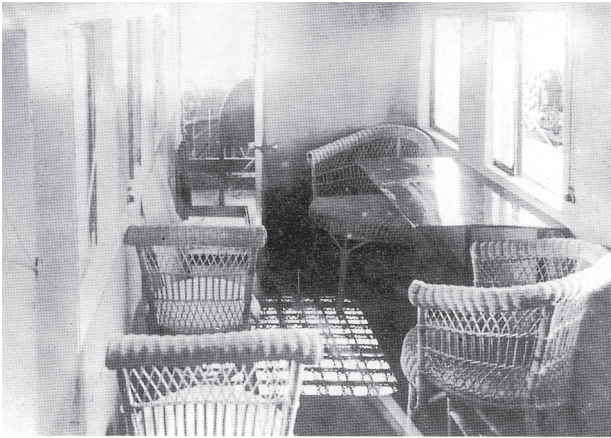
Первый экземпляр самолета с двигателями «Аргус» As-11 в 115 л. с. был готов в ноябре 1913 г. Самолет был сразу же выкачен на аэродром, начались пробежки.

По результатам пробежек и подлетов было решено снять среднее крыло, вместе с тем увеличить площадь вертикального и горизонтального оперения.

Шидловский торопил с испытаниями, но летное поле было по-осеннему раскисшим, зима задерживалась с приходом. На самолете заменили колеса на лыжи, ждали морозов, а морозов все не было. Наконец решили сгрести снег со всего аэродрома на взлетную полосу, получилась дорожка. 10 декабря — первый полет по прямой в пределах аэродрома. 12 декабря — первый полет с десятью пассажирами на борту (мировой рекорд). С 14 января, когда установилась настоящая



*Сборка самолета «Илья Муромец» в цехе «Руссо-Балта». Из окошка выглядывает заместитель гл. конструктора инженер Серебренников*



Пассажирская каюта «Ильи Муромца»

зима, начались длительные полеты над городом. «Муромец» был вполне устойчив, выдерживал курс с брошенным штурвалом, легко планировал с выключенными двигателями. Мощности моторов вполне хватало для того, чтобы взлетать на лыжах со снежной кашей с грязью. 16.02.1914 г. был установлен очередной рекорд — подъем в воздух 16 человек и собака по кличке Шкалик. Общая масса груза — 77 пудов 38 фунтов (1290 кг).

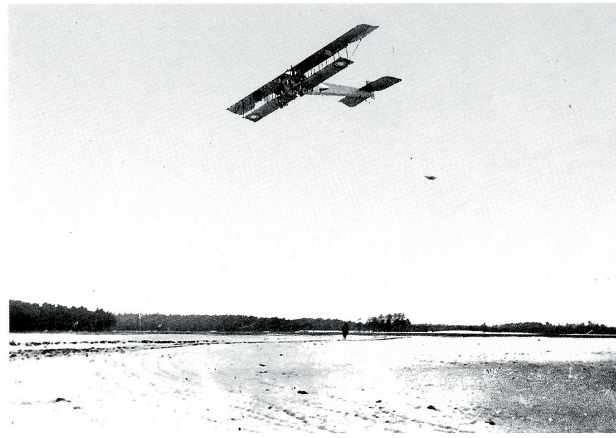
В течение февраля и марта Сикорский катал на «Муромце» публику. В середине марта 2 центральных мотора «Аргус» были заменены на французские «Сальмсоны» в 200 л. с. На самолет также установили радиостанцию с радиусом действия в 600 верст. По контракту с морским ведомством начались работы по переоборудованию «Муромца» № 1 в поплавковый вариант. В это же время развернулось строительство «Муромца» № 2.

Новый самолет был несколько меньше по размерам, строился под 2 двигателя «Аргус» в 140 л. с. (центральные) и под 2 «Аргуса» в 125 л. с.

В мае военное ведомство заказало «Руссо-Балту» 10 «Муромцев».

В следующем месяце по ходатайству Киевского общества воздухоплавания Санкт-Петербургский политехнический институт выдал Сикорскому диплом почетного инженера. Он также был принят почетным членом Всероссийского императорского аэроклуба и Русского технического общества. Пришла награда и от царя — орден Св. Владимира IV степени и денежная премия в 75 тыс. руб.

4 июня — еще один мировой рекорд: подъем десяти пассажиров (пятеро из них были членами Думы) на высоту в 2000 м. На следующий день



«Илья Муромец» на взлете

снова рекорд: полет по замкнутому маршруту на 650 км.

### 6. В начале эпохи великих перелетов

Феноменальные по тем временам возможности самолета продемонстрировал дальний перелет Санкт-Петербург – Киев – Санкт-Петербург.

Вообще-то Сикорский собрался за один день долететь до Одессы. Именно такое условие ставилось для получения приза князя Абаменелик-Лазарева. Но даже и перелет до Киева был выдающимся достижением.

Полет начался белой ночью 18.06.1914 г. Экипаж: первый пилот — Игорь Сикорский, второй пилот — Христофор Пруссис, штурман Георгий Лавров, механик Владимир Панасюк. На борт было загружено 940 кг бензина, 240 кг масла, 150 кг запчастей плюс дополнительные канистры с маслом и бензином, полная нагрузка 1610 кг. Самолет взлетел во 2-м часу ночи. За штурвалом при взлете был Сикорский. Интересная подробность: в кабине еще не было устроено освещение, поэтому пришлось подсвечивать приборы фонариком. За первые полтора часа полета поднялись только на 600 м. Прошло еще два часа — высота была уже 1,5 км. Конструктор вывел свое детище в горизонтальный полет и передал штурвал Пруссису.

В 6.00 в каюте состоялся первый в мире завтрак экипажа на высоте в полтора километра. В 8.00 пролетели Витебск. Здесь был сброшен выпел с текстами телеграмм в Киев и Санкт-Петербург. Теперь, думается, надо дать слово самому Сикорскому.

«Когда пролетали над Витебском, я поднялся на верхний балкон. Красивое и интересное зрелище представлял этот большой незнакомый город. Можно было легко различить улицы, церкви, пло-

шади, на одной из которых, видимо, был базар, и было множество народа и повозок. Любоваться этим видом пришлось недолго. В течение 2–3 мин воздушный корабль пролетел над городом и еще через несколько минут весь город казался темным пятном на земле позади корабля».

В десятом часу совершили плановую посадку возле Орши на открытый берег Днепра для дозаправки. Там были заранее привезены бочки с бензином, на траву было расстелено белое полотно в 20 аршин длиной. Однако перелить несколько сотен литров топлива из бочек в баки в полевых условиях оказалось непростым делом. Кроме того, собралась толпа. Только через четыре часа вновь заработали моторы аэроплана. О полете к Одессе теперь нечего было и думать.

Однако испытания не окончились. При вылете из Петербурга были тихие, относительно прохладные сумерки белой ночи — и то самолет взлетал тяжело. Теперь же пришлось подниматься в разгар жаркого дня, да еще при попутном ветре. Началась болтанка. Сикорский пытался удерживать самолет в режиме набора высоты, но вместо ровного полета получалась какая-то синусоида. Все едва не закончилось катастрофой: лопнула медная трубка подачи топлива, бензин пролился на горячий двигатель, начался пожар. Лавров и Панасюк выбрались на крыло с огнетушителями, огонь был потушен, но лететь на трех моторах все равно не было смысла. «На глазок» сверху выбрали луг, где как раз шла косьба, сели. Больших повреждений от огня не обнаружили, трубку запаяли. Но день уже шел к концу, решили здесь и заночевать.

В 4 часа утром снова взлет. За ночь нагнало туч, почти сразу после взлета пошел дождь, а потом и гроза. Еще до дождя, на высоте в 250 сажен прошли Шклов. Впрочем, он почти не был виден. В сплошной облачности потеряли направление: стрелка компаса свободно вращалась от разрядов небесного электричества. Вследствие болтанки не могли подняться выше облаков, решили спуститься к земле. Под облаками шел сильный дождь, земли почти не было видно. Однако все-таки смогли разобраться, что летят на восток, а не на юг. Начали искать Днепр, нашли. Оказалось, что уже прошли Рогачев. Дождь начал стихать, «Муромец» вновь пошел на подъем.

Пробили облачный слой на высоте в 600 сажен. Болтанка прекратилась. Опять слово Сикорскому.

«Я вышел на верхнюю площадку. Трудно описать величественное зрелище, открывающееся с

этого места. Корабль летел над безбрежным облачным морем. Можно было ясно видеть, как его тень скользила по облакам, освещенным солнцем. Иногда из облачного моря поднимались выступы, как бы горы. Иногда можно было видеть как бы огромный гриб, бросающий от себя тень в целую сотню саженей длиной на облачную поверхность. Некоторые выступы были выше полета корабля. Странное впечатление создавалось, когда корабль проходил около такой облачной горы. Наружные очертания были так резки, что казалось, что она состоит из какой-то твердой белой массы».

Наконец штурман сообщил, что до Киева 10 верст. Нужно было снижаться. Вновь вошли в облака, на высоте в 600 м увидели под собой Днепр, Цепной мост, купола церквей.

В городе уже готовили торжественную встречу, на аэродроме Киевского общества воздухоплавания собрались толпы народа, множество газетчиков. Кульминацией стал грандиозный банкет, где героями были экипаж «Муромца» и Петр Нестеров, недавно совершивший перелет на легком самолете из Киева в Гатчину.

Сикорский на 10 дней задержался в родном городе, катал желающих. 29.06 в 4 часа утра обратный вылет в Петербург. Летчика Пруссиса вызвали в часть, летели втроем. Посадка для дозаправки в Ново-Сокольниках, севернее Витебска. Полет трех человек из Киева в Ново-Сокольники на расстояние в 720 км за 7 ч 32 мин — это новый мировой рекорд.

Заправкой руководил приехавший из столицы инженер Серебренников. Он привез с собой шланги и емкости со сжатым воздухом. Благодаря ему вся операция закончилась в 45 мин.

Взлет прошел успешно, однако севернее Ново-Сокольников была зона лесных пожаров. Воздушный корабль снова начало болтать. От тряски на одном из двигателей открылась крышка карбюратора. Опять пролился бензин. Сикорский лично полез затягивать винты, ни о какой контровке болтовых и винтовых соединений тогда еще и не задумывались.

Около четырех часов пополудни поднялись, наконец, над зоной болтанки, а в пять часов на горизонте уже появился Санкт-Петербург.

В заключение этой части нашего очерка надо сказать, что грозы во время перелета в Киев несли в себе предвестие во много раз более тяжелых катаклизмов: как раз перед полетом прозвучали известные выстрелы в Сараево.