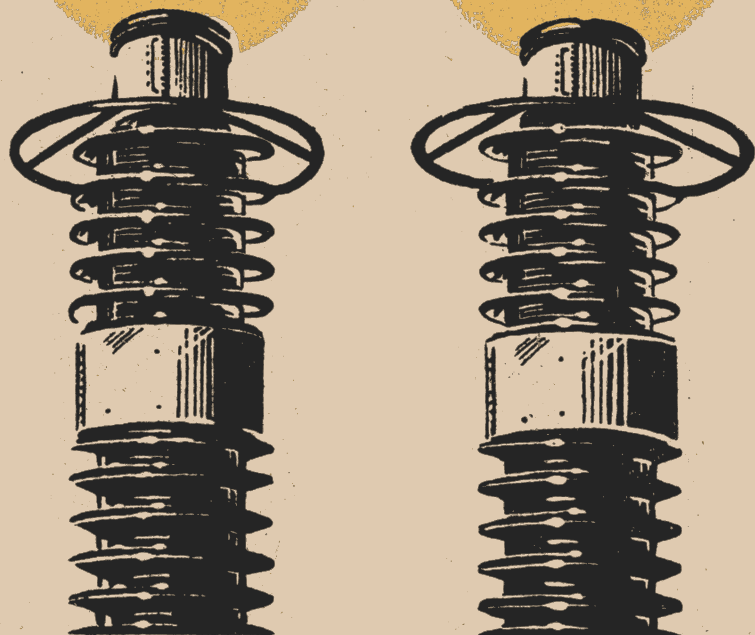


IV серия Техника 1965



К. К. Казанжем
**Статическое
электричество**

К. К. ҚАЗАНЖИ

СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1965

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Что такое статическое электричество?	3
Человек — аккумулятор	7
Статическое электричество в авиации	9
Борьба со статическим электричеством	14
Антистаты, или нейтрализаторы	20
Статическое электричество служит людям	24
П р и л о ж е н и е. Профессии электростатики	30

КОНСТАНТИН КОНСТАНТИНОВИЧ КАЗАНЖИ

Редактор С. М. Иванов
Худож. редактор Е. Е. Соколов
Техн. редактор М. Т. Перегудова
Корректор В. М. Климачева
Обложка А. П. Кузнецова

Сдано в набор 24/II 1965 г. Подп. к печати 14/IV 1965 г.
Изд. № 31. Формат бум. 60×90¹/₁₆. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0.
Уч.-изд. л. 1,97. А 01121. Цена 6 коп. Тираж 48 600 экз.
Заказ 702.

Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр,
Новая пл., 3/4,

ЧТО ТАКОЕ СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО?

Ответить на этот вопрос коротко невозможно. С древнейших времен известно, что янтарь, если потереть его о шерсть или кожу, притягивает легкие тела. Мы знаем, что первым на это явление указал Фалес Милетский. Он говорил об удивительных свойствах «электрона» (по-гречески янтарь). Многие греческие ученые пользовались в дальнейшем сведениями, почерпнутыми у Фалеса Милетского. Но начало истинно научному подходу к изучению статического электричества положил на рубеже XVI—XVII веков английский врач и физик Джильберт. Поставленные им опыты считаются классическими, а его терминологией мы пользуемся до сих пор. Джильберт назвал силу притяжения тел к натертому «электрону» электрической силой. Так был введен термин *электричество*. Джильберт установил, что и другие вещества получают от трения способность притягивать легкие тела.

Мы знаем еще со школьной скамьи, что если потереть стеклянную палочку кожей, а затем прикоснуться ею к шарiku электроскопа, его лепестки разойдутся. К сожалению, у большинства людей, даже весьма эрудированных, этим и заканчивается знакомство со статическим электричеством. Оно кажется на первый взгляд слишком простым и бесперспективным, чтобы им заниматься всерьез. Этого же мнения придерживаются даже и многие ученые, в результате чего теория статического электричества разработана недостаточно. Как отрасль науки статическое электричество проходит пока еще стадию описания отдельных явлений и не имеет достаточно прочного и общепризнанного математического фундамента. Правда, в последнее время в нашей стране и за рубежом этим явлением начали заниматься с должным вниманием, но результаты этих работ сводятся пока в основном к эмпирическим формулам, применимым только в отдельных случаях.

Но вернемся к истории. Вскоре после Джильберта было установлено, что электростатические заряды бывают двух видов — положительные и отрицательные. Это обнаружил француз Дюфэ в 1733 году, но он еще не дал четких терминов для обозначения каждого рода зарядов. Сделано это было в 1747 году американцем Франклином. Он назвал заряды, получающиеся на стекле, положительными, а на коже, которой это стекло натирают, отрицательными. Работы Франклина по атмосферному электричеству стали классическими; его рекомендациями по строительству громоотводов пользуются до сих пор. Было также установлено, что все вещества в природе делятся по отношению к электрическим зарядам на проводники и изоляторы (полупроводники, как известно, были открыты позднее). Крупным достижением науки было установление закона взаимодействия зарядов друг с другом — закона Кулона. Кулон математически описал явление, которое в 1729 году наблюдал англичанин Грей, обнаруживший, что многие тела могут наэлектризовываться от соприкосновения с заряженным телом. Позднее тот же Грей заметил, что заряды могут переходить от одного тела к другому через промежуточные тела. Примерно в 1739 году в науку был введен термин *проводимость*. Это явилось крупным достижением электростатики; четкой границы между проводниками и изоляторами нет, и понятие проводимости позволило ученым количественно характеризовать свойства материалов пропускать электрические заряды.

При исследовании свойств проводников и изоляторов было обнаружено, что изоляторы и диэлектрики (стекло, каучук, парафин, большинство кристаллов, неионизированные газы и т. п.) накапливают заряды во всем объеме. Если осторожно разложить кусок парафина, то заряды отдельных кусков будут пропорциональны их объему. При трении диэлектрика о проводник образование зарядов на них идет строго в направлении усиления собственных зарядов диэлектрика. Если взять отрицательно заряженный диэлектрик, например резину, или винилфоль, и потереть его о металл, по последний заряжается положительно. Почему электроны переходят на диэлектрик, электрическое поле которого препятствует этому, современной науке еще до конца неясно. Профессор Н. Г. Дроздов вводит понятие *сильный и слабый диэлектрик*. К сильным относятся такие диэлектрики, как ацетатобутират и триацетат целлюлозы, а также резина. Из всех трех чаще приходится иметь дело с резиной, которая всегда заряжается отрицательно. Но как она заряжается?

.. Машина идет по асфальтированному шоссе. Жарко, ветер несет из пустыни облака мелкого песка. Наконец долгожданный колодец. Шофер останавливает машину и... не трогается с места. Сидит совсем не потому, что ему хочется пить

меньше остальных. Он даже пытается удержать своего учебного пассажира, но тот знает физику и электричество лучше, чем все шоферы этой маленькой республики! Он тяжело выпрыгивает из машины и... отлетает от нее метра на три. Затем начинаются сплошные междометия. Пассажиру уже не хочется пить, ему хочется высказаться, и он читает сидящим в машине короткую и энергичную лекцию о статическом электричестве. Особо трудные места они разбирают вдвоем с шофером, который уже вышел из машины (машина уже разрядилась) и спокойно пьет воду. Совместными усилиями они приходят к выводу, что машина зарядилась в результате длительного трения резиновых шин об асфальт. Шофер, на основании опытных данных, уточняет, что электризация значительно сильнее, когда дует встречный ветер с песком. Ученый, потирая ушибленную руку, соглашается: в электризации участвуют еще и песчинки, которые трутся о кузов.

Да, резина электризуется при трении об асфальт. Электризуется резиновая обувь, электризуются конвейеры с резиновыми лентами, резиновые ремни на шкивах. Последние — особенно сильно: при работе ременной передачи происходит одновременно трение шкива о ремень и прилипание их друг к другу. В литературе описан случай, когда из-за интенсивной электризации на ремнях скапливались заряды чудовищной величины. Эти заряды уже не могли оставаться на месте и при достижении максимального напряжения разряжались на металлическое ограждение или обслуживающий персонал. Известен случай, когда на одной передвижной электростанции был установлен генератор мощностью 300 кВт. Он приводился во вращение локомотивом 470 л. с. Для передачи такой, довольно большой мощности потребовался ремень громадных размеров. Длина ремня составила 9 м, ширина 50 см и толщина 8 мм; окружная скорость достигла 31 м/сек. Чтобы защитить обслуживающий персонал, на эту передачу было надето массивное стальное ограждение. Перед эксплуатацией ремень тщательно натерли канифолью, чтобы свести к минимуму проскальзывание, установили ограждение на расстоянии 200 мм от ремня и запустили установку. Все было хорошо до тех пор, пока генератор не набрал нужного числа оборотов. Потом с ремня на ограждение посыпались искры, и такой силы, что сталь кое-где расплавилась.

В проводниках заряды распространяются исключительно по поверхности, причем они стремятся расположиться таким образом, чтобы объем, заключенный внутри заряженной поверхности, был наибольшим. Поэтому, если попытаться зарядить металлический сосуд, то весь заряд расположится на его наружной поверхности, а внутренняя останется незаряженной. Если проводник имеет форму шара, то заряды распределяются равномерно по всей его поверхности. В этом слу-

чае можно говорить о *поверхностной плотности заряда* данного шара, которая равна величине заряда всего шара, деленной на его поверхность. Физики пользуются этим свойством проводников для получения высоких и сверхвысоких плотностей заряда в опытах с расщеплением атомных ядер. Применяемые для этих целей генераторы Ван-дер-Граафа представляют собой полые металлические шары, внутренней поверхности которых касается непрерывно заряженная пластинка. Заряды, стекающие на внутреннюю поверхность, сразу переходят на наружную, благодаря чему, подавая внутрь шара напряжение порядка 50 тыс. в, можно получить на его поверхности напряжение до нескольких миллионов вольт.

Так ведут себя твердые диэлектрики и проводники. Жидкие диэлектрики проявляют себя иначе.

Для изучения свойств жидких диэлектриков ученые воспользовались водой. Еще в конце прошлого века большую и полезную работу по изучению электризации воды проделал французский ученый Ленар. Он побывал на многих больших водопадах, исследуя электризацию воды при разбрызгивании. Опыты с распылением и разбрызгиванием воды проводились и в ванной, и в сложнейших установках, заполненных водородом. Он резал струю воды ножом, направлял ее на гладкую деревянную доску, растворял в воде соль. Он обратил внимание на то, что чистая дистиллированная вода заряжается значительно сильнее загрязненной. Распыляя воду, он обнаружил, что знак заряда существенным образом зависит от размеров капелек. Отрицательный заряд несет тонко распыленная вода с капельками размером до 80 ангстрем, крупные же капли, от 80 до 150 ангстрем, заряжены положительно. Но это только в воздухе. В водороде, например, и крупные капли тоже заряжаются отрицательно.

На основании своих опытов Ленар пытался создать теорию электризации жидкостей при распылении. Он предположил, что на поверхности жидкости имеется двойной электрический слой. Что представляет собой этот слой, Ленар не говорит. Он просто постулирует, что любая капелька жидкости завернута, как конфета, в двойную обертку: одна обертка положительная, а другая отрицательная. У воды наружный слой — отрицательные заряды, а внутренний — положительные. Ленар пишет, что у других жидкостей расположение слоев может быть обратным. Сам процесс электризации, по его словам, заключается в том, что пролетающие мимо такого двойного слоя молекулы газа или отдают ему свои электроны или вырывают их из него. В первом случае капелька воды электризуется отрицательно, во втором — положительно.

В дальнейшем исследователи в основном подтвердили выводы Ленара. Приобретение зарядов жидкостью это действи-

тельно поверхностное явление, как и говорил Ленар. Заряды накапливаются на поверхностях раздела жидкости с любыми другими материалами — твердыми, жидкими или газообразными. Фактически этот процесс представляет собой разделение зарядов, при котором ионы одного знака задерживаются на поверхности материала, с которым соприкасается жидкость, а ионы другого знака в равном количестве остаются в пограничном слое жидкости. Если жидкость течет по металлическим трубам в обычных промышленных установках, то заряды, скапливающиеся на поверхности трубы, постепенно стекают на землю, освобождая место новым. Заряды, остающиеся в пограничном слое, уносятся жидкостью. Если поток турбулентный, то ионы, составляющие электрический заряд, распределяются по всей толще жидкости.

Таким образом, заряжаются нефть и нефтепродукты при перекачке и транспортировке. Точно так же электризуются жидкие пластмассы и даже обыкновенная вода. На степень электризации жидкости влияют характер и площадь поверхности раздела, степень загрязнения жидкости посторонними включениями и скорость протекания жидкости. Это подтверждается опытными данными. Так, например, электризация жидкости при проходе через фильтры значительно сильнее, чем при проходе через насосы. В свою очередь, электризация при проходе через насосы выше, чем при протекании по свободной гладкой трубе.

Что же происходит в дальнейшем с накопленными электростатическими зарядами? Почему, как это известно многим, накопление этих зарядов приводит к катастрофическим последствиям?

ЧЕЛОВЕК — АККУМУЛЯТОР

Для статического электричества напряжение в 1000 — 2000 в считается небольшим. Н. Г. Дроздов, основываясь на многочисленных примерах, пишет, что человек, выполняя различные производственные операции или даже просто расхаживая по ковру, заряжается до десяти тысяч вольт. По другим источникам, эта цифра может достигать 15 тыс. в.

Если такой наэлектризованный человек поднесет руку к заземленному предмету, неминуемо возникнет искра. Если вы, наэлектризовавшись, просто обменяетесь рукопожатием с товарищем, он будет долго помнить ваше рукопожатие. Если же воздух насыщен парами легковоспламеняющихся веществ и вы дотронетесь до крана, то ваши друзья могут вас больше никогда не увидеть...

Ставились весьма убедительные опыты. В сухой комнате человек ходил по ворсистому ковру, нарочно шаркая ногами. После этого он переходил в кухню и подносил палец к горелке газовой плиты. Искра, проскакивающая между пальцами и горелкой, поджигала газ.

Коварный и опасный враг людей в их производственной деятельности и в быту — вот что такое статическое электричество сегодня. Конструкторы, инженеры, рабочие химических заводов, даже работники прачечных-химчисток должны об этом помнить: забывчивым и беспечным приходится расплачиваться очень дорого. От нечаянных взрывов получают увечья, а иногда и гибнут люди, выходит из строя дорогое оборудование.

Если раньше белые халаты были исключительно привилегией врачей, то теперь трудно найти производство, где нет людей в белых халатах. Это конструкторские бюро, химические лаборатории, исследовательские учреждения и даже бухгалтерии, работающие со счетно-решающими машинами.

Но есть целый ряд производств точного машиностроения и приборостроения, для которых белые полотняные халаты не подходят. Работники этих производств носят специальную форму из капрона, работают в особых помещениях без углов (чтобы не скапливалась пыль). Целый комплекс сложнейших автоматов поддерживает определенную температуру в помещениях. И вот, когда, кажется, все учтено и продумано и созданы все условия для выпуска особо сложных и капризных устройств, в дело вступает статическое электричество и отправляет в брак до 90% продукции. Так случилось на одном заводе, выпускающем полупроводниковые кристаллические детали для радиоаппаратуры. Работницы работали в чистейших капроновых халатах. От движения руками капрон электризовался, и работницы заряжались до 6—8 тыс. в. Сидели девушки по обе стороны от ленты конвейера на высоких деревянных табуретках, исключающих возможность стекания зарядов на землю. Когда такая «лейденская банка» дотрагивалась до триода, он мгновенно пробивался и становился непригоден для работы.

А домашние условия? Лавсановые свитеры, капроновые рубашки — все это служит источником статического электричества. Если добавить к этому, что миллионы людей переехали за последнее время в чистые сухие квартиры, то станет вполне понятно, почему появилась масса загадочных историй о статическом электричестве.

Девушка сидит по-турецки на тахте и томно жалуется на то, что она не может гладить кошек. С ее рук так и сыплются искры. А дело-то не в ней, а в кошке. Кошачья шерсть очень хороший диэлектрик, и если потереть ее сухой рукой, на ней скапливаются заряды в несколько тысяч вольт. Кошки заслу-

жили такую плохую репутацию, что с некоторых пор их перестали пускать во взрывоопасные помещения.

В журнале «Знание—сила» (1964, № 6) описан курьезный случай, когда девушка, доведенная до отчаяния, подала заявление об уходе с очень интересной работы. В мотивировке ухода было написано, что она «почему-то накапливает статическое электричество». Для выяснения обстоятельств этого дела была создана целая комиссия. Комиссия установила, что воздух в лаборатории чистый и сухой, а девушка работает в капроновом халате. Из деликатной беседы с голубоглазым громовержцем было выяснено, что она предпочитает платья и белье из капрона или искусственного шелка. И вот друзья перестали здороваться с ней за руку, а ей самой любые прикосновения к заземленным предметам приносили чувствительные удары. Самые болезненные удары она получала тогда, когда, нарезав парафин, переносила его на железный столик. Ей приходилось это делать довольно часто.

Решение комиссии было «суровым». Девушку из громовержцев разжаловать, установив в лаборатории обыкновенный увлажнитель!

Об электризации людей можно рассказывать без конца. Причем самыми удивительными будут рассказы, в которых нет ни капли вымысла. В то же время механизм электризации человеческого тела довольно прост. Тело человека — хороший проводник. Если этот проводник окружен заряженным диэлектриком — чистой и сухой капроновой или шелковой одеждой, он становится обкладкой конденсатора. От движений наружный диэлектрик непрерывно заряжается.

Заряд на теле может скапливаться не только от одежды, но и переходить с заряженных предметов в процессе производственных операций. Люди заряжаются при работе с диэлектриками очень часто. Но бывает, что летчик выпрыгивает из самолета и получает сильный удар тока. Зная это, обычно перед выходом летчики выбрасывают на землю груз на тоненьком тросике. Другой конец троса прикреплен к обшивке самолета. Электризация самолета — явление более сложное, чем электризация автомобилей в пустыне, поэтому статическому электричеству в авиации посвящена отдельная глава.

СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО В АВИАЦИИ

В конце двадцатых годов было обнаружено, что разряды, вызванные статическим электричеством, сильно затрудняют прием радиопередач на самолетах. К этому времени можно отнести начало планомерной борьбы в авиации со статическим электричеством. Борьба эта идет и по сей день — упорная и неравная, причем слабейшим в этой борьбе являет-

ся человек. Наука еще не может предусмотреть появление статического электричества в работающей установке или узле. Мало того, агрегаты перед установкой на самолет или ракету тщательнейшим образом проверяют на прочность, на виброперегрузки, на работу в вакууме и в условиях интенсивного солнечного облучения, но ни одна установка не проверяется сейчас на статическое электричество! И люди узнают о его существовании по авариям, пожарам и катастрофам. Потерпев поражение в одном месте, люди принимают меры к тому, чтобы авария не повторилась, она и не повторяется, зато происходит новая авария, не имевшая никаких аналогов.

К 1930 году стали известны некоторые причины, вызывающие разряды статического электричества на самолете и мешающие радиоприему. Замечено было, например, что особо интенсивные помехи проявляются с января по май, т. е. когда больше всего снега. Позднее установили, что интенсивность накопления статических зарядов пропорциональна кубу скорости самолета. Было отмечено, что различные части самолета электризуются по-разному, и между поверхностями с разными потенциалами проскакивают искры. Поэтому конструкторы тщательно соединяют между собой все металлические части самолета медными проводниками. Этот прием называется металлизацией самолета. Таким образом, самолет представляет собой единое электрическое целое.

Но этого оказывается мало. Атмосферные радиопомехи вызываются тем, что на частях самолета с острой конфигурацией образуются поверхностные заряды значительной плотности, около самолета создается электрическое поле большой интенсивности. По последним данным, самолет может получить заряд в полете от двух причин. Первая — непосредственное действие капелек, снежинок или градинок на обшивку самолета, т. е. электризация трением, и вторая — электростатическая индукция при полете вблизи грозовых туч или заряженных облаков.

Много несчастных случаев во время второй мировой войны происходило в результате уничтожения радиосвязи атмосферными радиопомехами и неправильного поведения летно-навигационных приборов. Но самые большие неприятности на самолетах, связанные со статическим электричеством, возникают из-за топлива.

...С давних времен голландцы были купцами, что называется, мирового масштаба. Они скупали русский лен, пеньку, меха, мед и продавали их англичанам и французам. В Литву и Польшу они везли английское железо, а с берегов Балтики увозили янтарь. Голландия, эта маленькая страна, которая вывозила на мировой рынок очень мало товаров собственного производства, стала одним из главных посредников между крупными промышленниками и сырьевыми цен-

трами мира. Издавна занимаются голландцы и перевозкой нефти и нефтепродуктов. И наибольшее число аварий и происшествий, связанных со статическим электричеством, отмечено на нефтеналивных судах Голландии. Недаром в Амстердаме фирма «Шелл» оборудовала по последнему слову техники лабораторию для изучения причин возникновения статического электричества и борьбы с ним.

Сотрудники этой лаборатории провели значительные теоретические исследования, собрали большой экспериментальный материал. Когда в 1955—1958 годах по всему миру прокатилась волна загадочных авиационных катастроф, лабораториям фирмы «Шелл» в Амстердаме и в Торонто были даны указания провести исследования на стендах, имитирующих поведение топлива в самолете.

В наши дни самолеты несут на себе многие сотни литров бензина. За границей даже созданы проекты цельноналивных самолетов, у которых оболочка является стенкой бака. Кабина и двигатели приставляются к такому летающему баку снаружи. Топливо в самолете не остается в одном положении. Оно перекачивается, фильтруется, разбрызгивается и тем самым электризуется. Кроме того, при интенсивной прокачке по трубам при заправке топливо попадает в самолет уже заряженным.

В 1959 году в большинстве крупнейших зарубежных аэропортов была введена централизованная заправка. Топливо и заправочное оборудование поставляли несколько объединившихся американских, западно-германских и английских фирм. Были разработаны специальные насосы высокой производительности и стационарные цистерны большой емкости. Гордостью объединения были фильтры тонкой очистки топлива. Ими действительно можно было гордиться: изготовленные из волокнистых пластиков, дешевые, с колоссальной пропускной способностью (3—4 тысячи литров в минуту), они великолепно очищали керосин.

Сам процесс заправки был детально продуман. Топливо подавали сразу в несколько баков, и заправка большого пассажирского лайнера занимала не более 10—15 минут. Казалось, все предусмотрено до мельчайших подробностей, но самолеты стали загораться. И как раз в момент заправки.

В амстердамском филиале фирмы «Шелл» были проведены натуральные испытания на стенде, который полностью соответствовал крыльевым бакам самолета. Ученые довольно быстро указали на истинного виновника пожаров — патентованный фильтр тонкой очистки топлива. Мы уже говорили о поверхностном характере зарядки жидких диэлектриков. Волокнистая структура означала сильно развитую поверхность, а это вместе с высокой скоростью прокачки приводило к сильнейшей электризации топлива. Вследствие очень маленькой

проводимости заряды не успевали стекать через стенки баков на землю. Возникали гигантские потенциалы в 300—400 тысяч вольт на метр. Между потолком бака и поверхностью топлива возникали роковые разряды.

Просто удивительно, как часто люди открывают то, что уже давным давно открыто! В 1949 году вышла в свет монография Н. Г. Дроздова «Статическое электричество в промышленности». В ней черным по белому сказано, что единственно правильный путь борьбы с электризацией топлива заключается в повышении его электропроводности искусственным путем. Необходимо помогать зарядам как можно быстрее стекать к стенкам баков, а с них на землю. К этому выводу Н. Г. Дроздов пришел еще в те времена, когда основным автомобильным топливом был газолин. В той же книге он пишет: «...Можно указать путь уничтожения электризации...— путем добавления в бензин магниевых солей жирных кислот (в частности олеиновой) в небольшом количестве (около 0,05%). Этот принцип был неоднократно использован в практических установках; в жидкость, которая электризуется при той или иной операции, добавлялось какое-либо вещество, значительно увеличивающее ее проводимость в растворе (алкоголь, уксусная кислота и др.)». В 1960 году Бруинзель с радостью первооткрывателя снова рекомендует увеличить проводимость авиационного топлива, как средство борьбы с его электризацией. Он старательно рекламирует препарат, разработанный амстердамским отделением фирмы «Шелл», повышающий проводимость топлива в 10—20 раз. Препарат запатентован, его состав фирма тщательно скрывает. Еще бы, ведь достаточно добавить в топливо 0,05% этого состава и топливо перестает электризоваться.

Теперь у заправщиков имеется прибор, который позволяет определять величину и знак заряда в прокачиваемом топливе и одновременно показывает количество топлива, которое через него проходит. Несомненно, такой прибор найдет применение не только в авиации, но и на заправочных станциях, нефтебазах и даже на крупных нефтеналивных судах.

Однажды группа инженеров вела интересную работу по определению возможности накопления электростатических зарядов на крыльчатках электроприводных авиационных насосов. Эти насосы стоят в промежуточных баках самолета и перекачивают топливо в центральный бак, а оттуда непосредственно к двигателю. Они приводятся во вращение электродвигателями постоянного тока. Весь агрегат устанавливается внутри бака под герметизированным колпаком.

И вот, при разборе уже отработавшего свой ресурс агрегата, было обнаружено, что внутренняя сторона сетки, прикрывавшей вход в насос, покрыта каким-то налетом. Сетку отдали на исследование химикам. Результат был неожидан-

ный — на внутренней поверхности сетки оказалась сажа от сгоревшего топлива. Как это могло случиться? Кто поджег топливо внутри насоса?

На техническом совещании специалисты высказали следующее предположение. Крыльчатка насоса при трении о топливо-диэлектрик сильно электризуется. Этому способствует загустевшая от холода смазка в подшипниках агрегата. Шарик обволакивается масляной пленкой, и ротор агрегата оказывается изолированным от корпуса. На роторе начинают скапливаться статические заряды. Время от времени от биелия или от осевых усилий шарик подшипников касается одновременно обеих обоей, и тогда происходит частичный разряд, но затем заряды снова накапливаются на роторе.

Теперь представьте себе положение, когда топливо из промежуточного бака выработано почти полностью. Насос гонит по трубам уже не топливо, а паровоздушную смесь. Остатки топлива интенсивно разбрызгиваются крыльчаткой, и электризация идет значительно сильнее. Если в этот момент между наэлектризованной крыльчаткой и горловиной насоса возникнет разность потенциалов, которая способна пробить зазор между ними, то пожар неминуем. К тому же, величина зазора колеблется в пределах между 0,1 мм и 0,5 мм. Эта гипотеза подверглась в дальнейшем проверке. Сейчас пока трудно говорить об окончательных результатах; абсолютно надежные результаты получены только в опытах, доказывающих электризацию крыльчатки при работе. Величины зарядов колеблются в очень широких пределах. Закономерности в поведении заряжающихся роторов установить пока тоже не удалось. Но можно с уверенностью сказать, что исследования увенчаются успехами.

Растут скорости, увеличивается мощность двигателей. Самолеты уже сейчас летают на таких высотах, где воздух в значительной степени ионизирован солнечными лучами. Летчики не раз наблюдали, как с металлических частей кабины, антенн, консолей крыльев серебристыми змейками стекали голубоватые огоньки. Возможно, что это просто красивое зрелище, которое никому не принесет вреда, но кто может за это поручиться? Кто может с уверенностью сказать, что эти серебристо-голубые змейки статического электричества не приведут к новым тяжелым катастрофам?

Солнечное утро 14 апреля 1964 года, мыс Кеннеди. На последнюю ступень ракеты-носителя устанавливается орбитальная солнечная обсерватория В (OSO). Установка требует особой точности, поэтому все вспомогательные механизмы отключены. Сам стенд тоже отключен, так, на всякий случай, ведь последняя ступень уже заправлена топливом. Последняя ступень — это ракета на твердом топливе с двигателем РДТТ X-248. Стенд отключая — кто знает, ведь твердое топли-

во это даже не порох, а нечто посерьезнее Правда, многочисленные исследования доказали его малую чувствительность к ударам и все же присутствующие в зале предельно осторожны.

Но вот обсерватория установлена, и все подходят ближе — нужно закрепить, присоединить, проверить. О том, что произошло в следующее мгновение, рассказано в акте комиссии, прибывшей на место катастрофы: «Во время установки орбитальной солнечной обсерватории В (OSO) двигатель последней ступени ракеты-носителя внезапно включился. Установка оторвалась от стенда, пробила потолок... Одиннадцать человек получили ожоги, двое из них — смертельные... Наиболее вероятной причиной аварии является разряд статического электричества, воспламенивший топливо.. До устранения причин аварии — накопления статического электричества установку двигателя РДТТ Х-248 на третьей ступени ракеты «Тор Дельта» и четвертой ступени ракеты «Скаут» временно прекратить...».

БОРЬБА СО СТАТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ

Многочисленные проявления статического электричества вызывают значительные трудности в производственных процессах, часто угрожают здоровью и жизни людей. Накопившиеся заряды создают вокруг себя электрические поля различной напряженности. В тех местах, где напряженность электростатического поля достигает некоторой определенной для данной среды величины, заряды начинают самопроизвольно стекать. Иногда стекание зарядов носит спокойный характер, как на нейтрализаторах, но очень часто заряды образуются в местах, не предусмотренных для их скопления. Тогда стекание зарядов сопровождается сильными искрами или другими явлениями, вызывающими пожары, взрывы установок и целых цехов, увечья и жертвы.

Статическое электричество проявляется самым необычным образом, но основные формы его проявления можно до некоторой степени систематизировать и разделить на две основные группы явлений. Они будут рассмотрены в порядке степени их вреда.

Явления, связанные с искровыми и коронными зарядами. Вредное действие статических разрядов проявляется в нескольких направлениях. Первое и самое главное — возникновение воспламеняющих искр. Но искровой разряд опасен не только пожарами и взрывами. Часто случается, что искра проскакивает между заряженной частью машины и проходящим мимо человеком. Сам по себе такой разряд может принести много вреда — болезненные ожоги, травмы, удары и просто испуг и боль. Но бывает, что, прикос-

нувшись к заряженной детали, человек, получив удар, резко отстраняется от нее, что может привести к более тяжелым увечьям, если это происходит вблизи работающей машины. Такие случаи бывают в тех механических цехах, где еще сохранилось много трансмиссионных передач.

Искровые и коронные разряды, возникающие в непредусмотренных для них местах, представляют еще одну серьезную опасность. Они могут частично или даже полностью нарушить радиосвязь, исказить показания электрических приборов.

Электростатическое поле в установках и оборудовании. С этими явлениями особенно часто приходится сталкиваться работникам полиграфической и текстильной промышленности, а в последнее время — химикам. У текстильщиков и полиграфистов наэлектризованные тела начинают притягивать к себе мелкие нити, ворсинки, кусочки бумаги. Отдельные куски бумаги слипаются и рвутся при разделении, а нитки получаются разной толщины. В полиграфической промышленности имели место случаи, когда до 10—15 процентов готовой продукции уходило в брак исключительно по вине статического электричества.

В текстильной промышленности дело обстоит еще хуже. Здесь заряды вызывают взаимное отталкивание одноименно заряженных нитей. Кроме того, заряженная ткань или пряжа притягивает к себе легкие мелкие предметы и тем самым загрязняется. Появление синтетических волокон с более высокими диэлектрическими свойствами, чем у природных или целлюлозных волокон, а также общий прогресс техники, приведший к значительному увеличению скоростей прядения, сучения и снования, сделали проблему борьбы со статическим электричеством чрезвычайно актуальной.

Электризации волокон в текстильной промышленности посвящена довольно обширная литература, в которой высказываются различные взгляды на возникновение статических зарядов. Кроме трения и разрыва волокон, наблюдается даже пьезоэлектрический эффект. Так, например, чешским исследователям удалось наблюдать, как при растяжении ацетатных волокон на них сразу же возникают отрицательные заряды, которые постепенно уменьшаются, а при более сильном натяжении заменяются положительными. Измерение электрического сопротивления волокон показало, что интенсивность электризации возрастает с увеличением сопротивления.

В химической промышленности статическое электричество часто играет роль катализатора побочных процессов, нарушающих течение главного процесса. Кроме того, возникающий при разрядах озон является сильнейшим окислителем и доставляет массу хлопот.

С некоторой натяжкой к химическим явлениям, вызванным электростатическим полем, можно отнести «старение»

смазочных масел и изъязвление подшипников. Эти явления, правда, связаны больше с возникновением искры, которая ведет себя не как поджигатель, а как разрушитель.

Где же та грань, за которой напряжение перестает быть опасным и разряд не сможет вызвать пожар или взрыв?

Мнения ученых на этот счет расходятся. Учебник физики для десятого класса категорически утверждает, что напряжение для возникновения искры в воздухе должно быть не ниже 341 в. Н. Г. Дроздов тоже называет цифру около 300 в. Ряд зарубежных ученых называют более низкую цифру. Хойдельберг и Шён считают, что для воспламенения смеси пропана с воздухом совсем не нужно искры. Эту смесь может зажечь коронный разряд. По данным этих авторов, для его возникновения необходим потенциал тоже около 300 в. Но они сейчас же оговариваются, что даже напряжение в 100 в нельзя назвать безопасным при всех обстоятельствах. Эти ученые участвовали в расследовании тяжелой катастрофы в Битбурге в 1954 г. Громадное подземное топлиохранилище взорвалось при демонстрации работы противопожарного оборудования с углекислым газом. Как оказалось, виновником катастрофы явились маленькие искорки, которые проскакивали в облаках смеси, состоящей из газообразной среды (воздуха) и твердых частичек углекислого газа.

Тем не менее, чтобы быть достаточно мощными и вызвать воспламенение горючей смеси воздуха и паров топлива, разряды, даже если они принимают форму искровых, должны еще обладать и достаточной энергией, которую они должны сообщить газу для начала процесса горения. Люис и фон Эльбе приводят данные о минимальном содержании энергии, требующейся для воспламенения горючего газа при различных конфигурациях электродов. Они пришли к парадоксальному выводу: определенное количество энергии само по себе не является достаточным критерием для оценки способности заряда зажечь горючий газ. Слабенькая искра, говорят они, с энергией в несколько десятых миллиджоуля, может воспламенить газ в ограниченном объеме, в то время как гораздо более мощные искры не в состоянии сделать это. Неспособность более мощных искр вызвать пожар, возможно, объясняется чрезвычайно быстрым турбулентным истечением тепла из центра искры наружу — настолько быстрым, что газ не успевает воспламениться. Более точных данных об опытах с длинными искрами не имеется. Бруинзель, например, пишет, что погонная энергия, т. е. энергия на единицу длины, может служить некоторым определяющим критерием. Он сейчас же оговаривается, что допускает это положение исключительно интуитивно. Бруинзель считает, что для возникновения лавинного потока зарядов, ведущего к искровому разряду, необходима средняя напряженность поля в 400—500 в.

Однако большинство ученых сходится на мысли, что энергосодержание возникающей искры может служить критерием ее пожаро- и взрывоопасности. По мнению чешских ученых Старобы и Шиморды, причиной взрыва могут быть искры низкого напряжения в 10—40 в, возникающие при разрыве цепи.

По данным этих авторов составлена следующая таблица, в которой дана минимальная энергия электрических искр (в миллиджоулях) для воспламенения взрывчатых смесей паров, жидкостей и взрывоопасных пылей в воздухе.

Жидкости	Пыли
Сероуглерод 0,2	Магnezия 25
Этиловый эфир 0,45	Алюминий 50
Метиловый спирт 0,5	Цинк 100
Бутиловый спирт и ацетон 0,6	Ферромарганец 250
Бензол 0,1	Кварц 2500
Диэтиловый спирт 1,5	
Этан, пропан, бутан 5,0	
Сероводород 7,0	

Сказанного выше вполне достаточно, чтобы оценить ту грозную опасность, которую представляет статическое электричество. И люди научились с ней бороться. В зависимости от тех или иных условий и различных требований безопасности принимается ряд мер, сводящихся к следующему.

Во-первых, стремятся допустить образование электростатических зарядов в процессе производства. Во-вторых, стараются отводить образующиеся заряды так, чтобы разность потенциалов не превышала допустимую для данного производства. В-третьих, предотвращают вредные последствия статического электричества, применяя негорючие материалы или изменяя технологию.

На практике, однако, не все эти меры возможны. Полностью предотвратить появление зарядов в процессе производства обычно не удастся. Речь может идти только о частичном ослаблении электризации путем изменения технологии, введением присадок, увлажнением.

Самый действенный и поэтому самый распространенный— это второй путь — предотвращение накопления такого количества зарядов, которое может вызвать искру или какие-нибудь другие нежелательные явления.

Третий путь, как и первый, не получил достаточного распространения; он часто требует значительных дополнительных затрат и не дает уверенности в том, что присутствующее в установке статическое электричество не проявит себя.

Основным и универсальным методом устранения или уменьшения опасности накопления электростатических зарядов является заземление установок. Если электризующиеся части установки сделаны из металла, то достаточно присоединить все металлические части к общему заземляющему проводнику. Однако заземление не решает всех электростатических проблем, как думают многие. Этот метод, пригодный для проводящих материалов, полностью непригоден для изоляторов. Как ни заземляй шкивы ременных передач, заряды все равно будут скапливаться на ремнях со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Для действенного разряда диэлектриков разработаны другие способы: увеличение поверхностной проводимости, ионизация окружающей среды, установка специальных приборов — нейтрализаторов. Различные способы борьбы с электризацией применяются для жидких и твердых диэлектриков. Если жидкий диэлектрик накапливает заряд во всем объеме, то электризация твердых диэлектриков в основном носит поверхностный характер, и заряды более или менее связаны в местах их возникновения. Увеличение поверхностной проводимости диэлектрика может дать хорошие результаты.

Расскажем о двух основных способах увеличения поверхностной проводимости диэлектриков — об увеличении относительной влажности воздуха и химической обработке поверхности.

Сразу оговоримся, что присутствие в воздухе паров воды не сообщает ему проводимости, как это кажется на первый взгляд. Воздух ведет себя как хороший изолятор и при высокой относительной влажности. Заряды с электризующегося диэлектрика стекают не через воздух, а через тончайшую пленку влаги, адсорбированную на поверхности данного изолятора. Эта пленка обычно содержит достаточное количество ионов из загрязнений и растворенного вещества, поэтому она всегда проводит электричество. Если же температура материала слишком высока для сохранения пленки, то поверхность не может стать токопроводимой даже при очень высокой относительной влажности воздуха; поэтому мнение, что электрические заряды выравниваются самой влажной атмосферой, является ошибочным. Именно потому и нельзя с абсолютной уверенностью назвать такую влажность, при которой не происходит электризации, так как образование токопроводящей пленки на изоляторе зависит от увлажняемости материала температуры, интенсивности обдува и т. д. Такие материалы как, например, орлон, при относительной влажности воздуха 65% содержат только 0,5% воды. Понятно, что увлажнение атмосферы в этом случае не дает желаемых результатов.

Но при распылении воды в помещении приходится иметь в виду, что капельки воды при определенных условиях элек-

тризуются, как об этом было сказано выше, и это может привести к более интенсивной электризации, а не к ее предотвращению. Точно так же возможно образование электрических зарядов при вытекании пара из форсунки. Здесь заряды возникают из-за быстрого изменения агрегатного состояния пара.

Тем не менее к увеличению относительной влажности воздуха как к средству борьбы со статическим электричеством прибегают довольно часто и небезуспешно. Однако более надежные результаты дает другой метод — химическая обработка поверхности диэлектрика.

В последнее время этот метод получает широкое распространение в производстве керамики и пластических масс. Электризирующийся изолятор обрабатывают так, чтобы на его поверхности образовалась пленка с временно или постоянно повышенной проводимостью.

По механизму образования проводимой пленки покрытия можно разделить на две группы:

1) гигроскопические покрытия, которые интенсивно забирают воду из окружающей атмосферы и адсорбируют ее тонкой пленкой на поверхности диэлектрика, увеличивая ее проводимость;

2) токопроводящие покрытия, выполненные из проводящих материалов; они обеспечивают нормальную работу при высоких температурах и значительно надежнее первых.

Покрытия первой группы используют в основном в текстильной и реже в полиграфической промышленности. Здесь, кроме выработки тканей, эти антистатические покрытия, или примеси, применяют и для готовых изделий. Наносят их чаще всего опрыскивателем. Таким способом изготавливают, например, полистиреновые оболочки или обои из пластической кожи и т. д. Для этой цели используются растворы органических гигроскопических солей, жирные спирты и кислоты с крупными молекулами, сапониты и некоторые ионогенные и катионоактивные текстильные примеси. Все эти вещества, оставаясь на поверхности волокон, значительно увеличивают их гигроскопичность и способствуют образованию и удержанию токопроводящей поверхностной пленки.

Вторая группа покрытий находит применение почти во всех областях техники, включая авиацию. Причем, их применение часто приводит к самым неожиданным эффектам.

Так, например, было замечено, что при транспортировке муки сильно электризовались стеклянные трубопроводы. Были проведены эксперименты по распылению на стекле некоторых металлов, а также окиси олова. В результате получили стекло с токопроводящей поверхностной пленкой, которое пришлось по душе... самолетостроителям. Такое стекло не требует специальных антиобледенительных устройств. Достаточно

но подать к нему напряжение, и по поверхностной пленке стекла потечет ток. Стекло нагреется и очистится от льда.

Аналогичное применение нашла токопроводящая резина. Ею сейчас покрывают передние кромки крыльев самолетов. Когда возникает опасность обледенения, пилот включает тумблер и через резину течет ток. А для того чтобы сделать резину токопроводящей, в нее просто добавляют угольный порошок. На покрытиях из угольного порошка необходимо остановиться более подробно. Коллоидный углерод, распыленный в водной или спиртовой среде, можно применить почти для любых поверхностей. Получается пленка с небольшим удельным поверхностным сопротивлением. Хорошие результаты дает также мелко распыленный углерод с размером частиц меньше 1 микрона. Его можно распылить в краске, в масле или в синтетической смоле. При этом соответственно получаются токопроводящая краска, смазка или синтетическая токопроводящая краска, которую можно обжигать.

Интересным методом уменьшения поверхностного сопротивления фарфора является покрытие его поверхности токопроводящей глазурью. Состав этих глазурей почти не отличается от состава обыкновенных глазурей, но содержит значительно больше окислов железа, цинка и хрома, которые и делают глазурь проводящей. В результате поверхностное сопротивление фарфора снижается примерно в миллион раз.

Здесь уместно рассказать еще об одном очень остроумном способе борьбы со статическим электричеством. Этот способ заключается в подведении к электризирующемуся телу зарядов противоположного знака. Применяется он в текстильной промышленности и не требует сложных устройств. Все происходит очень просто. Если нить заряжается, скажем, отрицательно, ее сейчас же нужно заставить соприкоснуться с телом, от трения с которым на нити образуются заряды противоположного знака. Именно из этих соображений водители волокон на ткацких станках делают обычно из стекла или стали.

Часто всех перечисленных мер борьбы с электростатическими зарядами оказывается недостаточно, и людям приходится использовать специальные приборы.

АНТИСТАТЫ, ИЛИ НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ

В разных странах и на различных производствах эти установки носят разные названия. На наш взгляд, лучше всего называть их нейтрализаторами или антистатами. Назначение этих приборов ионизировать воздух вокруг заряжающихся тел, образовывать в заданном объеме пространства необходимое количество ионов. Заряды материала, имеющие противоположную ионам полярность, нейтрализуются,

По способу создания ионов антистаты делятся на две большие группы. Нейтрализаторы первой группы образуют ионы путем воздействия на воздух электростатического поля высокого напряжения; к другой группе относятся антистаты, создающие ионизацию с помощью радиоактивного излучения. В свою очередь, каждая группа делится на ряд подгрупп.

Антистаты, работающие по принципу создания ионов путем воздействия на окружающий воздух сильного электростатического поля, являются более простыми и дешевыми, чем антистаты второй группы. Их делят на антистаты индукционные (с остриями и проволочные) и антистаты с высоким напряжением (высоочастотным, переменным и постоянным).

Индукционные антистаты внешне похожи на гребенки или щетки. Они состоят из несущей части, на которой укреплены заземленные острия, мишура, листочки станиоля или пучки тонкой проволоки. Такая «гребенка» своими зубцами обращена к заряженному предмету. Благодаря резкому искривлению поверхности интенсивность поля на остриях или заостренных ребрах очень велика и вызывает ударную ионизацию воздуха. Подводить энергию к антистату в данном случае нет необходимости; в установке используется потенциал электрического поля заряженного предмета. Кроме простоты конструкции подобные устройства обладают еще одним ценным свойством — некоторым автоматизмом. При увеличении количества зарядов на защищаемом предмете усиливается электростатическое поле, вызывая повышенную интенсивность ионизации воздуха, который быстрее нейтрализует заряды.

К недостаткам этих антистатов можно отнести то, что они начинают действовать только при достижении некоторой начальной критической напряженности. Величина ее зависит от размеров острия, электрической емкости антистата по отношению к заряженному предмету и его размещения. Идеальный индукционный антистат должен иметь заземленные и изолированные друг от друга острия минимального диаметра, максимально удаленные от держателей, но эти требования снижают механическую прочность изделия и, естественно, его срок службы. Поэтому у применяемых в промышленных установках антистатов величина начальной критической напряженности обычно превышает 3—3,5 Мв/м.

Одной из удачных конструкций является французский нейтрализатор «Parastatique», который выпускают серийно. Он состоит из гребня соединенных друг с другом тонких стержней. Провод, соединяющий стержни, подходит к газосветной трубке. Другой конец трубки присоединяется к заземляющему винту. Все устройство выполнено очень компактно, в кожухе, по сторонам которого имеются приспособления для крепления. Работа устройства контролируется по свечению газосветной

трубки, в которой под действием высокого потенциала ионизируется газ.

Установки, у которых активной частью является натянутая проволока, называются проволочными индукционными антистатами. В отличие от антистатов с остриями, их активная часть имеет более ровную поверхность; следовательно, такому прибору для начала работы необходим более высокий потенциал. Так, например, наличие ионизационного тока на антистате с остриями наблюдалось уже при разности потенциалов 2—2,5 кв. Нейтрализаторы с проволокой диаметром 0,11 мм начинают работать примерно при 5 кв, с проволокой диаметром 0,2 мм — при 6 кв и с проволокой диаметром 0,45 мм — при 12 кв.

Однако все недостатки окупаются простотой проволочного антистата. Он представляет собой заземленную проволоку, вытянутую поперек хода ленты электризуемого материала. Такие устройства часто применяются для нейтрализации конвейерных лент, в текстильной и бумажной промышленности. Правда, стремление сделать приборы из проволоки возможно меньшего диаметра часто снижает их надежность — проволока может оторваться.

Недостаток индукционных антистатов, заключающийся в необходимости очень высокого потенциала, устранен в нейтрализаторах с высоким напряжением. Эти устройства более дороги и сложны, они требуют дополнительных источников питания и специальных устройств, обеспечивающих безопасность обслуживающего персонала. Кроме того, энергия искр, возникающих в самом антистате, чрезвычайно велика и может явиться причиной пожара или взрыва в воздухе с повышенным содержанием горючих паров или взрывоопасных пылей. Правда, в этом направлении были проведены некоторые исследовательские работы, что позволило изготовителям подобных устройств рекламировать свой товар как совершенно безопасный во взрывчатых средах. Однако специалисты относятся к таким утверждениям скептически.

По конструкции антистаты с высоким напряжением представляют собой отдельные электроды-ионизаторы, соединенные с источниками питания. Источники питания могут быть индивидуальными или групповыми (например, нейтрализатор английской фирмы The Record Electrical). В первом случае антистат устанавливается непосредственно на машине, во втором — поблизости от групп машин (он имеет несколько электродов). Наиболее сложными и дорогими в этой группе являются высокочастотные антистаты. Но они самые эффективные и безопасные. Самыми распространенными и удобными можно считать шведские антистаты типа «Согопа» и швейцарские антистаты типа «Rototron».

Если напряжение ионизации в антистатах с постоянным

или переменным (50 гц) напряжением по целому ряду причин, главная из которых — безопасность обслуживающего персонала, не превышает 7,5—12 кв, то высокочастотные антистаты рассчитаны на напряжение 75 кв и выше. Ток высокой частоты (40—60 кгц) такого напряжения безопасен для человека, а ионизационная способность установки во много раз выше.

В отличие от индукционных антистатов, нейтрализаторы с высоким напряжением начинают работать независимо от потенциала защищаемого предмета и могут его разряжать теоретически до нуля. Так, исследуя антистаты этой группы, чешские ученые Скароба и Шиморда не смогли определить напряжение, при котором через установку начинает протекать ионизационный ток.

Принцип действия радиоактивных антистатов несложен. Эти устройства довольно просты в изготовлении, абсолютно безопасны при эксплуатации даже во взрывоопасных средах, но довольно дороги. В них используется фольга или кристаллы солей радиоактивных элементов (в зависимости от назначения берут различные металлы и их соединения). Так, например, для создания ионизации большой плотности в малом объеме используются соединения RaC или Po-210. При распаде этих элементов наблюдается довольно интенсивное альфа-излучение. Обладая высокой скоростью и сравнительно большой массой, альфа-частицы позволяют получать до 10^4 ионов на 1 см^3 воздуха. Правда, такая плотность может быть достигнута не далее чем в 3—5 см от ионизатора. Но в малой проникающей способности альфа-частиц кроется главное их преимущество: они совершенно безвредны для обслуживающего персонала. Для их экранировки достаточно листа бумаги.

Если же необходимо создать более разреженный поток ионов, но в большем объеме, пользуются другим видом излучения — бета-частицами. Сами бета-лучи представляют собой электроны, разогнанные до скоростей, близких к скорости света. Имея в несколько тысяч раз меньшую массу, чем альфа-частицы, они, благодаря своей колоссальной скорости, обладают примерно эквивалентной им ионизирующей способностью. Правда, электроны легче и быстрее, поэтому они разлетаются дальше. Они создают такое же количество ионов, но в гораздо большем объеме: для альфа-частиц расстояние, на котором происходит ионизация, не превышает 8—10 см, а для бета-лучей эта дистанция увеличивается до 100—150 см. Для получения бета-частиц в антистатах обычно используется стронций-90. Эти антистаты применяют редко, так как бета-лучи обладают меньшей ионизирующей способностью и опасны,

СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО СЛУЖИТ ЛЮДЯМ

Москва. Завод малолитражных автомобилей. На этом предприятии статическое электричество работает и, как утверждают специалисты, совсем неплохо. С его помощью здесь покрывают краской детали. Происходит это следующим образом. Деталь сложной конфигурации устанавливается на столе. Над столом располагается распылитель краски, отличающийся от обычного тем, что он сообщает отдельным каплям электростатический заряд. Для этого к нему присоединяется один полюс высоковольтного электростатического генератора. Другой полюс присоединяется к детали. Вот и все. А скорость окраски в несколько раз выше, чем в обычных распылительных камерах. Расход краски снижается в 2,5 раза, так как вся краска переходит с распылителя на деталь, не разлетаясь по воздуху и не осаждаясь на стенках камеры.

Качество покрытия безупречно: капельки краски под действием электростатического поля оседают равномерно, без натеков, не оставляя непрокрашенных мест. Толщину покрытия контролируют по току генератора.

Таким способом на промышленных предприятиях, у нас и за рубежом, получают тончайшие пленочные покрытия из различных материалов. Причем покрытия удается наносить на детали такой сложной формы, которую другим способом покрасить не удастся. Если читателю нужен пример, то пусть он попробует покрасить радиатор парового отопления в собственной квартире. А ведь форма радиатора, с точки зрения инженера или рабочего, одна из самых простых.

Другие промышленные способы нанесения лакокрасочных покрытий — окраска окунанием и окраска с помощью пневматических распылителей — приводят к громадному перерасходу материалов. По самой технологии здесь неизбежны натеки, непрокрашенные места и другие дефекты, вызываемые неравномерным распределением покрытия на поверхности.

Метод окраски деталей в электростатическом поле хорошо зарекомендовал себя в промышленности. На этом же принципе основано нанесение текстильного настига определенной длины на различные предметы — подарочные коробки, футляры, обложки альбомов. Только заряды сообщаются не каплям краски, а ворсинкам. Заряд другого знака подается на обложку альбома, покрытую клеем. Если клей покрывает обложку не целиком, а в виде какого-нибудь рисунка, то после выключения напряжения ворсинки останутся только там, где был клей, а остальные отпадут.

Следующий пример — притягивание заряженных частиц краски в типографском производстве, когда отпадает необходимость соприкосновения валиков с бумагой. Прямо с рулона бумага попадает на ведущие ролики, к которым подведен по-

ложительный полюс источника постоянного тока высокого напряжения. Над роликами, на небольшом расстоянии от бумаги, размещены типографские валики, соединенные со вторым полюсом источника питания. На валиках находятся соответствующие клише для отдельных красок. За рубежом сконструирована промышленная установка для трехцветной печати, у которой три таких валика расположены последовательно друг за другом. Скорости перемещения бумаги и вращения валиков строго синхронизированы. Отдельные краски наносятся друг за другом, даже если предыдущая еще не высохла. Под действием электростатического поля частицы краски с клише отрываются и переходят на бумагу. Четкость изображения легко регулируется изменением расстояния от бумаги до валика (обычно от 0,01 до 0,001 мм).

Но, пожалуй, самое большое распространение статическое электричество получило в измерительной технике. От простейшей сигнальной лампочки тлеющего разряда до сложнейших электростатических вольтметров, от датчиков уровня жидких и сыпучих неэлектропроводных тел до высокочувствительных измерителей слабых постоянных токов и больших сопротивлений — вот диапазоны использования электростатики.

Хочется привести очень интересный, но малоизвестный пример практического применения измерителей, построенных на использовании свойств статического электричества. Английский ученый Томас заметил, что электрический заряд, приобретаемый потоком мелких частиц угля при столкновении с металлической поверхностью, зависит от степени окисления.

Точное определение степени окисления угля очень важно как средство модификации физических и химических его свойств. Поверхность угля может адсорбировать около 1 процента кислорода. Степень окисления можно изменить или полностью восстановить уголь, спекая его в карбонизаторе. Исследованием карбонизации или химическим анализом обычно и определялась степень окисления угля. Но на это требуется время, а для контроля промышленных окислительных установок необходимо быстрое указание на отклонение от нормы для введения соответствующих поправок.

И Томас предложил устройство, состоящее из вращающегося под кожухом барабана и бункера, из которого на этот барабан сыплется размельченный уголь. Все устройство тщательно изолировано от земли. Уголь, попадая между барабаном и кожухом, электризует эти поверхности по-разному, в зависимости от степени окисления. Дальше все просто. Учитывая величину зарядного тока по заранее вычерченным кривым и таблицам, определяют степень окисления.

О лампах тлеющего разряда и электростатических вольтметрах написано во всех учебниках физики. Поэтому коротко упомянем наиболее интересные конструкции электростатиче-

ских вольтметров, а именно тех, где чувствительными элементами являются не так давно открытые материалы с удивительными свойствами — *электреты*. Так же как намагниченный кусок железа способен создавать вокруг себя постоянное магнитное поле, электрет может создавать электрическое поле. Сравнение электретов с магнитами помогает понять применение электретов в измерительной технике. Если в приборах магнитоэлектрической системы проводник с током взаимодействует с постоянным магнитом, то в приборах с электретами измеряемые электрические поля взаимодействуют со строго измеренным полем электрета. Тем, кто заинтересуется этим вопросом подробнее, рекомендуем небольшую, но очень интересную работу М. С. Векслера «Электростатические приборы».

Статическое электричество — друг тем, кто его изучает и кто к нему относится с уважением. Выше уже было сказано о гигантских машинах Ван-дер-Граафа, помогающим физикам проникать в тайны атома. Физикам-атомникам статическое электричество не только помогает в исследованиях, но и бережет их здоровье и жизнь. Известно, что любые излучения ионизируют воздух. В ионизированном воздухе электроскоп разряжается тем быстрее, чем выше степень ионизации. И вот каждому работнику атомной лаборатории выдают утром маленький заряженный электроскоп-дозиметр, похожий на изяшный автоматический карандаш. Если в такой карандаш посмотреть на свет, то можно увидеть шкалу с делениями, по которым двигается волосок электроскопа. Когда вечером сотрудники лаборатории сдают врачу свои карандаши, тот сразу видит по шкале, какую дозу облучения получил владелец карандаша: шкала отградуирована в миллирентгенах. Да и без врача сотрудник лаборатории может сам в течение дня в любом месте проверить интенсивность облучения.

Статическое электричество, в том смысле, в каком с ним сталкиваются инженеры на производстве, это, конечно, зло. Но такая категоричная оценка вызвана не только коварными свойствами статического электричества, но и отчасти пренебрежительным к нему отношением со стороны некоторых ученых и инженеров. А отсюда — неумение использовать его положительные свойства. Ни для кого не секрет, что инженеры, занимающиеся проектированием стальных конструкций, слабо разбираются в том, что такое конденсатор, лейденская банка или коронный разряд. В этом виновата школа. Из школьного курса ученики получают неверное представление о том, что все законы и проявления статического электричества абсолютно известны. Научившись натирать кожей стеклянную палочку, десятиклассники со спокойной совестью переходят к законам Ома и Кирхгофа. И никого не беспокоит, что в своей практической деятельности бывшие школьники будут озадачены, встретившись лицом к лицу с этим грозным явлением.

Статическое электричество приносит много вреда. Но его, как мы уже убедились, можно и заставить служить людям. А в будущем оно может стать верным помощником людей самых разнообразных профессий.

Кто из фантастов не писал о легких, компактных и энергоемких электрических аккумуляторах? Еще с давних времен люди мечтали о возможности накапливать электрическую энергию. И что же? Мы видим сегодня свинцово-цинковые, свинцовые или серебряные аккумуляторы; чтобы сосредоточить энергию электрическую, ее необходимо сначала превращать в химическую. Дорого и неудобно. В век ракет и покорения космоса — химические аккумуляторы! Там, где каждый миллиграмм на учете, инженеры вынуждены ставить тяжелые и громоздкие аппараты, но других нет, и нет, быть может, потому, что наука о статическом электричестве еще не сказала своего последнего слова.

Всем отраслям народного хозяйства нужны легкие, удобные и экономичные аккумуляторы электрической энергии. Если они будут созданы, упростятся задачи электроэнергетики, появятся автобусы, автомашины, самолеты, работающие на электричестве. Изменится одежда: люди предпочтут легкий костюм с карманным аккумулятором тяжелой шубе. Водолазная маска, в которой с помощью миниатюрного аккумулятора происходит разложение воды на кислород и водород, заменит тяжелый и дорогой акваланг. Этот же аккумулятор позволит питать двигатель подводного буксировщика, а только так человек сможет до конца покорить водную стихию. Да только ли водную! Мы знаем слой поверхности нашей планеты толщиной всего километров в десять. Статическое электричество поможет нам проникнуть намного глубже — доказательство тому электроискровой метод бурения скважин.

Современные писатели-фантасты оборудуют свои «подземоходы» могучими ядерными реакторами, от которых получают питание все двигатели и установки корабля. А может быть, ничего этого не понадобится, если появятся маленькие легкие аккумуляторы большой емкости. Не надо будет думать о защите экипажа от излучений, исчезнет необходимость в теплоносителе.

Помочь в создании таких аккумуляторов должна химия, которая тоже получит немало выгод от их применения. Можно предположить, что первым шагом на пути создания таких аккумуляторов будет производство синтетических диэлектриков, обладающих во много тысяч раз меньшей электропроводностью, чем капрон или даже тефлон.

В основном внимание ученых всего мира приковано к электретам. Трудно даже представить себе, какие возможности таят они. Останутся ли они просто вспомогательными устройствами, как постоянные магниты, или превратятся в «начин-

ку» сверхъемких аккумуляторов, пока сказать трудно. Скорее всего их ожидает большое будущее.

Теперь о другой проблеме, которую будущие поколения смогут решить с помощью покоренного статического электричества. Это проблема погоды. Сейчас она еще не решена, и поэтому несколько сотен судов гибнет ежегодно в морях и океанах нашей планеты. Гибнет урожай на полях, сходят с рельсов поезда, возвращаются, не долетев до места, самолеты.

Во Франции запатентована установка, представляющая собой громадное число нефтяных горелок, собранных в определенном порядке на большой площади. По мысли автора проекта, дым и теплый воздух, поднимающийся от этого большого примуса, должны способствовать образованию туч. Может быть, это и так, но ведь предложенную установку нельзя рассматривать даже как частное решение проблемы! Никто не станет всерьез думать о том, чтобы покрывать пшеничные поля сетью труб, по которым течет нефть к горелкам.

Совсем иная картина получится, если эскадрильи дирижаблей службы погоды будут, в соответствии с заранее разработанным графиком, транспортировать тучи определенных размеров в нужные точки земного шара. Обнаружив над морем или океаном тучу и определив знак ее заряда, дирижабли (они для этого лучше подходят, чем самолеты, благодаря своей малой скорости и большой грузоподъемности) развернут свои антенны, на которых создастся заряд того же знака, что у тучи, и погонят эту тучу перед собой до нужного места. Туча полетит впереди дирижаблей сама — ведь одноименные заряды отталкиваются. Весь вопрос сведется к размерам антенн и к напряженности создаваемого ими поля. А если возникнет «внеплановый» грозовой фронт и двинется на город или на поля с еще не убраным хлебом? На его пути тоже станут дирижабли с антеннами. Они разберут тучу на части и отбуксируют куда-нибудь в пустыню или обратно в море, если не будет надобности в дожде на материке.

А может быть, и не понадобится дирижаблей. Мощная система антенн покроев всю поверхность суши. Изменяя напряжение статического поля на этих антеннах, согласно заданной программе, люди будут гнать облака непрерывным потоком от океанских побережий в глубь материка.

В начале нашего века астрономы предположили, что в межзвездном и даже в межгалактическом пространстве есть слабые электростатические поля. Это предположение в дальнейшем подтвердилось. С помощью гигантских радиотелескопов удалось обнаружить эти поля и даже, в некоторых случаях, измерить их напряженность. В связи с этим появилась гипотеза о двигателе для космического корабля, использующем энергию межзвездного электростатического поля. На корабле предлагается установить очень маломощный ионный двига-

тель, который сможет по желанию экипажа работать на ионах разного знака. Положительные ионы, покидая корабль, заряжают его отрицательно. То же самое произойдет, если ионный двигатель начнет выбрасывать в пространство электроны, только знак заряда корабля изменится на плюс.

И вот, в соответствии с законом Кулона, на заряженный корабль начнет действовать сила, пропорциональная напряженности поля и заряду корабля. Под действием этой силы корабль полетит по межзвездным дорогам, все ускоряя свой бег. При этом на разгон и торможение не нужно будет тратить драгоценное горючее. Вся затраченная энергия сведется к зарядке корабля в начале разгона и перезарядке его в момент торможения. Конечно, трудно предположить, что направление электростатического поля в пространстве будет точно соответствовать курсу корабля. Чтобы маневрировать, ему понадобится двигатель. Поэтому установленный на таком корабле, который даже трудно назвать ракетой, ионный двигатель будет выполнять еще и функцию маневрового двигателя. Но самое основное — конструкторам корабля не будет нужды устанавливать тяжелый ходовой двигатель, а экипажу — брать запасы топлива, которые, даже если речь идет о фотонном двигателе, превращающем всю массу топлива в энергию, в сотни тысяч раз превышают вес ракеты. Можно предположить, что, если когда-нибудь будут построены электростатические корабли, при снаряжении дальних звездных экспедиций с ними не смогут конкурировать корабли других систем.

Статическое электричество подсказывает нам идею использовать силы пространства для полетов к звездам! Можно быть уверенным в том, что еще немало теоретических и технических задач будет решено с его помощью.

ПРОФЕССИИ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ

Электростатическое поле может служить универсальным рабочим инструментом, оно способно переместить, смешать, соединить, осадить или разделить волокна, пылинки и порошки почти любых материалов. Используя законы электростатики, легко создать аппараты для обогащения редких руд, для очистки пшеницы и ржи, для улавливания вредной пыли, распыления ядохимикатов, даже для копирования чертежей и приготовления лекарственных. Несколько примеров сделают более наглядным разнообразие технических задач, решаемых применением статического электричества.

От стула до турбины. Мебель должна радовать глаз. Самая продуманная и целесообразная конструкция, самая прочная древесина не привлечет покупателя, если столы, шкафы, стулья плохо покрашены, плохо отполированы, если на их поверхности остались потеки и пятна. Недаром отделка изделий — одна из самых трудоемких работ в мебельной промышленности. И механизировать ее чрезвычайно трудно.

Дело в том, что лакировать дерево, как правило, приходится вручную. Правда, иногда применяют пневматические пистолеты, но из-за сложной формы стульев и кресел большая часть дорогого лака при этом пропадает. К тому же, из лаков выделяются едкие вещества, вредные для здоровья рабочих.

Лучший способ снизить потери краски или лака — применить окраску в электростатическом поле. Но как быть здесь: ведь древесина не проводит электричества?

Значит, нужно найти способ сделать ее электропроводной, решили инженеры НИИ технологии лакокрасочных покрытий. Начались опыты. Вскоре установили, что достаточно слегка увлажнить поверхность древесины, обрызгав ее водой или водорастворимыми красителями. Стулья с искусственным электропроводящим слоем вешают на непрерывно движущийся конвейер. С распылителей — стремительно вращающихся металлических чашек — срываются мельчайшие капельки лака. Под действием напряжения в 100 000 в они послушно оседают на гнутых ножках и спинках. Затем конвейер уносит стулья к сушилке. Ни здесь, ни там их не касаются человеческие руки.

Электростатическая лакировка успешно внедрена на 5-й Московской мебельной фабрике. Улучшилось качество продукции, условия труда, а расход лака уменьшился в четыре с половиной раза. Все оборудование окупилось за один год.

Сейчас инженеры научились окрашивать в электростатическом поле резину, стекло, любой диэлектрик. Для этого за тонкой деталью из непроводящего материала нужно подвесить металлическую пластинку. Тогда силовые линии поля замкнутся на эту пластинку, «пронзив» диэлектрик. Таким способом, например, на заводе «Красный богатырь» лакируют галоши,

Подвески конвейера заканчиваются несколькими металлическими колодками, на которые и надеваются галоши перед лакировкой.

Венгерские инженеры разработали аналогичный метод электростатической окраски кожи и кожаных изделий.

Электрораспылением можно наносить жаростойкие силикатные покрытия на детали камер сгорания, лопасти турбин, выхлопные патрубки, словом, на любые детали, работающие при высокой температуре. Можно нанести слой жидкой или сухой глазури на керамические изделия, накладывать смазку на трубы и штанги.

Трубы из порошка. А что произойдет, если мы будем осаждать не тончайший слой краски или лака, а толстый слой волокон, густо смешанных с каплями клея? И капли и волокна одинаково хорошо подчиняются электростатическим силам, и (после схватывания клея) мы получим объемное изделие. Останется только удалить подложку, сконструированную так, чтобы она не приклеилась к свежееотформованному изделию.

Электроформование универсально. Клеящим, связующим веществом могут служить синтетические смолы, жаропрочные цементы, растворимое стекло, битум, вся гамма конструкционных клеев. В комбинацию с каплями связующего вещества охотно вступают волокна текстильные, асбестовые, стеклянные, кварцевые, полученные путем раздува и распыления шлака, и множество других. Автоматические линии электроформовки послужат для производства рубероида, шифера, линолеума, электроизоляционных материалов и объемных изделий достаточно сложной конфигурации.

Десятки тысяч километров всевозможных труб: пластмассовых, асбестоцементных, керамических требуется для грандиозной программы жилищного и промышленного строительства в нашей стране. Автоматизация их производства — насущная проблема строительной индустрии. В институте «Гипростройматериалы» недавно предложили применить оригинальную и необычайно производительную установку. Представьте себе непрерывно бегущую в горизонтальной плоскости бесконечную цепь, к каждому звену которой подвешен надутый воздухом цилиндрический баллон из электропроводной резины. Баллон служит электродом, на который в электрическом поле напыляется слой соответствующего материала. Когда слой достигает необходимой толщины, воздух из баллона выпускают, и готовая труба соскальзывает на конвейер, уносящий ее на склад готовой продукции.

Электроразметчик. Чтобы вырезать из листа или болванки деталь, нужно ее сначала разметить, т. е. нанести на поверхность металла контуры детали. Этим и занимаются рабочие-разметчики. С помощью чертилок, рейсмуссов, линеек, кернов, как и десятки лет назад, ползая по лежащим на полу цеха стальным листам, старательно переносят они геометрические фигуры с чертежей на металл. Малопроизводительный и утомительный труд.

Советские изобретатели К. Рамазанов, А. Полякова, Г. Зубовский и В. Ландышев предложили заменить традиционную разметку электрофотографированием (авторское свидетельство № 134129). По этому способу поверхность металла покрывают эмалью, состоящей из окиси цинка и масляного лака с разбавителем — бензином. Затем на листовом стекле изготавливают шаблон-чертеж, представляющий собой обычный диапозитив. Окись цинка является полупроводником, и если теперь деталь обдуть ионизированным газом, вся поверхность ее зарядится отрицательно, станет как бы электрофотобумагой. С помощью стандартного фотоувеличителя на нее проектируется нужный чертеж.

Проявляют скрытое электрическое изображение весьма необычным проявителем: это просто бензин, в каждом литре которого растворены два грамма типографской краски. Частицы краски притягиваются к тем местам на поверхности детали, которые сохранили свой заряд после действия света, и образуют, таким образом, видимое изображение. После сушки изображение покрывают защитным покрытием, например масляным лаком.

Электрографический способ позволяет не только ускорить, но и полностью автоматизировать разметку.

Насос-электроветер. Монтерам, работающим вблизи проводов высокого напряжения, знакомо явление «электрического ветра». Высоковольтные провода коронируют, отбрасывая от себя в пространство электрически заряженные частицы воздуха. Американский патент № 2 765 975 предлагает на этом принципе создать насос без клапанов и поршней. Устроен он так. Отрезки труб из металла и изоляционного материала соединены последовательно и чередуются между собой. Внутри изоляционных труб установлены электрические разрядники — металлические щетки, острия которых направлены в сторону желаемого направления движения газа или воздуха. К щеткам подведен один из полюсов источника высокого напряжения до 10 000 в, а металлические отрезки труб заземлены. Внутри трубы-насоса возникает направленный коронный разряд, нейтральные частицы газа увлекаются образовавшимся потоком заряженных ионов. В конце трубы можно поставить металлическую сетку, соединенную с другим полюсом источника высокого напряжения. Электрический ветер будет нейтрализоваться сеткой, теряя на ней свой заряд. По мысли изобретателя, устройство выгодно применять для перекачивания больших количеств газа или воздуха.

Для «упрямых» жидкостей. Электрические поля можно использовать для смешивания порошков и жидкостей. Причем с их помощью удастся смешать жидкости, которые при обычных условиях друг с другом не смешиваются, и их приходится долгое время — часами и даже днями — взбалтывать, прогонять струями одну внутри другой, прибегать и к другим ухищрениям.

Электростатический смеситель не имеет лопастей-мешалок. Просто в стеклянном сосуде на дне налита ртуть — это один электрод. Сверху в верхнем слое жидкости купается второй пластинчатый электрод. На электроды подается напряжение от 500 до 10 000 в на сантиметр межэлектродного промежутка. Сперва «упрямые» жидкости располагаются двумя слоями — в нижний слой опускается растворитель, имеющий обычно более высокий удельный вес. Сверху плавает слой вещества, который надлежит растворить или смешать. Как только подается напряжение, оба слоя жидкости начинают интенсивно перемешиваться, так как их частицы, получив разноименные заряды, взаимно притягиваются.

Расход энергии для «неподвижного смесителя» примерно такой же, как для обычных аппаратов. Преимущество — надежность в работе, отсутствие подвижных, изнашивающихся частей.

Электростатический портной. В последнее время швейники для скрепления деталей одежды все шире начинают использовать клей вместо ниток. Операции склейки гораздо производительнее, намного легче поддаются автоматизации. Однако в основном технология швейного производства остается старой, такой же многоступенчатой, неэкономичной. По-прежнему материал приходится сначала кроить, потом разрезать, получая при этом массу нигуда не пригодных обрезков.

Процесс электростатического осаждения заряженных частиц позволяет в принципе радикально обновить древнюю портновскую профессию. Как это будет выглядеть? С заказчика снимается мерка, и по ней для него подыскивают на складе соответствующий металлический манекен — такого же роста, с таким же объемом грудной клетки, длиной рук и т. д. Манекен помещают в электрическое поле, заземляют и начинают напылять на него электрически заряженные волокна шерсти, лавсана или какого-нибудь другого материала, смешанные с капельками синтетического клея. Через несколько минут не имеющий ни единого шва костюм снимают с манекена и передают заказчику. Для лучшей подгонки под фигуру заказчика манекены можно изготавливать надувные, из гибкого материала с металлизированной поверхностью.

Е. Салимов.

Всем, кто интересуется новейшими достижениями науки и культуры, рекомендуем подписаться на серии научно-популярных брошюр издательства «Знание».

«НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ.»

12 серий этого цикла —

История	Международная
Философия	Биология и медицина
Экономика	Физика, математика, астрономия
Техника	Молодежная
Сельское хозяйство	Химия
Литература и искусство	Естествознание и религия —

популярно и увлекательно рассказывают о самом новом и самом интересном в важнейших областях знаний. На страницах этих брошюр выступают известные советские ученые — академики А. И. Алиханов, Л. А. Арцимович, Я. Б. Зельдович, М. Д. Миллионщиков, А. Н. Фрумкин и другие; первая в мире женщина-космонавт В. В. Терешкова, легендарный партизан С. А. Ковпак, Герой Советского Союза Э. Т. Кренкель, журналисты, писатели, общественные и политические деятели.

По сериям «История», «Философия», «Экономика», «Техника», «Сельское хозяйство», «Литература и искусство», «Международная», «Биология и медицина», «Физика, математика, астрономия», «Молодежная» выходят 2 брошюры в месяц объемом 2,5 печ. листа.

Подписная цена:

На полугодие	— 90 коп.
На квартал	— 45 коп.

По сериям «Химия», «Естествознание и религия» выходит 1 брошюра в месяц объемом 3 печ. листа.

Подписная цена:

На полугодие	— 54 коп.
На квартал	— 27 коп.

В каталоге «Союзпечати» на 1965 год эти брошюры помещены под индексом 70064—70075.