

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

Новое
в жизни,
науке,
технике

ТЕХНИКА

№ 5

Издается
ежемесячно
с 1961 г.

В ЭТОМ НОМЕРЕ

В. К. Щадинский
ОХРАНА ТРУДА
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

СПАСТИ ЧЕЛОВЕКА!

ЛЕКТОРУ НА ЗАМЕТКУ

Издательство «Знание» Москва 1990

РЕДКОЛЛЕГИЯ

К. В. Фролов,
академик (председатель)

А. И. Аристов,
кандидат технических наук

Б. М. Базров,
доктор технических наук, профессор

Г. В. Венников,
кандидат технических наук

Л. И. Волчкевич,
доктор технических наук, профессор

Ю. Т. Гринь,
доктор физико-математических наук

В. А. Данилычев,
доктор физико-математических наук, профессор

В. Я. Зайцев,
доктор технических наук, профессор

Е. П. Попов,
член-корреспондент АН СССР

Р. А. Чаянов,
начальник отдела ГКНТ

К. Ю. Чириков,
кандидат технических наук

ОХРАНА ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Недопустимы обстоятельства, при которых в мирное время люди получают травмы, увечья, гибнут из-за собственной некомпетентности или неосторожности. Тем более недопустимо, если это происходит из-за некомпетентности или разгильдяйства тех, кто призван создавать безопасные условия производства и быта человека. Один парадокс нашего времени — уровень механизации, автоматизации, роботизации производственных процессов, защищающих человека от тяжелого и опасного труда, с одной стороны, но создающих одновременно новые виды опасностей — с другой.

Вот, например, роботизация производства. Она имеет целью обезопасить человека в процессе труда от невероятных физиологических и психических перенапряжений, к концу смены люди буквально «сходят с ума». В Японии зафиксированы случаи, когда в таком состоянии совершалась кровавая расправа над своими близкими. Жертвами прогресса можно считать 400 с лишним человек, погибших за последние годы в нашей стране от взрывов телевизоров и пожаров, происшедших по этой причине. Не говоря уже о материальных потерях.

В статистике электротравматизма описаны случаи смертельных поражений человека электрическим током при так называемых «безопасных» напряжениях 36 В, 24 В и даже меньших. Плохо изучены и находятся в стадии исследований вопросы защиты от радиоактивных и лазерных излучений, вопросы эргономики.

Много сделано и многое делается в области охраны труда у нас в Союзе, но считать положение благополучным преждевременно. Данные по авариям и травматизму, обследование предприятий и оборудования на соответствие их требованиям безопасности свидетельствуют, что благополучно далеко не везде и не всегда. Техническая инспекция профсоюзов только за один 1986 г. была вынуждена приостановить работу 170 предприятий, большого количества цехов, участков. Многие машиностроительные предприятия проектируют и выпускают новые машины и механизмы с многочисленными

отступлениями от требований стандартов безопасности труда (ССБТ). Проверка на этот счет 2000 моделей машин и механизмов, серийно выпускаемых промышленностью, показала, что только 120 (или 6%) из них отвечали в полной мере требованиям ССБТ. За 1985 г. сняты с производства машины и оборудование 350 типов как не соответствующие требованиям безопасности. Отмечены случаи, когда новые производства вводятся в эксплуатацию с незаконченными работами по охране труда.

В предлагаемой работе рассмотрены некоторые проблемы охраны труда. Объем брошюры не позволяет коснуться всего многообразия вопросов, да такая задача и не ставилась.

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Развитие электроэнергетики ставит немало сложных проблем электробезопасности. Средства защиты от электрического тока еще далеки от совершенства. Да и сам механизм воздействия электричества на человека изучен недостаточно. Американцы полагали, что смерть на электрическом стуле мгновенна и не мучительна. Увы, она была не мгновенной и мучительной. Решение этих вопросов осложнилось: этот предмет исследования исключает возможность провести исчерпывающие эксперименты.

Действие электрического тока на организм человека. Значения электрического тока, опасные для человека, определяются с большим трудом. Статистика электротравматизма, несмотря на многочисленность материала, не может создать основу для полноправных выводов. Среди причин, объясняющих, почему расследования электротравм не всегда удаются — важное место занимает недостаточное изучение условий, сопровождающих несчастный случай. Трудно, например, восстановить технические параметры электроустановки в момент несчастного случая, время действия тока и особенно параметры, характеризующие сопротивление тела человека (состояние кожного покрова, психологическое и физиологическое состояние человека и др.), и т. д.

Многие исследования указывают, как на очень важную или даже совершенно необходимую деятельность

по анатомо-патологическому обследованию погибших от электрического тока. Ведь характерная особенность электротравматизма — высокая смертность. Статистика свидетельствует, что если удельный вес электротравм в общем количестве несчастных случаев, сопровождающихся временной утратой трудоспособности, невелик и составляет $0,5 \div 1\%$ в производстве вообще и $3 \div 5\%$ в электроэнергетике, то по смертности при несчастных случаях картина совершенно иная — на производстве до 40% , а в энергетике до 60% , т. е. значительно больше, чем по какой-либо иной причине. Причем $75\text{—}80\%$ смертельных поражений током происходит в электроустановках напряжением до 1000 В.

Решение об обязательном вскрытии погибших от ударов молнии и электрического тока было принято еще в 1910 г. на Международном конгрессе судебно-медицинских экспертов, но осталось невыполненным. В СССР погибших от электрического тока вскрывают, но в этих условиях из-за невнимательности, из-за отсутствия профессионализма возможны ошибки. Так, рабочие монтажного участка одного из строителей, придя на работу в понедельник утром, обнаружили лежащего на полу мастера цеха. Пальцы его рук касались поврежденного патрона переносной лампы, находившейся под напряжением 220 В. По показаниям рабочих, мастер задержался в субботу на работе, так как оформлял наряд. Судебно-медицинский эксперт написал, что смерть наступила от электрического тока, основываясь, в частности, на том, что через тело пострадавшего длительное время протекал ток и на руках его были следы ожога. Однако прокуратура в процессе расследования установила убийство с корыстной целью и последующую инсценировку электротравмы. Повторное вскрытие показало, что пострадавший получил удар в голову, от которого и умер.

Достоверные данные о причинах смерти от электрического тока и возможность определения параметров поражающих факторов может дать исследование селезенки у пострадавшего. Другой источник информации о допустимых критериях электробезопасности — исследования, проводимые самими исследователями на себе или по разрешению ВЦСПС или администрации на добровольцах — рабочих промышленных предприятий. Однако подобные эксперименты проводятся, естественно, при

значениях токов и напряжений, далеких от опасных величин. Кроме того, сопротивление электрическому току человека, подготовленного в лабораторных условиях, значительно отличается от такового у человека в неожиданной производственной ситуации. Не могут дать достоверных результатов и опыты на животных. Как правило, при переменном токе 50 Гц и напряжении 5,2 кВ сопротивление трупa около 0,6 кОм. Из этого было сделано заключение, что внутреннее сопротивление живого организма не превышает 1 кОм. Предельно допустимые значения токов зависят от времени воздействия тока на человека. Причем указанные зависимости действительны в ограниченном интервале времени (до 3 с).

В нашей стране основополагающим документом в этих вопросах является действующий с 1.07.83 г. ГОСТ 12.1.038—82 «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». Он устанавливает значения для постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц.

Из ГОСТа виден большой разброс значений, допустимых величин напряжений прикосновения и токов через тело человека в зависимости от разных обстоятельств. Естественно, что при аварийном режиме работы электроустановки можно допустить большие значения, так как вероятность совпадения двух случайностей — аварии электроустановки и прикосновения человека — значительно меньше, чем возможность прикосновения человека к корпусу в нормальном режиме. Отсюда и разные значения: в нормальном режиме $U_{\text{пр. доп}}=2$ В и $I_{\text{доп}}=0,3$ мА, в аварийном режиме — $U_{\text{пр. доп}}=36$ В и $I_{\text{доп}}=6$ мА. Аварийный режим должен устраняться в короткое время, что еще уменьшает вероятность совпадения двух случайностей.

Значительно отличаются также величины допустимых уровней напряжений прикосновения в зависимости от номинального напряжения электроустановки (до или выше 1000 В). При времени воздействия 1 с в электроустановках выше 1000 В допустимое напряжение прикосновения — 1000 В, в электроустановках напряжением до 1000 В, $U_{\text{пр. доп}}=36$ В, а в бытовых электроприборах и того меньше — $U_{\text{пр. доп}}=25$ В.

В электроустановках напряжением выше 1000 В значительно больше дополнительных мероприятий, направ-

ленных на исключение возможности контакта человека с частями под напряжением, по сравнению с электроустановками напряжением до 1000 В (ограждения, блокировка, организация работ и пр.). Кроме того, высоковольтные установки обслуживаются квалифицированным электротехническим персоналом, в то время как к электроустановкам до 1000 В имеют доступ практически все работающие, а зачастую случайные люди.

По этой же причине снижены допустимые значения для бытовых электроустановок. Не должны смущать низкие значения допустимых величин напряжения и тока при длительности более 1 с ($U_{\text{пр. доп}} = 12 \text{ В}$, $I_{\text{доп}} = 2 \text{ мА}$). Выработалось мнение, что напряжения 36 В и меньше вообще не опасны, но...

Поражение электрическим током иногда происходит при весьма необычных обстоятельствах. Так, М. Ф. Крикунов и Ф. Ф. Скворцов описали несчастный случай с Л., муж которой, по профессии инженер-электрик, с целью охраны своего сада установил сигнализацию по обычной звонковой схеме. Эта сигнализация состояла из сигнала-звонка, находившегося в квартире, круглого замыкателя, расположенного в саду, хлопчатобумажных ниток, натянутых в траве и прикрепленных к контакту замыкателя, подающего напряжение на звонок. Схема питалась от понижающего трансформатора 220/12 В, установленного внутри квартиры. Один из проводов напряжением 12 В шел в сад на общее кольцо. Садовладелец считал: если на его участок проникнет постороннее лицо и разорвет одну из натянутых хлопчатобумажных ниток, то падающий контакт замкнет цепь и тем самым приведет в действие звонковый сигнал. Но обстоятельства сложились так, что замкнуло цепь не постороннее лицо...

Накануне происшествия шел дождь и было очень сыро. Утром, когда муж находился на работе, Л. вышла в сад. Вскоре соседи слышали непрерывные сигналы звонка, а затем обнаружили, что причиной их явилась Л., лежащая на земле без признаков жизни и касавшаяся шеей круглого замыкателя контактов.

Необычен и случай, произошедший тоже в семье инженера-электрика и тоже при напряжении 12 В. Обстоятельства его таковы. Чтобы нагреть воду в ванне, был изготовлен самодельный электронагреватель в виде укрепленной на деревянном бруске фарфоровой трубы

диаметром 5 см с намотанной на нее реостатной проволокой диаметром 2 мм. Это устройство было подключено к специальному понижающему трансформатору напряжением 12 В. Брусок клали поперек ванны так, чтобы фарфоровая трубка находилась в воде. Когда температура воды достигала 36—40° С, термореле отключало устройство, и ванна была готова к пользованию. Но однажды гость, пожелавший принять ванну, включил устройство и, не дождавшись отключения, решил рукой оценить температуру воды. Он погрузил правую кисть в воду, а левая в это время касалась корпуса ванны. Спасти пострадавшего не удалось, хотя квалифицированная помощь была оказана немедленно.

Последний случай представляет собой интерес потому, что, как показали результаты измерения, напряжение между водой в том месте, где находилась рука, и корпусом ванны составляло всего 4—5 В. Но и в случае, описанном М. Ф. Крикуновым и Ф. Ф. Скворцовым, поражающее напряжение было ниже 12 В. Правда, в их описании указано только напряжение сети (12 В), но если принять во внимание падение напряжения на элементах сопротивления, оказавшихся включенными в сеть последовательно с телом человека, то выяснится, что поражающее напряжение в действительности было меньше напряжения сети.

Подобные примеры теперь уже не вызывают удивления. Не слышно и утверждений о том, будто поражения в сети малого напряжения происходят только в случае появления в этой сети напряжения 220 или 380 В.

Установлены единичные случаи смертельных поражений напряжением 12 В промышленной частоты. На установках напряжением 36 В и 65 В они носят уже далеко не единичный характер.

Многие авторы, пытаясь объяснить причины летальных исходов при малом напряжении (которое, вообще говоря, считается безопасным), ссылаются на наличие у погибших тех или иных заболеваний. Однако роль этого фактора несколько переоценена, ибо в 86% поражений малым напряжением пострадавшие были до электротравмы вполне здоровыми, физически крепкими людьми. Об этом же говорят и данные по возрасту распределения лиц, пострадавших на установках напряжением 65 В и меньше: 22% из них было моложе 21 го-

да, 65,5% имели от 21 года до 30 лет и только 12,5% были старше 30 лет. Следовательно, 88% пострадавших находилось в молодом, наиболее цветущем возрасте.

ЭЛЕКТРОПОРАЖЕНИЯ

Когда человек прикасается к неизолированным токоведущим частям, находящимся под напряжением, он становится частью образующейся цепи, через него протекает ток, величина которого зависит от характера прикосновения, технических данных электроустановки, сопротивления тела человека и др. Естественно, что влиять на величину сопротивления тела человека не представляется возможным. Значит, необходимы технические совершенные электроустановки и средства защиты от поражения электрическим током.

Чтобы оценить опасность прикосновения к токоведущим частям под напряжением, необходимо понять, что стоит за случаями прикосновения человека к элементам электроустановок.

Двухполюсное прикосновение в однофазной сети наиболее опасно, так как ток, протекающий через тело человека, определяется только напряжением сети и сопротивлением тела. В промышленных установках напряжением 127 В и выше подобные прикосновения смертельно опасны. Однако случаи двухфазного прикосновения в статистике электротравматизма встречаются, к счастью, довольно редко. Конечно, цель технических и организационных мероприятий — полностью исключить контакт человека с токоведущими частями. Последние тщательно изолируются от внешнего воздействия, располагаются на недоступной высоте (провода воздушных линий, шины под потолком и др.), ограждаются сплошными или сетчатыми коробами, экранами, закрываются кожухами. Включающие устройства, рубильники, клеммы для подсоединения закрываются крышками, и доступ к ним должен быть возможен только для специального персонала, обслуживающего электроустановки. Тем более невероятным кажется прикосновение человека одновременно двумя точками тела к двум разным фазам сети. Необходимо невероятно большое «везение». В статистике электротравматизма такие двухфазные

прикосновения составляют 1—2% от общего числа электротравм.

В указанный ничтожный процент двухфазного прикосновения «повезло» попасть автору во время экспериментов на рудничных подстанциях Кольского полуострова. По согласованию с диспетчером была отключена на время ячейка масляного выключателя 6 кВ, и там к приборам подключали провода. После подключения они были выведены наружу и дверь закрыли (при закрытой двери блокировка включена). Экспериментаторы подключали к концам проводов измерительные приборы, когда диспетчер дал команду дежурной включить ячейку. Дежурная знала, что на этом фидере эксперимент и даже могла видеть из окна работающих, но у нее сработал привычный автоматизм. Она включила. В руках автора оказались два провода от двух фаз с линейным напряжением 6000 В. Сильный динамический удар отбросил экспериментатора, и печального исхода не последовало.

Конечно, нарушений в данном примере много (не вывешена табличка «Не включать!» на включающем пульте, закрыта дверь и включена блокировка и др.). Но случаи поражения и происходят как раз из-за нарушений правил. Причем нарушают правила чаще всего люди с квалификацией.

Но, как говорилось, случаев двухфазного прикосновения мало. Гораздо больше поражений электрическим током происходит при прикосновении человека к одной фазе.

Однополюсное прикосновение. Электрический ток в этом случае будет протекать через тело человека и изоляцию по отношению к земле другой фазы. Реально — распределенные по всей длине линии электроустановки сопротивления току утечки на землю, представляющие собой параллельно включенные сопротивления элементарных участков изоляции воздушных и кабельных линий, обмоток электрических машин, аппаратов и других элементов электроустановки.

В сетях с глухозаземленной нейтралью при прикосновении к одной из фаз электрический ток замыкается не через изоляцию других фаз, где сопротивление значительно, а через шунтирующее ее сопротивление заземления нейтрали. Поражение человека электрическим током в этом случае гораздо вероятнее, чем в сетях с

изолированной нейтралью (при условии хорошего качества изоляции в этих сетях). Вопрос об оценке опасности поражения электрическим током в зависимости от режима нейтрали электроустановки подробно рассмотрен в литературе.

К сожалению, многие работники, обслуживающие электрооборудование, в том числе и электротехнической специальности, не всегда знают, какая система питания на их предприятии, с каким режимом нейтрали, и не всегда четко представляют разницу в способах защиты человека от поражения электрическим током при замыкании фазы на корпус в электроустановках с изолированной и заземленной нейтралью, т. е. разницу защиты с помощью защитного заземления и с помощью «зануления».

Защитное заземление в сетях с изолированной нейтралью. Анализ случаев прикосновения человека к токоведущим элементам электроустановки с изолированной нейтралью показал, что одной из основных мер защиты от поражения человека электрическим током при прикосновении к токоведущим частям электроустановки является высокий уровень качества изоляций относительно земли. Если такая гарантированная возможность отсутствует, то существует постоянная опасность поражения человека электрическим током. Правда, учитывая и дополнительные мероприятия, исключающие возможность соприкосновения с токоведущими частями (изоляция, расположение в недоступных местах, ограждение и др.), случаи подобных поражений в статистике электротравматизма довольно редки.

Более часты случаи прикосновения к элементам электроустановки, формально не находящимся под напряжением, но оказавшимся под ним в результате пробоя изоляции и замыкания токоведущих частей на эти элементы. Это корпуса электрооборудования, электроаппаратов и приборов, защитные кожухи, металлические ограждения, каркасы и т. п. При таком виде прикосновения опасность поражения может быть значительно снижена защитным заземлением. Защитное заземление — это преднамеренное соединение с землей через малое сопротивление металлических элементов электроустановки, которые не находятся под напряжением. Но может случиться и обратное — результате пробоя изоляции и замыкания токоведущих каналов на эти эле-

менты. В этом случае человек, прикоснувшийся, например, к заземленному корпусу электрооборудования, оказывается включенным в цепь тока замыкания на землю параллельно с малым по величине сопротивлением защитного заземления, что резко снижает величину тока через тело человека и обеспечивает безопасность.

Устройство заземления с низким сопротивлением иногда представляет определенные трудности, особенно в грунтах с большим удельным электрическим сопротивлением (скальные грунты, вечномёрзлые на Севере или сухие песчаные на юге и т. п.). Часто это мероприятие довольно дорогостоящее. В целях безопасности сопротивление должно быть как можно меньше, но с экономической стороны оно не имеет права быть очень дорогим. Это противоречие учитывается при определении любых норм.

Нормирование освещенности на рабочих местах, предельно допустимых концентраций вредных паров и газов, уровней шума на производстве и в быту и других видов вредностей исходит из двух предпосылок — «хорошо» и «недорого». Поэтому любая норма не может давать 100% гарантии от опасностей или вредностей.

Несмотря на обоснованность выбора величины предельно допустимых значений опасных электрических параметров (в том числе и сопротивления защитного заземления), возникают опасные ситуации, иногда с трагическим исходом. Вот работница положила бумажные деньги у раструба местной вытяжной вентиляции. При включении вентиляции деньги оказались втянутыми в вентиляционную трубу. Желая их достать, работница открыла вентиляционный шибер и протянула в трубу левую руку, правой же для упора взялась за шланговый провод. Пытаясь достать деньги, она натянула провод. От этого одна его жила в клеммной коробке отсоединилась и коснулась металлической крышки, которой в этот момент левой щекой касалась работница. Возникло однополюсное короткое замыкание. Так как клеммная коробка была заземлена, на заземленной системе появилось напряжение. Работница оказалась в электрической цепи и погибла. Электрометки остались на щеке и плече, которыми работница касалась вентиляционной трубы. Сопротивление заземляющей проводки находилось в пределах допустимых значений. Возможно, здесь сыграло роль то, что контакт

был в наиболее уязвимых местах. Напряжение на корпусе, соответствовавшее допустимым величинам, оказалось смертельным для данного случая.

В электроустановках напряжением выше 1000 В величина сопротивления защитного заземления определяется в зависимости от величины тока замыкания данной электроустановки на землю. В стадии проектирования эти токи определяются расчетным путем по эмпирическим формулам. В эксплуатационной практике они измеряются на действующих установках различными методами. Их необходимо знать не только для расчета сопротивления заземления, но также для расчета защиты от замыканий на землю и др.

Измерение тока замыкания на землю в электроустановках напряжением выше 1000 В. Исследования изоляции электроустановок занимают важное место в общей проблеме повышения безопасности и надежности электроснабжения. Один из факторов, характеризующих состояние изоляции — ток однофазного замыкания на землю.

Существует несколько различных методов измерения тока однофазного замыкания на землю в электрических сетях. Однако многие из них не могут быть применены при измерениях токов замыкания на землю в сетях электроснабжения промышленных предприятий, а применение некоторых нецелесообразно. Так, невозможно использовать целую группу методов, основанных на измерениях при отсутствии рабочего напряжения исследуемой электроустановки. Наличие нулевой защиты у потребителей привело бы в этом случае к отключению их от исследуемой сети, и результаты эксперимента не отражали бы реальной картины, так как в измерениях не учитывались бы токи утечки на землю через изоляцию отключенных элементов электроустановки.

Учитывая, что изоляция установок напряжением выше 1000 В в основном емкостного характера, а величина активной проводимости ничтожно мала, нецелесообразно применять методы определения комплексной величины сопротивления изоляции, а также методы определения величины активного сопротивления изоляции.

При оценке того или иного метода измерения в сетях электроснабжения необходимо исходить из следующих соображений.

Прежде всего в процессе подключения измеритель-

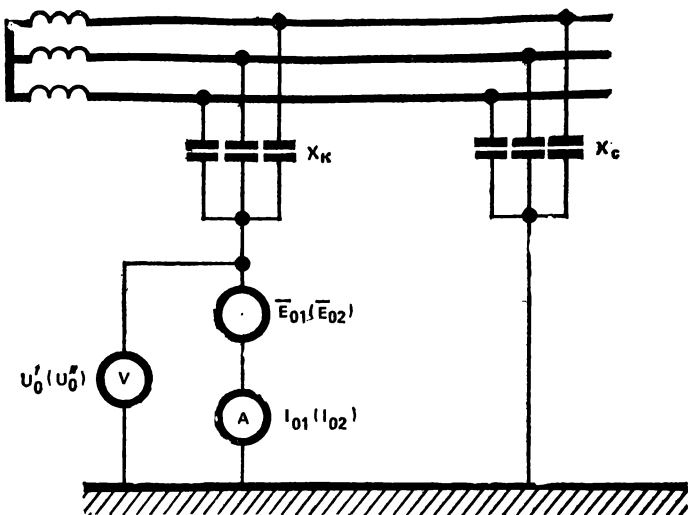


Рис. 1. Схема измерения методом двукратного смещения нейтрали эдс постороннего источника

ной аппаратуры, а также в процессе измерений рабочее напряжение всей электроустановки не должно отключаться, т. е. измерения не должны создавать перебоя в электроснабжении потребителей.

Измерения должны быть безопасны для экспериментаторов и не создавать дополнительной опасности для эксплуатационного персонала. Каждый метод измерения должен гарантировать приемлемую точность результатов.

Ниже приводится описание разработанного автором метода измерения, в определенной степени удовлетворяющего этим требованиям.

Метод двукратного смещения нейтрали эдс постороннего источника (рис. 1) основан на искусственном смещении нейтрали исследуемой электрической установки от эдс постороннего источника, причем ток утечки измеряется дважды последовательно при двух значениях эдс постороннего источника. Сравнение результатов первого и второго измерения позволяет устранить влияние естественного смещения нейтрали.

Очевидно, слагаемая тока смещения, вызванная напряжением естественного смещения нейтрали и не зависящая от эдс постороннего источника, при вычитании

уничтожится, а величина сопротивления изоляции определится как $Z_0 = \frac{|\bar{U}^I_0 - \bar{U}^{II}_0|}{|\bar{I}_{01} - \bar{I}_{02}|}$.

Учитывая, что изменение напряжения постороннего источника происходит только по величине и неизменно по направлению, можно написать, что

$$|\bar{U}^I_0 - \bar{U}^{II}_0| = |\bar{U}^I_0| - |\bar{U}^{II}_0| = U^I_0 - U^{II}_0.$$

Из векторной диаграммы рис. 2 видно, что при наличии угла сдвига α между вектором напряжения естественного смещения \bar{U}_0 и векторами искусственного смещения \bar{U}^I_0 и \bar{U}^{II}_0 , а следовательно, при наличии угла сдвига α между векторами тока \bar{I}_e , вызванного напряжением естественного смещения, и $\bar{I}^I_0, \bar{I}^{II}_0$, вызванных напряжением искусственного смещения, будем иметь:

$$|\bar{I}_{01} - \bar{I}_{02}| \neq |\bar{I}_{01}| - |\bar{I}_{02}|.$$

Однако с определенным допущением при соответствующих параметрах измерения можно считать условно равенство значений модуля разности векторов и разность модулей векторов токов \bar{I}_{01} и \bar{I}_{02} , т. е.

$$|\bar{I}_{01} - \bar{I}_{02}| = |\bar{I}_{01}| - |\bar{I}_{02}| = I_{01} - I_{02}.$$

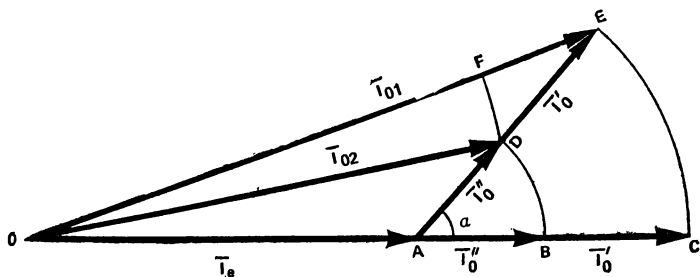
В результате двух измерений, пользуясь описанным методом, можно довольно просто по показаниям вольтметра V и амперметра A получить значение сопротивления изоляции электроустановки по отношению к земле

$$Z_0 = \frac{U^I_0 - U^{II}_0}{I_{01} - I_{02}} \text{ (Ом)}$$

и тока замыкания на землю

$$I_{зз} = \frac{U_\Phi}{Z_0}.$$

Учитывая неблагоприятные факторы, связанные с включением эдс постороннего источника в нулевую точку силового трансформатора сети, применять данный метод целесообразно с использованием в качестве нейтральной точки сети искусственной нулевой точки, созданной из емкостных фильтров нулевой последовательности (см. рис. 1).



Р и с. 2. Векторная диаграмма токов смещения

В этом случае величина сопротивления изоляции электроустановки по отношению к земле будет равна:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\Sigma} - Z_{\text{д}} = \frac{U_{I_0} - U_{I_0'}^{\text{II}}}{I_{01} - I_{02}} - Z_{\text{д}},$$

где $Z_{\text{д}} = \frac{1}{3\omega C_{\text{к}}}$ — емкостное сопротивление фильтра нулевой последовательности (Ом)

Предлагаемый метод измерения тока замыкания на землю обладает рядом преимуществ, отличающих его от других известных методов измерения, а именно:

пользование им не требует прерыва в электроснабжении потребителей при измерении и подключении аппаратуры;

нет опасности дополнительного поражения электрическим током обслуживающего персонала, так как техника его использования не требует отключения защиты от замыкания на землю и не вызывает больших перенапряжений в исследуемой сети;

нет нужды в многочисленной измерительной аппаратуре, результаты получаются без сложных вспомогательных вычислений и графических построений и с достаточной для практических целей точностью;

пользуясь данным методом, можно производить измерения в сетях с естественным смещением нейтрали, причем напряжение естественного смещения может быть любых практически возможных значений от 0 до 10—15% номинального фазового напряжения сети;

метод позволяет производить в исследуемой сети длительные измерения в течение нескольких часов или

даже рабочих смен, с тем чтобы выявить наиболее вероятные значения измеряемых величин.

При использовании данного метода для измерения тока замыкания на землю необходимо соблюдать некоторые условия, позволяющие уменьшить погрешность при измерении.

Как указывалось выше, величина сопротивления изоляции электроустановки определяется из выражения

$$Z_0 = \frac{U_{I_0} - U_{II_0}}{I_{01} - I_{02}},$$

причем допускается условно равенство

$$I_{01} - I_{02} = |\overline{I_{01}} - \overline{I_{02}}|.$$

В действительности при этом совершается определенная погрешность, которая зависит от угла α и которую можно назвать геометрической погрешностью $\delta_{\text{геом}}$. Кроме того, при определении величины сопротивления изоляции относительно земли Z_0 путем измерения величин тока и напряжения возникает погрешность измерения, обусловленная неточностью определения величины тока и напряжения по приборам. Эту погрешность обозначим $\delta_{\text{изм}}$.

Исследование зависимостей этих погрешностей от параметров измерения позволило получить для них следующие аналитические выражения:

$$\delta_{\text{геом}} = 1 - \frac{\sqrt{A} - \sqrt{B}}{n(k-1)};$$

$$\delta_{\text{изм}} = 2\delta_{\text{пр}} \frac{1 + kn + n}{n(k-1)},$$

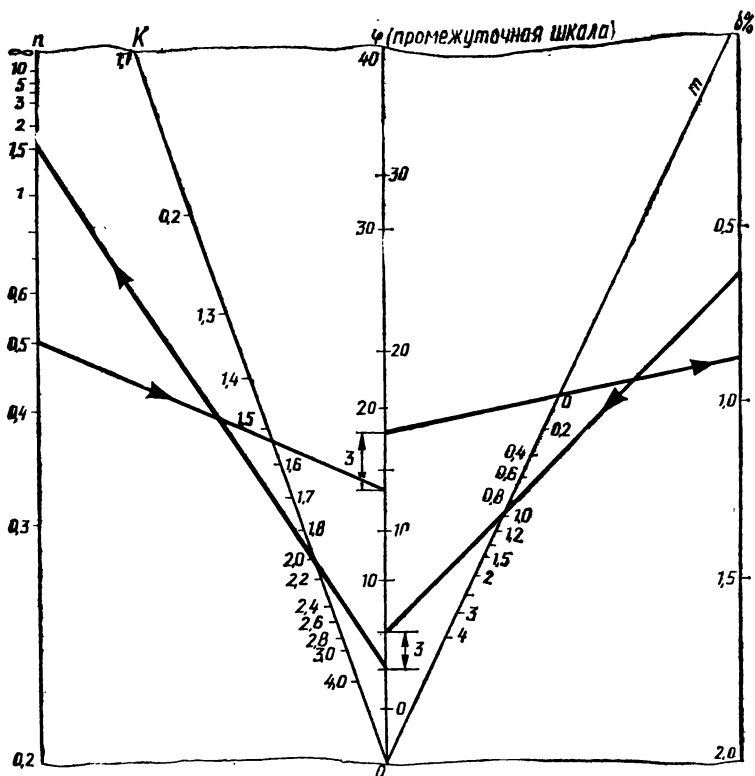
где $A = 1 + k^2 n^2 + 2kn \cos \alpha$;

$B = 1 + n^2 + 2n \cos \alpha$;

$\delta_{\text{пр}}$ — относительная погрешность измерительного прибора;

$$k = \frac{I_{I_0}}{I_{II_0}}, \quad n = \frac{I_{I_0}}{I_e}.$$

Очевидно, с учетом геометрической погрешности и погрешности измерения точное значение величины сопротивления изоляции (Z_{I_0}) будет выражаться через экспериментальное значение величины сопротивления



Р и с. 3. Номограмма для определения величины погрешности измерения $\delta_{изм}$ при различных значениях K , m и n

изоляции (Z^a_0), полученное путем измерения тока и напряжения и расчета по формуле, как

$$Z^{\tau}_0 = Z^a_0 \pm Z^a_0 \delta_{изм} - Z^a_0 \delta_{геом.}$$

При использовании в качестве нулевой точки электроустановки нулевой точки, созданной искусственно из батарей конденсаторов нулевой последовательности с сопротивлением Z_d , выражения для максимальных относительных погрешностей будут иметь вид:

$$\delta_{геом. m} = \left[1 - \frac{\sqrt{A} - \sqrt{B}}{n(k-1)} \right] (1+m),$$

$$\delta_{изм. n} = \delta_{пр} \left[\frac{2(1+kn+n)}{n(k-1)} (1+m) + m \right],$$

$$\text{где } m = \frac{Z_d}{Z^a_0}.$$

от трансформатора
собственных нужд

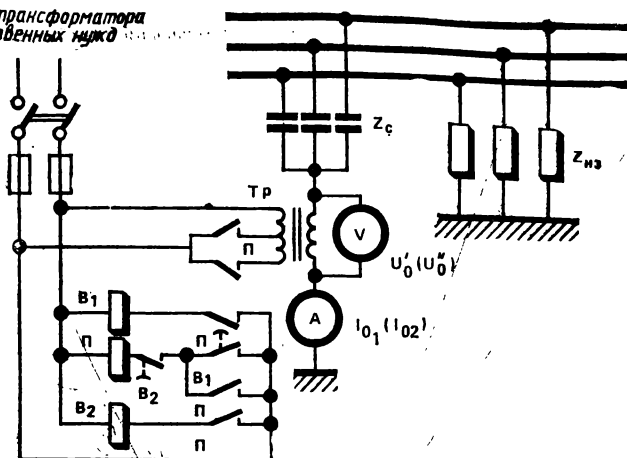


Рис. 4. Схема длительного измерения тока замыкания на землю

Создать искусственную нулевую точку из батарей конденсаторов на подстанциях довольно просто: емкостные фильтры нулевой последовательности устанавливаются на подстанциях, с тем чтобы увеличить ток замыкания на землю. Емкость этих батарей конденсаторов обычно соизмерима с емкостью линий. В качестве искусственного смещения при измерении на подстанции берется, как правило, один из векторов фазного или линейного напряжения собственных нужд, т. е. имеется возможность выбрать любое направление векторов искусственного смещения.

Другие параметры измерения, а именно соотношения, определяемые коэффициентами m , k , n , должны также подбираться из условия получения минимальной погрешности полученного результата. По номограмме рис. 3 можно быстро и просто определять погрешность измерения $\delta_{\text{изм}}$ по параметрам измерения m , k и n или решать обратную задачу — определять параметры измерения для получения заданной допустимой величины погрешности измерения.

Использование данного метода в реальных условиях электроснабжения показало приемлемость полученных результатов измерения. Большое преимущество его перед уже известными — возможность производить длительную регистрацию тока замыкания на землю в сети

путем автоматического переключения значений эдс постороннего источника и записи показаний амперметра и вольтметра на ленте самопишущих приборов (рис. 4). Разовые измерения могут дать не всегда наиболее вероятные значения тока замыкания. Момент измерения может быть не характерным для обычного режима данной электроустановки. Измерения в течение рабочей смены или нескольких смен позволят выявить реальные данные о величине тока замыкания на землю и диапазоне его измерения в процессе производственного цикла.

Для автоматического изменения значений эдс источника через определенные промежутки времени выполняется схема с реле времени и промежуточными реле.

Интервалы времени между включением эдс, исходя из практического удобства обработки результатов на ленте самопишущих приборов, можно рекомендовать длительностью 10—15 мин.

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Кругом нас, в нас самих, всюду и везде, без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут излучения разной длины волн — от волн, длина которых исчисляется десятиллионными долями миллиметра, до длинных, измеряемых километрами.

В. И. ВЕРНАДСКИЙ

Еще в 20-е годы, когда мощности радионизлучающих средств были сравнительно невелики, установили факт отрицательного воздействия ЭМП (электромагнитного поля) на функциональное состояние обслуживающего персонала. С тех пор накоплен значительный экспериментальный материал, позволивший выявить многие механизмы воздействия ЭМП на живые организмы, а также установить зависимость степени этих воздействий от частоты, мощности, вида модуляции.

Однако не следует считать, что электромагнитное поле вредно само по себе. Эволюционной биологией и биофизикой установлена определяющая роль электромагнитных полей естественного происхождения (квазистатические поля Земли, атмосферное электричество,

электромагнитное излучение Солнца и галактики) в возникновении и поддержании жизни на Земле. Считается, например, что длинноволновая часть электромагнитного спектра естественного радиофона способствует синхронизации биологических процессов и организации связи между особями внутри сообществ простейших организмов.

Воздействие ЭМП на живые организмы. Нашу планету миллиарды лет пронизывают потоки электромагнитных излучений — космического, земного и околоземного происхождений. Длины волн электромагнитного спектра этих излучений простираются от долей миллиметра до тысячи километров, каждый из участков этого огромного спектра сыграл свою роль в развитии живого на Земле; многие участки используются, как полагают, самими организмами в процессе их жизнедеятельности (в частности, для синхронизации ряда важнейших физиологических процессов и организации биологической связи внутри сообществ). Как особая форма организации материи ЭМП обладает как общими присущими всему материальному, так и некоторыми особыми свойствами. Широкий диапазон частот, огромные пределы изменения амплитуды во времени и по спектру, а в последнее время и высокая когерентность излучений в совокупности определяют формы взаимодействия поля с живыми организмами.

Прежде чем перейти к описанию этих форм, кратко остановимся на характеристике составных частей электромагнитной части биосферы (естественного радиофона).

Электрическое поле Земли. Направлено нормально к земной поверхности (заряженной отрицательно относительно верхних слоев атмосферы). Напряженность поля у поверхности Земли $E_{\text{зем}} \approx 130$ В/м и убывает с высотой примерно по экспоненциальному закону (на высоте 9 км $E_{\text{зем}} \approx 5$ В/м). Годовые изменения $E_{\text{зем}}$ — сходные по характеру на всем земном шаре: величины $E_{\text{зем}}$ достигают максимума в январе — феврале (до 150 ... 250 В/м) и минимума в июне — июле (100 ... 120 В/м). Суточные вариации электрического поля атмосферы связаны с суммарной грозовой деятельностью по земному шару, но зависят также от местной грозовой деятельности.

Магнитное поле Земли. Напряженность магнитного

поля Земли характеризуется двумя составляющими. Горизонтальная составляющая максимальна у экватора (20 ... 30 А/м) и убывает к полюсам (до единиц А/м). Вертикальная составляющая у полюсов около 50 ... 60 А/м, уменьшаясь у экватора до пренебрежимо малой величины. На земном шаре имеются отдельные области, где вертикальная составляющая намного превосходит (положительные аномалии) или ниже не доходит (отрицательные аномалии) до среднего значения.

ЭМП атмосфериков. Частотный спектр атмосфериков от сотен герц до десятков мегагерц. Максимум интенсивности их находится вблизи 10 кГц. Интенсивность грозовой деятельности, всегда и везде минимальная в утренние часы, повышается к ночи. Во время вспышек на Солнце атмосферерики значительно усиливаются.

Радиоизлучение Солнца и галактик. Спектр радиоизлучения Солнца и галактик занимает область приблизительно от 10 МГц до 10 ГГц. В спокойном состоянии интенсивность солнечного излучения находится в пределах от 10^{-10} до 10^{-8} Вт/м². Во время вспышек излучение усиливается в несколько десятков раз. Спектр и интенсивность радиоизлучения галактик близки к спектру и интенсивности спокойного Солнца. Эти составные части ЭМП биосферы образуют естественный радиопон.

ЭМП искусственных источников. Интенсивность радиоизлучения искусственных источников находится в непосредственной зависимости от мощности генераторов, доли энергии, передаваемой на излучение, а также от коэффициентов направленного действия излучателей и расстояния до излучателей. Интенсивность антенных полей может изменяться (в зависимости от перечисленных факторов) от долей микроватта до нескольких ватт на квадратный сантиметр, от сотен микровольт до сотен вольт на метр. «Паразитные» излучения аппаратуры определяются, кроме мощности устройств, тщательностью экранировки. Характерная особенность радиоизлучения этого вида в отличие от природных — высокая когерентность (частотная и фазовая стабильность), означающая также высокую концентрацию энергии в очень узких областях спектра (например, десятки герц для телеграфной, единицы килогерц для радиотелефонной, единицы мегагерц для радиолокационной аппаратуры и т. д.).

Искусственный радифон. Это суммарный эффект всех излучающих радиосредств земного шара, и прежде всего длинноволнового, средневолнового и коротковолнового диапазонов. Интенсивность искусственного радифона находится в пределах от десятков микровольт до десятков милливольт на метр и имеет явно выраженные суточные колебания, которые при современной насыщенности радиодиапазона зависят фактически полностью от условий распространения радиоволн. Например, максимум интенсивности диапазона 10 ... 20 м приходится на дневные и вечерние часы, 30 ... 70 м — на вечерние и ночные, 200 ... 500 м — на вечерние, ночные и утренние.

Механизмы взаимодействия ЭМП с живыми организмами весьма многообразны, качественно различные процессы протекают на всех уровнях: молекулярном, клеточном, организационном и популяционном. Рассмотрим некоторые из этих процессов.

Внутриклеточная и межклеточная среды обладают удельным электрическим сопротивлением, равным 100—300 Ом·см, и относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{отн}} \approx 80$. Оболочки (мембраны) клеток имеют удельное поверхностное сопротивление до 1,10 Ом·см², их удельная поверхностная емкость 0,1—3 мкФ/см². Если такую ткань поместить в постоянное электрическое поле, то она в той или иной степени поляризуется: заряженные частицы — ионы, всегда имеющиеся в жидких средах тканей, вследствие электролитической диссоциации молекул переместятся вдоль силовых линий поля в стороны полюсов, противоположных их зарядам, дипольные молекулы примут ориентацию в том же направлении. В переменных ЭМП электрические свойства живых тканей зависят от частоты, причем с возрастанием частоты они все более теряют свойства диэлектриков и приобретают свойства проводников. Необходимо отметить, что такое изменение свойств происходит неравномерно, что особенно заметно для проводимости.

Существование потерь энергии ЭМП на токи проводимости и смещения в тканях организма приводит к образованию тепла при облучении. Количество тепла, выделяемое в единицу времени в теле со средней удельной проводимостью $\sigma_{\text{ср}}$ (Ом⁻¹см⁻¹) при воздействии на него раздельно электрической и магнитной составляющих

на частоте f (Гц), определяется следующими зависимостями:

$$Q_E = 8,4 \cdot 10^{-20} \cdot 6^{-1} \cdot E^2 \cdot f^2 \left[\frac{Дж}{мин} \right];$$

$$Q_H = 8,4 \cdot 10^{-16} \cdot 6^{-1} \cdot f^2 \cdot H^2 \left[\frac{Дж}{мин} \right].$$

Наличие отражения на границе «воздух—ткань» приводит к уменьшению теплового эффекта на всех частотах приблизительно одинаково. С учетом значения коэффициента отражения ρ на границах раздела между некоторыми тканями, поглощенная энергия будет равна

$$P_{пог} = P_0 (1 - \rho),$$

где $P_0 = I_0 \cdot S_{эфф}$ — падающая на тело энергия; $S_{эфф}$ — эффективная поверхность тела.

Глубина проникновения ЭМП в глубь тканей зависит от резистивных и диэлектрических свойств тканей и от частоты.

Существование между различными тканями организма областей с меньшей диэлектрической проницаемостью (радиоконтрастные области) приводит к возникновению резонансов — стоячих волн большой амплитуды — и в конечном счете локальным нагревам (микронагревам). При экспериментальных облучениях животных замечался как отрицательный, так и положительный градиент изменения температуры от поверхности внутрь тела. Если при этом механизм терморегуляции тела не способен путем рассеяния избыточного тепла предупредить перегревание тела, то возникает так называемый тепловой эффект воздействия ЭМП. Известно, что перегревание тела отрицательно отражается на функциональном состоянии организма человека, и повышение его температуры на 1°C и выше недопустимо.

Из-за пониженного отвода тепла от некоторых органов (глаза и ткани семенников — в них очень мало кровеносных сосудов) эти органы тела наиболее уязвимы для облучения.

С развитием и усложнением организма, кроме простейших физико-химических, все большее и большее влияние на организм в целом оказывают эффекты, основанные на биофизических и физиологических механизмах действия ЭМП, которые суммарно проявляются в так называемом специфическом или информационном

эффектах. Это — кумуляционный, стимуляционный, сенсibilизационный и дезадаптационный эффекты.

Кумуляция состоит в накоплении суммарного эффекта при воздействии длительного или прерывистого облучения.

Сенсibilизация заключается в повышении чувствительности организма после слабого облучения к последующим воздействиям.

Стимуляция — улучшение под влиянием ЭМП общего состояния организма или чувствительности отдельных его органов. Например, на притепловых интенсивностях наблюдается стимулирующее действие микроволн, улучшение чувствительности глаз человека, адаптированных к темноте; на более высоких интенсивностях этот эффект не отмечался.

Относительно недавно обнаружено дезадаптирующее действие СВЧ-излучений — снижение приспособляемости организма к другим видам воздействия, в частности к шуму, рентгеновским излучениям, тепловому воздействию, т. е. СВЧ-поле является типичным стрессором.

Длительное систематическое воздействие на организм человека ЭМП, особенно диапазонов УВЧ и СВЧ, при интенсивностях выше предельно допустимых может привести к некоторым функциональным изменениям в нем, в первую очередь в нервной системе. Эти изменения проявляются в головной боли, нарушении сна, повышенной утомляемости, раздражительности и т. д.

Поля СВЧ с интенсивностями значительно ниже теплового порога способствуют истощению нервной системы. Изменения в сердечно-сосудистой системе выражаются в виде гипотонии, брадикардии и замедлении внутрижелудочной проводимости, а также в изменениях состава крови, печени и селезенки, причем все эти изменения ярче выражены на более высоких частотах.

Долгое время господствовала энергетическая теория воздействия ЭМП на биологические объекты. На основании этой теории любое возможное влияние ЭМП на биологические объекты, как и на подобные им по электрофизическим свойствам неживые объекты, должны быть обусловлены теми или иными энергетическими взаимодействиями ЭМП, т. е. преобразованием электромагнитной энергии в другие формы, при котором возникающий эффект зависит от величины действующей энергии ЭМП.

Последние биологические исследования показали, что организмы самых различных видов — от одноклеточных до человека — чувствительны к постоянному магнитному полю и ЭМП различных частот при воздействующей энергии на десятки порядков (!) ниже теоретической. Следовательно, оценки, выведенные из концепции энергетического взаимодействия ЭМП с биологическим веществом, оказались несостоятельными. Противоречивость теории и в том, что вместо предсказываемой пропорциональной зависимости биологических эффектов от интенсивности воздействующих ЭМП экспериментально были установлены иные соотношения. Оказалось, что в одних случаях реакции живых организмов на ЭМП возникают только при некоторых «оптимальных» интенсивностях; в других — эффекты возрастают при уменьшении интенсивности воздействия ЭМП; в третьих — при малых и больших интенсивностях реакции противоположны по характеру. Ну и так далее...

Таким образом, возникла необходимость в принципиально новом теоретическом подходе к проблеме биологической активности ЭМП, который не только не противоречил бы экспериментальным данным, но, наоборот, мог послужить основой для их интерпретации, для выявления соответствующих механизмов. И такой подход возможен на основе теории информации. Применение этой теории к биологии показало, что наряду с энергетическими взаимодействиями в биологических процессах существенную (если не главную) роль играют информационные взаимодействия. Такие взаимодействия характеризуются преобразованием информации, ее передачей, кодированием, хранением. Биологические эффекты, обусловленные этими взаимодействиями, зависят уже не от величины энергии, вносимой в ту или иную систему, а от попадающей в нее информации. Сигнал, несущий информацию, вызывает перераспределение энергии в самой системе, управляет происходящими в ней процессами. Если чувствительность воспринимающих систем достаточно высока, передача информации может осуществляться при помощи весьма малой энергии. Информация может накапливаться в системе при многократном повторении слабых сигналов, что проявляется в кумулятивном эффекте.

Правоммерно полагать, что все эти особенности реакций живых организмов на ЭМП связаны с каким-то

биологическими системами, сформированными в процессе эволюции для восприятия информации из внешней среды. Установлено, например, что периодические изменения естественных ЭМП внешней среды, регулирующие влияют на функционирование живой природы — на ритм основных физиологических процессов, на способность животных ориентироваться в пространстве, на процессы размножения в популяциях и т. д.

Установлено, что максимально чувствительны к ЭМП целостные организмы, меньше — изолированные органы и клетки и еще меньше — растворы макромолекул. Свойство восприятия слабых естественных ЭМП возникает только в достаточно сложно организованных биологических системах, а наиболее полно оно проявляется лишь в целостном организме.

Нормирование электромагнитных полей. Наиболее важный биофизический аспект защиты от ЭМП — установление их предельно допустимых интенсивностей, потенциально опасных для человека, и формы представления полей, т. е. нормирование. Критерии опасности могут быть различными, например: доля летальных исходов или необратимых отрицательных последствий, кратковременное снижение трудоспособности до минимально возможного уровня; еще обеспечивающего выполнение определенной задачи, появление обратимых последствий, ухудшение самочувствия или, наконец, первые выраженные реакции организма и гипотетически установленные генетические последствия.

Нормирование включает в себя как первый и весьма важный элемент — выбор критерия, ибо различие в величинах энергий, биологически эквивалентных всем перечисленным выше критериям, составляет огромную величину 10^{10} — 10^{12} раз. Нормирование ЭМП состоит из двух этапов: выбор и обоснование нормируемого параметра ЭМП, адекватно характеризующего степень воздействия; определение предельно допустимого (одного при одноуровневом и нескольких при многоуровневом нормировании) уровня выбранного параметра. Второй этап является, по существу, выбором критерия.

В качестве нормируемых параметров ЭМП в диапазоне $f < 300$ МГц используются абсолютные значения напряженностей электрического E [В/м] и магнитного H [А/м] полей, в диапазоне $f > 300$ МГц (СВЧ) норми-

руется ППМ. Такой принцип нормирования объясняется двумя обстоятельствами.

1. На частотах $f < 300$ МГц ($\lambda > 1$ м) рабочее место может оказаться в ближней зоне (зоне индукции) излучателя, граница которой отстоит от излучателя на $r_{б.з} \ll \ll \lambda/2\pi$.

Энергия ЭМП в ближней зоне сосредоточена около проводника. Векторы E и H сдвинуты по фазе во времени на 90° , вектор Умова—Пойнтинга равен нулю — излучение во внешнее пространство отсутствует. ЭМП характеризуется напряженностями составляющих его электрического и магнитного полей:

$$E = \frac{I \cdot l}{2\pi\epsilon \cdot \omega r^2}; \quad H = \frac{I \cdot l}{4\pi r^2},$$

где I — ток в проводнике (излучателе); l — длина проводника (антенны).

В диапазоне СВЧ ($f > 300$ МГц) ближняя зона расположена в непосредственной близости у излучателя, и рабочие места попадают в дальнюю зону (зону дифракции).

В общем случае — при изотропном излучении — граница между промежуточной и дальней зоной отстоит от излучателя на расстоянии

$$r_{д.з} \gg \lambda/\pi.$$

При направленных антеннах это расстояние в направлении главного максимума излучения равно

$$r_{д.з} = \frac{D^2}{\lambda},$$

где D — максимальный размер «раскрыва» антенны. В свободном пространстве дальняя зона уходит в бесконечность.

В дальней зоне векторы E и H колеблются в фазе, ЭМП сформировано и его ППМ определяется выражением

$$\text{ППМ} = \frac{P_{\text{изл}} \cdot G}{4\pi r^2 L},$$

где $P_{\text{изл}}$ — мощность, излучаемая антенной;

G — коэффициент направленного действия (КНД) антенны;

r — расстояние до антенны;

L — затухание ЭМП на пути распространения.

2. Контроль (измерение) интенсивности ЭМП — это составная часть защитных мероприятий — производится на частотах $f < 300$ МГц по напряженностям E и H (с использованием штыревых или рамочных антенн), а на частотах $f > 300$ МГц — по ППМ (с использованием рупорных антенн).

Эти два обстоятельства (попадание рабочего места в ближнюю или дальнюю зоны и особенности измерения интенсивности ЭМП по диапазону частот) и определяют принцип нормирования ЭМП по напряженности в диапазоне $f < 300$ МГц и по ППМ в диапазоне $f > 300$ МГц.

Воздействие ЭМП на человека сопровождается кумулятивным эффектом, стало быть, при нормировании учитывается время его пребывания в ЭМП определенной интенсивности.

Предельно допустимая напряженность ЭМП на рабочих местах и там, где может находиться персонал, связанный профессионально с воздействием ЭМП, не должна превышать в течение рабочего дня:

по электрической составляющей, В/м:

50 — для частот от 60 кГц до 3 МГц;

20 — для частот от 3 до 30 МГц;

10 — для частот от 30 до 50 МГц;

5 — для частот от 50 до 300 МГц;

по магнитной составляющей, А/м:

5 — для частот от 10 кГц до 1,5 МГц;

0,3 — для частот от 30 до 50 МГц.

Допустимы уровни и выше указанных, но не более чем в 2 раза в случаях, когда время воздействия электромагнитного поля на персонал не превышает 50% продолжительности рабочего дня.

Принципы и методы защиты от электромагнитных полей. Защита — заключительный этап всего цикла работ по безопасности персонала и населения в зоне действия мощных источников ЭМП. В широком плане под защитой понимаются любые мероприятия по снижению интенсивности ЭМП.

Проектирование любой системы защиты начинается со сравнения допустимого максимума интенсивности ЭМП, определенного в соответствии с действующими нормативами, с реальной интенсивностью ЭМП, прогнозированием или измерениями. В результате получа-

ют величину необходимого ослабления электромагнитной энергии.

Выбор метода или сочетания методов защиты — это поиск оптимума их экономических показателей с учетом срока ввода объекта в строй, влияния на его характеристики, эксплуатационные удобства и т. п. Защитные мероприятия классифицируются по группам (инженерно-технические, организационные, лечебно-профилактические), по масштабу (коллективные, локальные, индивидуальные), по принципу действия. Рассмотрим способы защиты от ЭМП, придерживаясь их классификации по принципам действия. Последние могут быть прямо выведены из принципа нормирования ЭМП. Они соответствуют входящим в эти условия величинам.

I. Ограничение времени пребывания людей в зоне с повышенной ППМ ЭМП.

II. Снижение мощности ($P_{\text{изл}}$), излучаемой антенной в эфир.

III. Соответствующие размещения рабочих мест и ориентация главного лепестка диаграммы направленности.

Получив в конце прошлого столетия первые понятия о возможностях электрической энергии, человек всего за полтора-два поколения окружил себя этой энергией настолько плотно, что невозможно придумать, где же он без нее обходится. Проблемы создания энергоэкономичных источников света упомянуты в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года». Признается необходимость срочно решить ее, ведь на электрическое освещение в нашей стране тратится огромное количество энергии.

Основные светотехнические понятия и определения. Один из важных вопросов охраны труда — организация рационального освещения производственных помещений и рабочих мест. Это, в свою очередь, улучшает условия зрительной работы, «смягчает» зрительное и нервное утомление, улучшает координационную деятельность. Хорошее освещение усиливает деятельность дыхательных органов, способствует более интенсивному поглощению кислорода.

Напряженность зрительной работы из-за нерационального освещения может стать причиной функцио-

нальных нарушений в зрительном анализаторе истроить зрение (вплоть до его потери).

Усталость органов зрения зависит от напряженности сопровождающих зрительное восприятие процессов — адаптации, аккомодации и конвергенции. Адаптация — приспособляемость глаза к изменению условий освещения (уровня освещенности). Полное время на приспособление глаз к меньшей яркости — 60—90 мин, а время на приспособление к большей яркости (световая адаптация) — 5—10 мин. Аккомодация — способность, благодаря изменению кривизны хрусталика глаза, к ясному видению предметов на различном расстоянии. Конвергенция — способность глаз при рассматривании предметов занимать положение, при котором зрительные оси обоих глаз пересеклись бы на фокусируемом предмете.

Электромагнитные колебания с длинами волн от 10 до 340 000 нм называются оптическим спектром, который делится на ультрафиолетовое ($\lambda = 10 \div 380$ нм), видимое ($\lambda = 380 \div 780$ нм) и инфракрасное излучение ($\lambda = 780 \div 340\,000$ нм). Инфракрасные лучи отличает преимущественно тепловое воздействие на организм человека. В зависимости от интенсивности образуются перегревы и даже ожоги.

Ультрафиолетовая часть спектра оказывает сильное биологическое и фотохимическое воздействие на человека. Длительное отсутствие солнечного света приводит к физиологическим изменениям в его организме — вследствие ультрафиолетовой недостаточности. Кроме того, отсутствие ультрафиолетового излучения способствует распространению инфекционных заболеваний.

Оптимальные условия зрительной работы прямо зависят от цветового решения производственного помещения. При светлой окраске помещения при той же мощности источников света освещенность повышается на 20—60 %, уменьшается резкость теней, световой поток по помещению распределяется более равномерно, снижается яркостный контраст между светильниками и освещаемыми поверхностями. Для оптимизации освещенности в помещениях, окрашенных в темный цвет, приходится применять более мощные источники света, однако даже тогда остаются контрастные светотени, утомляющие зрение.

Основная задача освещения в производственных по-

мещениях — обеспечение оптимальных условий для видения. Эта задача решается выбором наиболее рациональной системы освещения и источников света.

Основные величины. При проектировании системы освещения учитываются количественные и качественные показатели. Первые — лучистая энергия и лучистый поток, световой поток, освещенность и яркость.

Лучистая энергия измеряется в джоулях. Мощность источника лучистой энергии (количество энергии, излучаемой в единицу времени) называется лучистым потоком и измеряется в ваттах. Часть лучистого потока, воспринимаемая зрением человека как свет, называется световым потоком и измеряется в люменах (лм).

Сила света (I) — пространственная плотность светового потока, равная отношению светового потока к величине телесного угла, в котором равномерно распределяется этот световой поток. Единица силы света — кандела (кд). $I = F/\omega$, где ω — телесный угол.

Освещенность (E) — поверхностная плотность светового потока $E = F/S$, где S — площадь освещаемой поверхности, м². За единицу освещенности принят люкс (лк).

Яркость (B) — сила света, излучаемая с единицы площади поверхности в заданном направлении $B = \frac{I \cdot \rho}{S}$, где ρ — коэффициент отражения поверхности. Единицей яркости является кд/м² (нит). Коэффициент отражения поверхности (ρ) характеризует ее способность отражать световой поток.

Показателями, характеризующими условия зрительной работы, являются фон, контраст объекта с фоном, видимость объекта.

Фон — поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым, если его коэффициент отражения $\rho > 0,4$, средним — при $\rho = 0,2 \div 0,4$ и темным — при $\rho < 0,2$.

Контраст (K) объекта с фоном — характеризует различимость объекта на фоне и определяется соотношением яркостей объекта (точка, линия, знак, риска и т. п. элемента различения) и фона

$$K = \left| \frac{B_0 - B_{\phi}}{B_0} \right|,$$

где B_0 и B_{ϕ} — яркости соответственно объекта и фона,

нт. При $K > 0,5$ контраст объекта с фоном считается большим, при $K = 0,2 \div 0,5$ — средним, при $K < 0,2$ — малым.

Наименьший различимый глазом контраст называется пороговым контрастом ($K_{\text{пор}}$). При наиболее благоприятных условиях глаз различает контраст, начиная от 0,01—0,015.

Видимость (v) характеризует способность глаза воспринимать объект и определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном из выражения

$$v = \frac{K}{K_{\text{пор}}}.$$

К качественным показателям освещения относятся коэффициент пульсации освещенности, показатель ослепленности и равномерность распределения яркости в поле зрения.

Коэффициент пульсации освещенности (K_n) — характеристика колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током. Коэффициент пульсации освещенности K (%) определяется по формуле

$$K_n = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{cp}}} 100\%,$$

где E_{max} , E_{min} и E_{cp} — максимальное, минимальное и среднее значение освещенности за период ее колебания, лк.

Коэффициент пульсации освещенности при освещении помещений газоразрядными лампами, питаемыми переменным током частотой 50 Гц, не должен превышать значений, приведенных в таблице.

**Максимально допустимые значения
коэффициента пульсации k_n , %**

Система освещения	Разряд работы по нормам		
	I и II	III	IV—VIII
Система общего освещения	10	15	20
Система комбинированного освещения:			
а) общее	20	20	20
б) местное	10	15	20

Показатель ослепленности p — характеристика слепящего действия, создаваемого осветительной установкой и определяемая по формуле

$$p \approx \left(\frac{v_1}{v_2} - 1 \right) \cdot 1000,$$

где v_1 и v_2 — видимости объекта различения при наличии и экранировании блеских источников света в поле зрения.

Блескость — повышенная яркость светящихся поверхностей, вызывающая ослепленность, т. е. ухудшение видимости объектов. Различают прямую блескость (от источников света) и отраженную (от поверхностей с большим коэффициентом отражения).

Прямую блескость ограничивают уменьшением яркости источников света, увеличением высоты подвеса светильника и правильным выбором защитного угла светильников. Отраженную блескость ослабляют правильным выбором направления светового потока на рабочую поверхность, заменой блестящих поверхностей матовыми.

Показатель ослепленности в производственных помещениях, как правило, не должен превышать 20 для работ I и II разрядов и 40 — для работ III, IV и VIII разрядов.

Равномерность распределения яркости в поле зрения характеризуется отношением максимальной освещенности к минимальной. Частая адаптация глаз при работе в помещении с большой неравномерностью яркости сильно утомляет зрение.

Отношение максимальной освещенности к минимальной при проектировании общего освещения (независимо от системы освещения) не должно превышать при люминесцентных лампах — 1,5; при лампах накаливания — 2.

Под понятием «разряды» понимаются разряды норм освещенности, приведенные СНиП II-4—79 «Нормирование искусственного освещения».

При выполнении работ I—IV разрядов применяют, как правило, системы комбинированного освещения. Для них $E_{\text{комб}}$ является суммой освещенности от общего и местного освещения, т. е.

$$E_{\text{комб}} = E_{\text{общ}} + E_{\text{мест.}}$$

Освещенность $E_{\text{общ}}$ в системе комбинированного ос-

вещения должна составлять 10% от нормы $E_{\text{комб}}$, при этом наименьшее и наибольшее значения освещенности (лк) должны приниматься следующими:

- для газоразрядных ламп $150 \leq E_{\text{общ}} \leq 500$;
- для ламп накаливания $50 \leq E_{\text{общ}} \leq 100$.

Качество освещения зависит также от цветности светового потока и его направленности. Спектральный состав светового потока должен подчеркивать различие рассматриваемого объекта и фона.

Освещение рабочих мест. Для производственных помещений используется освещение трех видов: естественное (лучистая энергия солнца и рассеянный свет небосвода), искусственное (от электрических ламп), смешанное — сочетание естественного и искусственного освещения.

Различают три системы естественного освещения: боковое (через окна в наружных стенах здания), верхнее (через фонари и световые проемы в перекрытиях зданий) и комбинированное (боковое и верхнее).

Искусственное освещение по функциональному назначению подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное. Рабочее — создает необходимые условия освещенности при нормальном режиме работы осветительных установок. Оно обязательно во всех помещениях и на открытых пространствах.

Аварийное освещение обеспечивает минимально необходимые осветительные условия для продолжения работы при временном выходе из строя рабочего освещения. Оно устраивается в случаях, когда отсутствие освещения может вызвать тяжелые последствия для людей, длительно нарушить производственный процесс, прервать нормальное функционирование жизненных центров предприятий и узлов обслуживания потребителей.

Эвакуационное освещение, как явствует из названия, служит для эвакуации людей из помещений при авариях рабочего освещения в местах, опасных для прохода людей, на лестницах и по основным проходам производственных помещений.

Охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) организуется вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время.

Аварийное и эвакуационное освещение питается от

автономных источников питания, которые при аварии рабочего освещения включаются автоматически.

Промышленные предприятия освещаются двумя системами — общего и комбинированного освещения, т. е. совокупности общего и местного освещения. Общим называют освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения, как занятую рабочими местами, так и вспомогательную; местным — освещение, предназначенное для определенного рабочего места. Устройство одного местного освещения запрещено нормами. Общее освещение может быть равномерным и локализованным, когда световой поток распределен с учетом неравномерного расположения рабочих мест.

С точки зрения удобства эксплуатации система комбинированного освещения имеет преимущества по сравнению с системой общего освещения: упрощается обслуживание светильников местного освещения, обеспечивающих большую часть освещенности на рабочем месте; нет произвольного расхода электроэнергии из-за того, что можно выключить освещение, когда работа на конкретном месте не проводится.

Санитарными нормами и правилами СНиП II-4—79 устраивать системы комбинированного освещения рекомендуется в производственных помещениях, где выполняются точные работы, относящиеся к I—IV разряду, на рабочих местах, требующих изменения направления света в процессе работы, в помещениях с оборудованием, рабочие поверхности которого расположены вертикально или наклонно.

Система общего освещения может быть рекомендована для помещений с высокой плотностью расположения оборудования, если оно не создает теней на рабочих поверхностях и не требует изменения направления света; там, где работа не требует большого и длительного напряжения зрения; в производственных помещениях, где по всей площади выполняются однотипные работы (крупноборочные цехи).

Аварийное и эвакуационное освещение. Наименьшая освещенность рабочей поверхности производственных помещений, требующих обслуживания в аварийном режиме, должна составлять 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк. Осветительные установки должны иметь специальную маркировку.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать освещенность на полу и ступеньках лестниц не менее 0,5 лк.

Для этих систем освещения следует применять лампы накаливания и люминесцентные лампы.

Эритемное освещение. В действующих «Санитарных нормах проектирования промышленных предприятий СН 245—71» содержится требование об устройстве установок искусственного ультрафиолетового облучения в производственных помещениях без естественного освещения или с недостаточным по биологическому действию естественным освещением.

В таких помещениях устраивается эритемное освещение с помощью установок ультрафиолетового облучения (длина излучаемых волн $\lambda = 290—320$ нм).

Различают установки длительного и кратковременного действия (фотарии). Установки кратковременного действия предусматриваются в помещениях с постоянным пребыванием не менее 10 человек. Количество эритемных светильников — 10—12 шт. на 100 м² площади. Источник излучения — лампа ЛЗ-30-1. Установки включают в течение осенне-зимнего и раннего весеннего периодов года с учетом светоклиматических особенностей местности. В средней полосе эти установки включаются с ноября по март.

Фотарии устраиваются на тех предприятиях, где установки длительного действия проявлять нецелесообразно или недопустимо (подземные работы и т. п.). Фотарии функционируют в те же месяцы, но облучение проводится по 2—3 мин ежедневно с помощью источников ультрафиолетового облучения.

ЗАЩИТА ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА И ВИБРАЦИИ

Основные понятия и их физические параметры. Все физические тела в состоянии колебания вызывают продольные колебания частиц воздушной среды, которые в направлении распространения воспринимаются человеком посредством органов слуха как звуковые колебания. Однако ухо человека воспринимает не все коле-

бания, а лишь те, частота которых находится в диапазоне от 20 до 20 000 Гц. Колебания с частотой выше 20 000 Гц называются ультразвуком.

Звук или совокупность звуков различных частот и интенсивностей, вызывающих неприятные субъективные ощущения, называется шумом.

Передача энергии от колеблющихся частиц к соседним сопровождается повышением и понижением давления в воздушной среде. За единицу звукового давления принимается давление в одну дину на квадратный сантиметр, что составляет миллионную долю атмосферы.

Шум характеризуется интенсивностью или силой, определяемой количеством энергии, проходящей в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной к направлению распространения шума.

Акустическое сопротивление является важной характеристикой среды, в которой распространяется звук, так как им определяются звукоизолирующие свойства материалов.

Человек способен нормально воспринимать звуковые колебания в некотором определенном диапазоне интенсивности, ограниченном верхним и нижним порогами. Пороговые значения интенсивности шума можно установить только для определенной частоты, так как воспринимаемая тональность звуковых шумов зависит от их частотного состава. Так, например, при частоте 100 Гц порог слышимости (минимальная интенсивность шума, воспринимаемая человеком) равен $J_0 = 10^{-16}$ Вт/см², в то время как болевой порог равен $J = 10^{-2}$ Вт/см². В диапазоне от порога восприятия до болевого порога интенсивность шума изменяется в миллион раз, поэтому для удобства создания шкалы измерений интенсивность шума выражают не в абсолютных единицах (которые записывались бы многозначными числами), а в логарифмах отношений абсолютных величин к эталонной интенсивности шума. Такая логарифмическая единица применяется для характеристики уровня интенсивности (силы) шума и называется децибелом (дБ).

Уровень силы шума определяется соотношением

$$L = 10 \lg \frac{J}{J_0},$$

где L — сила шума, дБ;

J — интенсивность шума, Вт/см²;

J_0 — эталонная интенсивность шума, равная порогу слышимости при $f=1000$ Гц ($J_0=10^{-16}$ Вт/см²).

Болевой порог силы звука составляет примерно 130 дБ. Шум силой 150 дБ для человека уже невыносим.

При необходимости определения силы шума от нескольких источников в точке, равноудаленной от них, пользуются выражением

$$L = L_1 + 10 \lg N,$$

где L_1 — уровень силы шума одного источника, дБ;

N — число источников шума.

Как следует из определения силы шума, его величина не может характеризовать восприятие шума человеком, так как физиологическое восприятие шума зависит не только от его интенсивности, но и от частоты. Поэтому для характеристики шума с точки зрения его физиологического восприятия введено понятие громкости шума.

Количественную оценку уровня громкости шума различных источников выводят, сравнивая его с шумом при частоте 1000 Гц, для которого уровень силы условно принят равным уровню громкости. Для измерения уровня громкости шума введена единица — фон. За один фон принят уровень громкости шума частотой 100 Гц при уровне силы шума в 1 дБ.

Влияние шума и вибрации на организм человека. Уже из определения шума следует, что он оказывает неприятное воздействие на человека. Степень воздействия определяется интенсивностью, продолжительностью звучания и частотой, причем наиболее вредны шумы, спектр которых имеет в своем составе звуки с частотой 400 Гц и выше.

Физиологическое действие шума отражается на различных органах человека, причем с развитием механизации и повышением интенсивности шумов люди могут получать физические и психологические заболевания. Прежде всего продолжительный шум может привести к усталости уха и глухоте. Действуя на центральную нервную систему, шум нарушает деятельность многих органов и систем организма: ухудшается зрение, ослабляется внимание, повышается артериальное давление и нарушается ритм сердечной деятельности, ухудшается

деятельность органов дыхания. Вызывая ослабление памяти и внимания, шум притупляет чувствительность человека к предупредительным сигналам, создавая тем самым угрозу травматизма. Насколько сильно сказывается вредное действие шума на человека, видно из следующего примера: длительное (несколько часов) воздействие шума силой 80—90 дБ снижает на 37% число перистальтических сокращений желудка человека.

К вибрациям относятся колебания с частотой от десятых долей до сотен герц. В условиях производства источники вибрации — различного рода динамически не уравновешенные механизмы (двигатели внутреннего сгорания, компрессоры, вентиляторы, насосы и др.). Степень вредного влияния вибраций на организм человека определяется величинами колебательных скоростей и ускорений.

При малых амплитудах (до $2 \cdot 10^{-5}$ м) и частотах более 16 Гц главную роль в восприятии человека играет скорость колебаний. При небольших амплитудах и малых частотах на восприятие влияет ускорение колебательного процесса.

Под влиянием длительного воздействия вибраций на человека изменяется деятельность нервной, сосудистой и костной систем: ослабляется память, появляются спазмы сосудов сердца, гангрена конечностей, падает мышечная сила, уменьшается вес и т. п.

Вибрационная болезнь особенно опасна тем, что эффективно лечить ее можно только на ранних стадиях. Запущенная вибробольеьнь приводит к утрате трудоспособности. Одно из наиболее важных условий для оздоровления условий труда — мероприятия по устранению или снижению шума и вибраций.

Для защиты здоровья трудящихся в Советском Союзе впервые в мире проведено нормирование допустимых уровней шума и вибрации на рабочих местах и в производственных помещениях. Предельно допустимые уровни шумов устанавливаются нормированием уровней звукового давления шумов, как возникающих внутри помещений, так и проникающих в помещения извне.

Санитарными нормами регламентированы уровни звукового давления не только внутри помещений, но и снаружи жилых и общественных зданий. Если источники шума расположены на расстоянии от ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, пре-

вышающем 2 м, то уровень звукового давления в нормируемой зоне можно рассчитать по приближенной формуле

$$L_x = L_{ш} - 20 \lg x - 8,$$

где L_x — уровень звукового давления на расстоянии от источника шума, дБ;

x — расстояние от источника шума, м;

$L_{ш}$ — уровень звукового давления на расстоянии 1 м от источника, дБ.

Ограничение и устранение вибрации и шума. Организационные меры ограничения шума и вибрации сводятся к уменьшению шума источников и рациональной организации работ. Шум производственных машин и агрегатов связан с механическими вибрациями деталей, из-за динамических усилий. Динамические усилия возникают при неуравновешенности, зазорах и недостаточной жесткости крепления деталей и узлов. Динамические усилия, возникающие от неуравновешенного груза, определяются массой этого груза и числом оборотов машин. Очевидно, что они во много раз превышают массу неуравновешенного груза.

Чтобы устранить вибрацию, производят статическую и динамическую балансировку деталей; заменяют детали из металла на детали из материалов со значительным внутренним трением; крепления деталей, агрегатов и узлов выполняют жесткими; устраняют излишние зазоры в узлах и сочленениях. В качестве материалов с высоким внутренним трением используют резину, войлок, асбест и др.

Рациональная организация работ предусматривает частые перерывы для отдыха в нешумной среде и использование индивидуальных средств защиты — противошумов и антифонов. Наружные противошумы закрывают всю ушную раковину и изготавливаются в виде коробочек из проклеенной прессованной бумаги, губчатой резины или кожи, заполненных ватой или другими звукопоглощающими материалами. Внутренние противошумы — это эбонитовые, резиновые или ватные шарики, вкладываемые в наружное слуховое отверстие уха. Наилучшей эффективности при этом добиваются с помощью тампонов УТВ.

Технические средства борьбы с шумом и вибрациями сводятся к организации звукоизоляции источников и

применению звукопоглощающих устройств. На пути шума устраивают преграды. При встрече звуковых волн с преградой часть энергии шума отражается, часть поглощается и только небольшая доля проходит через преграду. Степень звукопоглощения, отражения и пропускания характеризуется коэффициентом (соответственно α , β , τ).

Степень отражения и поглощения энергии шума определяется физическими свойствами шума (частотой) и материалом ограждающих конструкций (его пористостью, конфигурацией, толщиной). На звукоизоляцию физические свойства материалов не влияют.

Соотношения между коэффициентами α , β , τ характеризуют качество звукоизолирующей преграды ($\alpha + \beta + \tau = 1$), α и β измеряются в десятых, а τ — в тысячных долях единицы.

Устраивать звукоизолирующие покрытия стен целесообразно в небольших по объему помещениях, так как в больших помещениях, насыщенных оборудованием, звуковая энергия максимально поглощается, еще не достигнув стен. Известно, что воздушная среда обладает некоторой звукопоглощающей способностью и сила шума убывает в воздухе пропорционально квадрату расстояния от источника.

Внутри помещений уровень громкости шума выше, чем на открытом пространстве, из-за многократных отражений от различных поверхностей, обеспечивающих продолжение звучания даже после прекращения работы источника (реверберация). Уровень реверберации зависит от степени звукопоглощения.

Величина звукопоглощения A определяется коэффициентом звукопоглощения α и размерами звукопоглощающих поверхностей:

$$A = \sum \alpha \cdot S.$$

Значение коэффициентов звукопоглощения различных материалов известны. Для обычных пористых материалов — войлока, ваты, пористой штукатурки — оно колеблется в пределах $\alpha = 0,2 \div 0,8$. Кирпич и бетон почти не поглощают звук ($\alpha = 0,01 \div 0,03$).

Степень ослабления шума при применении звукопоглощающих покрытий определяется в децибелах из выражения

$$\delta = 10 \lg \frac{\alpha_2}{\alpha_1},$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты звукопоглощения в помещении до и после обработки стен.

Например, при обработке кирпичных стен ($\alpha_1=0,03$) пористой штукатуркой ($\alpha_2=0,3$) шум в помещении ослабляется на

$$\delta = 10 \lg \frac{0,3}{0,03} = 10 \text{ дБ.}$$

Для уменьшения вибраций, передаваемых конструктивными элементами зданий, стремятся изолировать машины от фундаментов, так как на распространение звука по конструкциям решающее влияние оказывает материал конструкции (величина внутреннего трения). Средством изоляции служат различные амортизаторы (стальные пружины, резина, пробка).

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В последнее время радиоактивные изотопы эффективно работают в приборостроении. С их помощью контролируют технологические процессы, качество изделий и т. д. Кроме того, интенсивно внедряются установки, работа которых сопровождается ионизирующим излучением (рентгеновские установки, атомные реакторы и др.). Поскольку все настойчивее заявляет о себе атомная энергетика, возрастает число людей, подвергающихся опасности облучений. Соответственно все большее значение приобретают защитные мероприятия и рациональная организация труда в данной области.

Основные физические определения. К ионизирующим относятся корпускулярные (альфа-, бета-, нейтронные) и электромагнитные (гамма-, рентгеновские, космические) излучения, способные при взаимодействии с веществом прямо или косвенно создавать в нем заряженные атомы и молекулы — ионы.

α -частицы представляют собой поток ядер гелия, испускаемых радиоактивным веществом. Ионизирующая способность α -частиц, определяемая их энергией, зависит от вида радиоактивного изотопа и колеблется в пределах 4,0—8,8 МэВ, что соответствует длине пробега в воздухе от 2,5 до 8,6 см, а в мягких биологиче-

ских тканях — от 31 до 105 мкм соответственно. Значительная масса α -частиц ограничивает их скорость и увеличивает число столкновений в веществе, поэтому α -частицы обладают высокой ионизацией и низкой проникающей способностью.

β -частицы — это поток электронов или позитронов, возникающих при радиоактивном распаде. Их максимальная энергия изменяется в диапазоне 0,0005—3,5 МэВ, максимальный пробег в воздухе составляет 1800 см, а в биологических тканях — 2,5 см. Ионизирующая способность β -частиц ниже, а проникающая способность выше, чем у α -частиц, так как у них значительно меньшая масса и большая скорость распространения в веществе.

Нейтроны, представляющие поток незаряженных частиц, могут взаимодействовать только с ядрами атомов, не проявляя непосредственного ионизирующего воздействия. Однако при взаимодействии нейтронов с ядрами атомов образуются либо заряженные частицы (выбитые из электронной оболочки ядра атомов), либо γ -лучи (при захвате нейтронов ядром атома), которые и осуществляют ионизацию.

γ -лучи представляют собой высокочастотное ($f = 10^{20}—10^{22}$ Гц) электромагнитное излучение, возникающее при переходе атомов из одного энергетического состояния в другое в процессе ядерных реакций или радиоактивного распада. Длина волны γ -лучей равна $10^{-9}—10^{-12}$ см.

Рентгеновское излучение также является электромагнитным излучением с малой длиной волны ($\lambda = 10^{-6} \div 10^{-9}$ см, $f = 10^{17} \div 10^{19}$ Гц). Оно возникает при торможении быстрых электронов в веществе.

Как рентгеновское, так и гамма-излучение обладает малой ионизирующей (несколько пар ионов на 1 см пути в воздухе) и большой проникающей способностью. Как и нейтроны, они вызывают вторичную ионизацию.

Космическое излучение представляет собой коротковолновые электромагнитные колебания с длиной волны $13,7 \cdot 10^{-14}—3,28 \cdot 10^{-14}$ см. На уровне моря величина его незначительна: не превышает естественной радиоактивности земных пород и значительно меньше допустимых доз для человеческого организма.

Когда ионизирующее излучение проходит через вещество, оно воздействует на атомы вещества, теряя, од-

нако, часть своей энергии. Степень ионизации и количество энергии, поглощенной веществом, есть мера взаимодействия ионизирующих излучений с веществом. Для количественной характеристики этого взаимодействия введены понятия: доза излучения, поглощенная доза, мощность дозы излучения, энергия излучения и др.

Степень ионизации вещества в результате взаимодействия с ионизирующими излучениями можно оценить по величине электрического заряда, который из этого вещества формирует корпускулярная эмиссия. Мерой ионизационной способности рентгеновского или γ -излучения является доза излучения. За единицу ее принят рентген — доза рентгеновского или гамма-излучения в воздухе, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия на 0,001293 г воздуха производит в воздухе ионы, несущие заряд в одну электростатическую единицу электричества каждого знака (число 0,001293 представляет массу 1 см³ воздуха).

Под поглощенной дозой излучения принято подразумевать энергию ионизирующего излучения, поглощенную в единице массы облучаемого вещества. Единица поглощенной дозы — рад — равна 0,01 джоуля на килограмм облученного вещества.

Для сравнения радиоактивных изотопов с различными видами излучений введен так называемый радиевый гамма-эквивалент радиоактивного препарата, измеряемый в миллиграмм-эквивалентах радия. Соотношение между активностью изотопа и его гамма-эквивалентом определяется выражением

$$M = Q \frac{K_{\gamma}}{8,4}; \quad Q = M \frac{8,4}{K_{\gamma}},$$

где M — гамма-эквивалент изотопа, мг-экв радия;

Q — активность изотопа, мки;

K_{γ} — полная гамма-постоянная данного изотопа;

8,4 — гамма-постоянная радия при платиновом фильтре толщиной 0,5 мм.

Доза излучения, поглощенная в массе вещества за единицу времени, называется мощностью дозы:

$$P = \frac{D}{t};$$

где D — доза излучения, поглощенная в массе вещества, рад;

t — время облучения, с.

Влияние ионизирующих излучений на организм человека. В процессе ионизации вещества, вызванной прохождением через него ионизирующих излучений, образуются две заряженные частицы: положительный ион (атом, потерявший один или несколько электронов) и отрицательно заряженный электрон или атом, присоединивший электрон. Часть атомов вещества не ионизируется, но под воздействием энергии облучения возбуждается (электрон не отрывается от атома, а переходит на более удаленную орбиту).

Возбужденные атомы и ионы существуют ничтожно малое время (порядка 10^{-6} с), после чего ионы рекомбинируются (воссоединяются), а возбужденные атомы излучают избыток энергии и переходят в исходное состояние. Однако процесс рекомбинации заканчивается образованием исходных атомов только в том случае, если вещество состоит из атомов одного и того же элемента. В сложных веществах в процессе рекомбинации различных ионов образуются новые молекулы, не свойственные химическому составу вещества. Кроме того, появляются свободные радикалы с ненасыщенными валентностями, например: атомарный водород, гидроксильная группа OH и др. Образование химически активных радикалов приводит к образованию новых химических реакций в веществе, причем чем сложнее химический состав вещества, тем более сложные химические реакции в нем возникают. Очевидно, что в живом организме под воздействием ионизирующих излучений происходят аналогичные процессы, причем очень сложные. Возникновение новых химических реакций и веществ нарушает жизнедеятельность организма. При увеличении количества ионизирующих атомов увеличивается число биологических нарушений, следовательно, биологическое действие ионизирующих излучений определяется величиной поглощенной энергии.

Ионизирующие излучения обладают различной проникающей способностью. Излучения одинаковых энергий создают одну и ту же ионизацию на различных путях пробега в живой ткани. Для сравнения биологического действия различных излучений пользуются понятием их относительной биологической эффективности (ОБЭ). У ионизирующего излучения показывается, во сколько раз биологическое действие данного вида излучения отличается от биологического действия β -частиц или γ -лу-

чей (биологическое действие β -частиц и γ -лучей одинаково, так как ионизирующее действие γ -лучей обусловлено вторичными электронами). Относительная биологическая эффективность α -лучей, протонов и быстрых нейтронов равна 10, тепловых нейтронов — 3.

Для оценки дозы облучения с учетом различного биологического действия излучения введена специальная единица — биологический эквивалент рентгена, — равная количеству энергии любого вида излучения, которое, будучи поглощено в единице веса биологической ткани, вызывает такой же биологический эффект, что и один рентген гамма- или рентгеновских лучей. Иногда биологический эквивалент рентгена удобно выражать через единицы поглощенной дозы: $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} \times \text{ОБЭ}$.

Исход поражения организма человека ионизирующим облучением определяется не только величиной поглощенной дозы, выраженной в биологических эквивалентах рентгена, но и проникающей способностью излучения. Излучения с малой проникающей способностью поражают только кожный покров, в то время как излучения с большой проникающей способностью поражают внутренние органы человека.

При небольших дозах облучения на исход поражения влияют индивидуальные особенности человека — нарушения деятельности центральной нервной системы и другие заболевания снижают устойчивость человека к облучению. Наибольшая устойчивость к облучению проявляется у людей в 25—50 лет.

Все ионизирующие облучения разделяются на внешние (возникают от внешних источников) и внутренние (возникают от воздействия радиоактивных изотопов, попадающих внутрь организма). Это разделение учитывается при нормировании ионизирующих облучений.

Мероприятия по защите от ионизирующих излучений. Организационные меры защиты — это мероприятия по организации работ с радиоактивными веществами и источниками радиоактивных излучений, по устройству и оборудованию помещений, по очистке от радиоактивных загрязнений и удалению отходов, по использованию индивидуальных средств защиты.

К устройству помещений не предъявляется специальных требований, если работа ведется с закрытыми источниками. При работах с открытыми источниками существует возможность загрязнения помещения, и к

его устройству предъявляются специальные требования.

Стены, полы и потолки выполняются с гладкими поверхностями, без резких выступов и покрываются материалами, с которых легко удалять радиоактивные загрязнения. Полы должны быть только из пластмассы, линолеума и т. п., но не из дерева и бетона. Потолки штукатурятся и окрашиваются клеевой краской. В помещениях не допускаются архитектурные украшения. Мебель выполняется простой формы, на высоких ножках, наружные поверхности окрашиваются масляной краской, а рабочие поверхности покрываются пластиком или стеклом. В помещениях устраиваются раковины вблизи рабочих мест, к которым подводится горячая и холодная вода. Душевые, общая и специальная канализация имеют устройства для очистки. Общеобменная вентиляция предусматривает кратность не менее трех. Выбрасываемый воздух очищается специальными фильтрами.

Хранилища радиоактивных изотопов устраиваются в подвалах с бетонными стенками, потолком и перегородками, с закрывающимся люком.

Транспортируют радиоактивные изотопы в специальных контейнерах, размеры которых значительно увеличены по сравнению с объемом, занимаемым изотопом, — для создания защиты расстоянием. Количество изотопа в одном контейнере строго регламентировано по величине активности. Работа с изотопами проводится при тщательном соблюдении правил личной гигиены и безопасности труда. При этом не разрешается пить, есть, курить, пользоваться косметическими средствами и обязателен контроль уровня излучений посредством дозиметрических приборов. Работа с испаряющимися источниками проводится в вытяжных шкафах. При любом повышении радиоактивности выше допустимого уровня обслуживающий персонал покидает помещение, дверь запирается и вызывается служба безопасности.

Удаление и захоронение радиоактивных отходов в СССР осуществляется по системе, по которой сбор, временное хранение, транспортировка и захоронение отходов осуществляется централизованно для отдельных областей, районов, населенных пунктов.

Пункты захоронения устраиваются на расстоянии не ближе 20 км от городов, желательно в лесу в райо-

не глинистых почв и оборудуются бетонными могильниками, расположенными под землей. Мощность дозы γ -облучения на расстоянии 1 м от поверхности полностью заполненного могильника не должна превышать 18 мрад/ч. Пункты захоронения окружаются санитарно-защитной зоной не менее 1 км в диаметре, их территория обносится оградой с предупреждающими знаками и обеспечивается постоянной охраной.

В качестве индивидуальных средств защиты применяется одежда из различных пленочных материалов (полихлорвинил, полиэтилен), респираторы и противогазы для защиты органов дыхания, обычные очки для защиты от α - и β -излучений и очки для защиты от γ -излучений, в стеклах которых содержится свинец или фосфат вольфрама. При необходимости ремонтных работ в условиях сильных радиоактивных загрязнений используются специальные пневматические костюмы (ЛГ-1 и др.) из пластических материалов с принудительной подачей воздуха под костюм. Защита расстоянием обеспечивается применением приспособлений с удлиненными рукоятками.

Технические средства защиты. К ним относятся различные экраны из материалов, отражающих радиоактивное излучение. Экраны могут быть как стационарные, так и передвижные. При расчете защитных экранов определяются их материал и толщина, которые зависят от вида излучения и необходимой кратности его ослабления. Расчет защитных экранов базируется на законах взаимодействия различных видов излучений с веществом.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

**В 1991 году в серии «ТЕХНИКА»
будут опубликованы следующие материалы:**

**Техника 2000 года:
«Да» и «нет» качественной металлургии
Сборник**

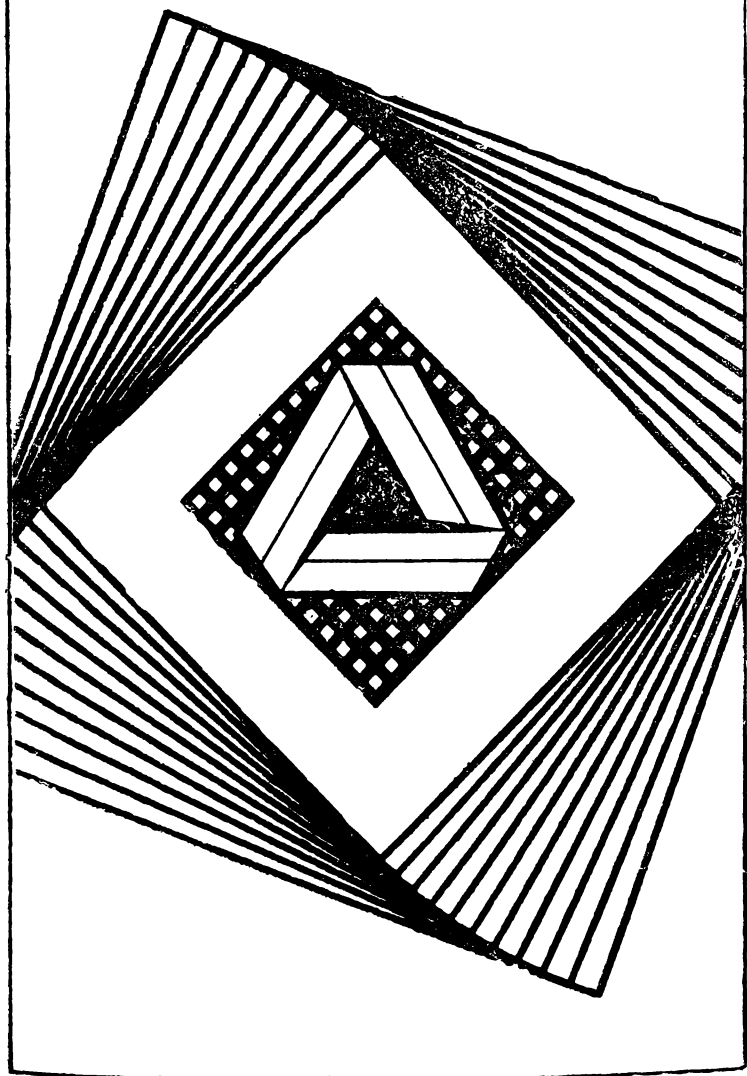
**«Сверх, сверх, сверх...»
Материалы небывалых параметров
Сборник**

**Эра новых технологий.
Под знаком ротора
Сборник**

**Инженерия. Опровергая стереотипы
Сборник**

**Прокладывая новые пути.
Техника разоружения
Сборник**

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОЗРЕНИЕ



СПАСТИ ЧЕЛОВЕКА!

...Новейший реактивный истребитель МИГ-29 во время демонстрационного полета под Парижем потерпел аварию. За две секунды до того, как он врезался в землю и взорвался, летчик-испытатель Анатолий Квочур воспользовался катапультирующим устройством. Несмотря на столь экстремальные условия, летчик остался цел и невредим. Ведущие специалисты, наблюдавшие за полетом во время работы международного салона в Ла-Бурже, отдавая должное самообладанию и мастерству пилота, отметили, что жизнь ему спасло унифицированное катапультное кресло, которое по своим характеристикам превосходит лучшие западные образцы, а также парашютный купол.

Как известно, одним из первых о спасении человека в воздухе задумался еще Леонардо да Винчи. Среди его бумаг был обнаружен рисунок человека, спускающегося с помощью «шатра из накрахмаленного полотна, каждая сторона которого имеет 12 локтей в длину и столько же в ширину...». Потом у него было много последователей, изобретавших разные варианты как жесткого, так и мягкого куполов. Но, пожалуй, использование парашюта в качестве средства спасения именно в авиации, при прыжках с аэропланов, началось по-настоящему лишь с изобретения Г. Е. Котельникова.

Причиной того, что актер Петербургского императорского театра вдруг занялся изобретательством в несвойственной ему области, явилась трагедия, одним из очевидцев которой он стал. В сентябре 1910 г. во время Всероссийского праздника воздухоплавания, состоявшегося на Комендантском поле под Петербургом при огромном стечении народа, на глазах у почтенной публики, как говорили тогда, разбился известный пилот капитан А. М. Мациевич. Он не мог воспользоваться парашютом, поскольку существовавшие в то время свободно складываемые купола годились лишь для парашютных прыжков с неподвижно висевших в воздухе аэростатов.

И вот Котельников в течение года нашел принципиально новое решение. Подавая заявку на «спасательный ранец для авиаторов с автоматически выбрасываемым парашютом», изобретатель так сформулировал суть новинки:

«Действие прибора состоит в том, чтобы авиатор, имея его (т. е. купол.—*Авт.*) надетым на себя, в случае катастрофы мог выброситься с аэроплана и открыть ранец самостоятельно, дернув за ремень, соединенный с затвором ранца. На случай же неожиданного падения авиатора с летательного аппарата прибор может действовать вполне автоматически. Для этого затвор ранца соединяется с тележкой летательного аппарата с помощью шнура, рассчитанного таким образом, чтобы он, открыв затвор ранца, оборвался под тяжестью падающего человека...»

Последователями Котельникова разработано множество вариантов как ранца, так и помещающегося в нем купола. Нашими соотечественниками — братьями Дорониными и их коллегой Л. Савичевым — изобретен также комбинированный прибор для автоматического раскрытия парашюта, который позволяет прекратить свободное падение через заданное время или на заданной высоте.

Но сегодня очень часто оказывается, что просто иметь «прибор» даже самый совершенный — мало. Скорости полетов возросли настолько, что человеку попросту не под силу одолеть воздушный поток и вывалиться из кабины. Поэтому на помощь парашюту пришло катапультное устройство.

Нельзя сказать, чтобы это новшество летчики сразу восприняли с большим энтузиазмом. «Нет нужды доказывать, — пишет известный летчик-испытатель Герой Советского Союза М. Галлай, — насколько, мягко выражаясь, сильны ощущения человека, применяющего такой способ спасения. Резкий удар снизу, грохот выстрела, пламя, дым, тут же второй, не менее сильный удар о встречный поток воздуха, кувыркание в свободном падении... Словом, до начала плавного спуска на парашюте летчику приходится пройти через многое. И тем не менее другого, более деликатного способа спасения найти не удалось. В последующие годы стало ясно, что катапультирование себя решительно оправдало...»

В настоящее время летчикам удается благополучно катапультироваться даже с нулевой высоты, т. е. когда самолет находится в режиме отрыва от земли, при посадке, пробеге или даже на стоянке. Летчика при этом силой пороховых зарядов выбрасывает на высоту 70 м.

Причем катапульта иногда срабатывает автоматически, по сигналу специального датчика. Дело в том, что реакция даже самого подготовленного и способного летчика оказывается недостаточной для своевременного катапультирования, например при аварии на старте или посадке вертикально взлетающих и садящихся машин. Поэтому и было решено впервые в мировой практике разработать систему, которая будет спасать человека, так сказать, без его ведома.

Пилоты сперва не верили в действенность такой системы. «Как это — я, опытный летчик, и принимать решение в жизненно важной ситуации будет какой-то датчик...» Но специалисты опытного завода «Звезда», где под руководством Героя Социалистического Труда Генерального конструктора Г. Северина разрабатывают системы жизнеобеспечения и спасения, настояли-таки на своем. И они оказались правы. Летная практика показала: англичане, имеющие самолет вертикального взлета «Харьер», но без системы автоматического спасения, имеют 100% потерь летного состава при авариях на режимах взлета и посадки. А у нас спаслись все! Так что сейчас многие пилоты считают, что кресла с системой автоматического катапультирования — это их ангел-хранитель.

Сотрудники «Звезды» работают и над созданием систем космического жизнеобеспечения и безопасности. Работа эта началась с создания космических скафандров, а также систем аварийного спасения. И то и другое в принципе досталось космонавтам в наследство от летчиков — скафандры стали дальнейшим развитием костюмов, компенсирующих перегрузки, а катапультируемые кресла перекочевали из самолетных кабин на первые «Востоки».

Один из способов приземления космонавта — Ю. Гагарин использовал именно его — предусматривал раздельный спуск космонавта и орбитального отсека. Поясняя работу этой системы тогда еще будущим космонавтам, С. Королев начинал с азов, стараясь, чтобы каждый понял всю суть:

«На высоте семь тысяч метров автоматически открывается крышка входного люка и через две секунды катапультируется кресло с космонавтом. Вступит в действие парашютная система. Но космонавт приземлится без кресла, оно отделится от него на высоте четырех тысяч метров. Космонавт же продолжит спуск на парашюте, имея с собой аварийный запас и лодку, автоматически надуваемую воздухом. Это для случая, если сядете на воду...»

Вместе с Королевым космонавты подробно разбирали и так называемые нештатные ситуации. В случае аварии на старте по команде автоматики катапультируемое кресло должно незамедлительно отнести космонавта на безопасное расстояние от ракеты. Выполнить эту задачу помогают специальные ракетные двигатели. Они поднимают кресло на высоту, достаточную для срабатывания парашютной системы даже в том случае, если ракета еще не успела оторваться от земли.

Такова была техника безопасности на «Востоке». Дальнейшее развитие система аварийного спасения получила на последующих кораблях серий «Восход», «Меркурий», «Джемени», «Аполлон», «Союз»...

Современный вариант этой системы выглядит так. На самом верху многоступенчатой ракеты-носителя располагается сравнительно небольшой конус с утолщением-«юбкой» внизу. Отсюда наклонно вниз смотрят многочисленные дозы ракетных двигателей. Все вместе это двигательная установка системы аварийного спасения.

Мощности аварийных двигателей, конечно, не хватает, чтобы тащить за собой всю ракету. Да это и не нужно. Для спасения экипажа достаточно, чтобы аварийная система увлекла за собой ввысь лишь командный отсек. Там, на высоте не менее полутора километров, отработавшие свое аварийные двигатели отсоединяются; в действие вступит парашютная система. Люди благополучно вернутся на поверхность Земли.

Подобный способ используется лишь на высотах от 0 до 30 км. При прохождении кораблем тридцатикилометровой высоты двигательная установка системы аварийного спасения сбрасывается — она уже не нужна. В случае аварийной ситуации на большой высоте спасение экипажа осуществляется по-другому: командный отсек отсоединяется от ракеты-носителя вместе с двигателем космического корабля за счет его тяги. Теперь

для этого есть уже время и необходимое расстояние. Отделившись, экипаж производит разворот космического корабля на 180° . (Это же может быть сделано и по команде с Земли.) Двигатель теперь работает в режиме торможения. Корабль входит в плотные слои атмосферы. Дальше все следует обычным порядком, и раскрывшиеся парашюты ставят последнюю точку в несостоявшейся катастрофе.

За годы существования практической космонавтики случалось уже всякое. Прошли испытания и системы аварийного спасения. Вот лишь некоторые примеры.

В апреле 1975 г., когда производился запуск космического корабля с космонавтами В. Лазаревым и О. Макаровым на борту, на участке работы третьей ступени произошел сбой: ракета-носитель стала отклоняться от заданной траектории. Тотчас автоматика отдала команду на прекращение полета. Сработала аварийно-спасательная система, космонавты вернулись на Землю.

Еще более сложная ситуация сложилась 10—12 апреля 1979 г. во время полета Н. Рукавишникова и гражданина НРБ Г. Иванова. Экипаж должен был состыковаться с орбитальным комплексом «Салют-6» — «Союз-32». Однако при подходе к станции на корабле «Союз-33» произошла авария сближающе-корректирующей установки. Стыковку пришлось отменить.

Специалисты ЦУПа, тщательно проанализировав создавшееся положение, приняли решение о приземлении корабля. Однако выполнить на практике это решение оказалось не так-то просто. Обычно корабль входит в плотные слои атмосферы по так называемой аэродинамической траектории. Перегрузки космонавтов, нагрев поверхности корабля из-за трения о воздух растут постепенно... Но в данном случае корректировать траекторию было нечем — ведь основная двигательная установка оказалась неисправной. Оставался аварийный вариант — дать тормозной импульс при помощи запасной установки и приземляться по неуправляемой, баллистической траектории. Говоря проще, падать камнем.

«Впечатление было такое, что на грудь въехал «Запорожец», — прокомментировал потом особенности спуска Н. Рукавишников. Однако тренированные люди с

честью выдержали испытание. Оказался достаточным запас прочности и у техники...

Ну а если бы двигатели «Союза-33» отказали совсем, пришлось бы посылать на выручку спасательный корабль. Такая ситуация моделировалась в ходе всем известной совместной экспедиции «Союз» — «Аполлон». Правда, на практике такая надобность еще ни разу не возникала, но это, впрочем, вовсе не значит, что она никогда и не понадобится.

Когда на орбите стали появляться первые МТКК — многоразовые транспортные космические корабли, — специалисты некоторое время были настолько уверены в их высокой надежности, что специальных мер безопасности для экипажа не предусматривали. Катастрофа «Челленджера», стоившая жизни 7 астронавтам, положила конец этим надеждам. «Челноки» пришлось срочно переделывать, повышая надежность их систем, устанавливая на них и системы аварийного спасения. Теперь экипаж, облаченный в скафандры, может покинуть корабль с помощью специальной штанги, выпускаемой за борт.

На МТКК других конструкций, например на французском «Гермесе», предусматривается и система аварийного катапультирования, подобная той, что когда-то устанавливалась на «Востоке». Предусматривается и установка универсальных стыковочных узлов, с тем чтобы космонавты всех стран мира могли приходить на выручку друг другу. Разрабатываются также индивидуальные аварийные капсулы — нечто вроде миниатюрных спасательных лодок. В такую капсулу космонавт терпящего бедствие корабля может влезть в течение нескольких секунд, загерметизироваться там и ждать, пока не подоспеет помощь.

...Так что, как видите, техника безопасности в космосе достигла поистине космических высот. И развитие ее продолжается. В тот момент, когда пишутся эти строки, радио передает репортаж об испытаниях «космического мотоцикла». Это устройство, позволяющее космонавту самостоятельно передвигаться на расстояние в несколько сот метров, может быть использовано не только для монтажных, осмотровых и других работ в космосе, но и позволит в случае необходимости космонавту быстро прийти на выручку своему товарищу.

ЛЕКТОРУ НА ЗАМЕТКУ

ЧЕГО НЕ ХВАТИЛО В ГОСТИНИЦЕ «РОССИЯ»!

У всех еще свежи в памяти воспоминания о пожаре, случившемся несколько лет назад в гостинице «Россия». Причем дело не столько, пожалуй, в самом пожаре — такие происшествия случаются в мире довольно часто, — а в тех жертвах, которые он принес, и недостатках техники безопасности, которые он выявил. Вовремя прибывшие пожарные оказались не в силах помочь людям — их лестницы не доставали до верхних этажей.

Как спасти человека в таком случае? Какую технику применять? Ведь далеко не всегда здесь полезен и вертолет — как показывает практика, с помощью винтокрылых машин людей сподручнее всего снимать с крыш небоскребов да, пожалуй, еще с балконов...

Между тем существуют издавна устройства самоспасения, специально предназначенные для подобных случаев. Первое, вероятно, было предложено еще Леонардо да Винчи. Оно представляло собой своеобразный барабан, сквозь который пропускались витки веревки. При спуске имеющийся в барабане механизм за счет сил трения уменьшал скорость снижения до приемлемой величины. Человек не падал, а именно спускался...

Подобные же тормозные устройства используют альпинисты, каскадеры во многих странах мира. Внесли свою лепту в благородное дело спасения людей и советские изобретатели. Представьте себе: человек быстро закрепляет над оконным проемом устройство, похожее на большую рулетку, к концу высовывающейся из него стальной ленты пристегивает карабин спасательного пояса и прыгает вниз. Лента быстро доставляет испытателя на землю, а как только карабин отстегивается, сразу же самостоятельно сматывается в кассету, готовая для следующего спуска.

В этом спусковом устройстве А. Бессонова и М. Очана в качестве преобразователя энергии использован маховик. Как известно, когда начинается пожар или иное подобное происшествие, как правило, электричество отключается, и единственный запас энергии, которым можно воспользоваться, — потенциальная энергия тела, расположенного высоко над землей. Вот этой энергией

и воспользовались изобретатели, чтобы, во-первых, плавно опустить человека на землю и, во-вторых, вернуть устройство в исходное положение.

Проще говоря, устройство представляет собой обычную стальную рулетку, лента которой намотана на общий вал с маховиком. Вот человек прицепил конец ленты к спасательному поясу и бросился из окна вниз. Под весом его тела лента начинает разматываться. По мере сматывания с барабана радиус рулона ленты все уменьшается, а значит, вал крутится все быстрее, и человек со все большей скоростью устремляется к земле... Так было бы в том случае, если бы не было маховика. Однако он за счет своей массы сдерживает скорость разматывания ленты, используя энергию сначала на свой разгон, а разогнавшись до определенной скорости, в конце спуска — на энергичное притормаживание спускающегося.

Дело в том, что второй конец ленты закреплен на оси не жестко, а с точно рассчитанным проскальзыванием. Размотавшись до конца, жестко закрепленная лента под действием вращающегося момента маховика должна была бы сматываться в противоположную сторону и последовал бы резкий рывок. Однако на практике этого не происходит. Второй конец ленты, закрепленный кольцом, надетым внатяг на вал маховика, начинает проскальзывать и в самом конце спуска притормаживается. В итоге, например, при спуске с высоты 100 м при средней скорости спуска 6 м/с в самом конце она становится вчетверо меньшей. Это эквивалентно прыжку с высоты... 35 см.

А когда человек отцепляет карабин спасательного пояса, нагрузка на ленту уменьшается, кольцо перестает проскальзывать, и лента под действием маховика снова наматывается на вал — устройство готово к действию.

Впрочем, как бы быстро оно ни действовало, у него все же налицо два цикла — рабочий и возвратный. А вот изобретение американского изобретателя Р. Бейкера способно действовать непрерывно, подобно заводскому конвейеру.

В 1980 г. он увидел по телевидению пожар в одном из высотных отелей Лас-Вегаса (штат Невада), при котором погибло 84 человека. Причина — опять-таки ни пожарные лестницы, ни вертолеты не смогли эвакуиро-

вать людей из верхних этажей здания. Потрясенный увиденным, Р. Бейкер и сконструировал из нейлоновой сетки что-то вроде длинного чулка, а точнее спасательный рукав, пригодный для спуска попавших в беду людей даже с высоты двадцатого этажа.

Пользование этим устройством предельно просто. В случае необходимости рукав закрепляется у оконного проема, и люди один за другим влезают в него ногами вперед и скользят вниз, регулируя скорость спуска при помощи рук — раздвигая их и тормозя о стенки нейлонового рукава.

Однако и этому устройству, как и многим другим, свойствен один недостаток — его нужно иметь на том этаже, с которого нужно спастись. А если под рукой нет ни рукава, ни рулетки?.. Тогда единственная надежда на собственную смелость и сообразительность спасателей. Специально для таких случаев многие пожарные команды имеют среди своего снаряжения прочные брезентовые полотнища со вшитыми по краям ручками. Держась за эти ручки, пожарные растягивают полотнище и предлагают спасаемому прыгать.

Конечно, с многоэтажной высоты полотнище выглядит весьма небольшим и ненадежным. Но тут уж нужно преодолеть себя. Тем более что альтернатива еще печальнее — не будете прыгать, рискуете сгореть заживо!.. Причем каскадеры и цирковые артисты, которым довольно часто приходится пользоваться подобного рода страховочными сетками, предупреждают: приземляться надо обязательно на спину! Лишь в этом случае вы можете застраховаться от возможных последствий падения, начиная от обычного синяка и кончая переломами позвоночника.

Если же вас такой способ все же не устраивает, держите при себе веревочную лестницу или моток прочной бечевы. А еще лучше — держитесь подальше от высотных зданий.

КАК РЕЗАТЬ СТЕКЛО!

Дежурный ответ: «Алмазом или стеклорезом...» Но спросите стекольщика, насколько легко ему работается, и вы узнаете, что резка стекла обычным инструментом — операция малопроизводительная, дающая много брака, тяжелая физически, да к тому же еще и небезо-

пасная — острые кромки, обрезки стекла легко могут поранить руки, а стеклянная крошка может залететь и в глаз...

Поэтому ученые, инженеры, изобретатели продолжают совершенствовать методы резки стекла, разрабатывая безопасные приемы и технологии. Сегодня его режут и обрабатывают алмазными кругами на специальных станках с копировальными устройствами, а то и с числовым программным управлением.

Однако такие устройства, по существу, являются модернизированными стеклорезами. Настоящую революцию в данном деле могут принести лишь методы, основанные на иных физических методах. Так во всяком случае считает преподаватель Макеевского инженерно-строительного института А. Карпенко. И вот что он придумал.

«Стекло обладает хорошими диэлектрическими свойствами, зато слабой термопластичностью и высокой механической хрупкостью. Поэтому нужно сделать устройство, где эти свойства стекла придут в противоречие», — размышлял изобретатель.

И вот на стекло опускают панель. Снизу на ней укреплена сетка из проводов с высоким электрическим сопротивлением. Провода сильно раскалены, поэтому, когда сетка касается листа, стекло тотчас распадается на правильные куски, соответствующие конфигурации проволоочной сетки.

Физика явления очень проста. Горячий проводник касается холодного стекла. Если бы оно было термопластичным, то тепло могло бы просто «растечься», не приводя к значительным механическим деформациям материала. Будь стекло хорошим проводником тока — прогрелось бы по всей площади и даже по объему. В данном же случае стекло мгновенно нагревается лишь по узким полоскам вдоль проводников. Это, конечно, приводит к тепловому расширению данных участков. А поскольку в соседних участках размеры стекла остались прежними, то оно и лопается, не выдерживая возникающих механических напряжений.

Автоматический раскройщик стекла, работающий на новом принципе, позволяет в 5 раз ускорить работу и практически совсем избавляет стеклозаводы от брака.

Еще более неожиданный на первый взгляд физический принцип был положен в основу резки стекла сотрудниками Института общей физики АН СССР А. Суходольским и С. Растоповым. Впрочем, чтобы все было до конца понятно, нужно рассказывать по порядку.

На гладкий стол ставят обычную трехлитровую банку, наполненную темной жидкостью. На боку ее фиксируют солнечный луч, сфокусированный оптической системой, а еще лучше — пучок лазерного излучения. Через несколько секунд раздается невнятное урчание, затем потрескивание. Банка начинает дрожать, словно живая, и двигается по полированной поверхности...

Нет, это вовсе не фокус, а несколько необычное проявление обычных законов природы. Вы, конечно, слышали, как шумит закипающий чайник, видели, как в жидкости образуются при нагревании многочисленные пузырьки. Они растут на дне чайника, в самой нагретой его части, всплывают и исчезают, схлопываются вверху, где вода еще не успела достаточно прогреться.

Данный эффект и был использован в опыте физиков. Источник тепла здесь — солнце или лазер. Лучи, сведенные в точку на боку банки, быстро нагревают небольшой объем прилежащей жидкости до кипения. А как только вода закипает, появляется пузырек, который стремительно растет до определенных пределов, ограниченных нагретым объемом. Как только он достигает холодной жидкости, тотчас происходит схлопывание. А это, оказывается, довольно сложный процесс, описываемый уравнением движения тела с переменной массой.

Чтобы совсем уж не углубляться в дебри физики, скажем, что подобными уравнениями описываются движения ракеты при старте или кавитационных пузырьков в жидкости, которые, как известно, могут разрушать даже корабельные винты, сделанные из прочнейшей стали...

В нашем опыте парогазовый пузырек, расширяющийся под действием тепла подобно распрямляющейся пружине, расталкивает частицы воды, заставляя ее стремиться вверх-вперед. Дойдя до границ холодного объема, он схлопывается, стремительно уменьшается в объеме. При этом возникает как бы отдача, заставляющая банку сделать крошечный — всего около 30 мкм «шажок». Конечно, маленькому пузырьку ни за что бы

не сдвинуть с места довольно-таки тяжелую банку, если бы ему значительную помощь не оказывал «эффект кнута».

Волна, возбуждаемая рукой на толстом конце бича, пробегая по нему, все больше наращивает скорость, преодолевая к тонкому концу даже звуковой барьер (отсюда, кстати, и громкий звук, сходный с тем, что издают самолеты при переходе звукового барьера). Так и пузырек, все время меняя размеры согласно законам движения тела с переменной массой, накапливает к концу своего существования довольно-таки значительную силу — достаточную, чтобы сдвинуть банку с места.

Причем ученые подсчитали: если частота появления и исчезновения пузырьков составляет в секунду от 30 до 200 циклов, это обеспечивает движение банки со средней скоростью около 1 мм/с. Причем $19/20$ всего времени банка находится в воздухе, подбрасываемая немалой силой крошечных пузырьков. Она даже не едет, а как бы плывет, летит над столом.

Какое все это имеет отношение к проблеме резки стекла? Самое непосредственное. На основе открытого физического эффекта в Институте общей физики ведется разработка специальных приспособлений для разных практических целей, в том числе и для резки стекла без помощи обычного стеклореза.

Достаточно поместить стеклянную пластину или лист в кювету с раствором (состав которого экспериментаторы пока не раскрывают — идет процесс патентования), направить лазерный луч по заранее заданной траектории, и парогазовые пузырьки разрежут материал не хуже алмазного резца.

На первый взгляд весьма сомнительно, чтобы какие-то крошечные пузырьки могли заменить алмаз. Но практика убедительно доказывает: таким образом резать стекло намного безопаснее, производительнее, чем по традиционной технологии. И брака практически не бывает.

Так что самые эффективные меры безопасности заключаются не в том, чтобы, скажем, держать руки подальше от какого-то сверхострого резца, а глаза защищать специальными щитками и очками, а в замене таких резцов чем-либо гораздо более действенным и в то же время безвредным с точки зрения здоровья.

Щадинский В. К. Охрана труда в промышленно-
Щ 17 сти. — М.: Знание, 1990. — 64 с. (Новое в жизни,
науке, технике. Сер. «Техника»; № 5).
ISBN 5-07-001354-8
15 к.

Вопросы техники безопасности в промышленности волновали людей уже при появлении первых паровых машин. С тех пор то более, то менее успешно человечество пытается защититься от порожденных его гением технических монстров. О приемах, способах, методах этой борьбы рассказывается в предлагаемой брошюре.

Рассчитана на инженеров, студентов технических вузов, слушателей народных университетов.

2104000000

ББК 65.9(2)248

Научно-популярное издание

Щадинский Владимир Константинович
ОХРАНА ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Гл. отраслевой редактор Л. А. ЕРЛЫКИН
Редактор Г. И. ФЛИОРЕНТ
Мл. редактор Л. В. СУВОРОВА
Обложка художника Э. К. ИППОЛИТОВОЙ
Худож. редактор П. Л. ХРАМЦОВ
Техн. редактор Т. Н. ЗАХАРЕНКОВА
Корректор Н. Д. МЕЛЕШКИНА

ИБ № 10942

Сдано в набор 26.02.90. Подписано к печати 25.04.90. Т-09110. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,68. Уч.-изд. л. 3,35. Тираж 33 093 экз. Заказ 404. Цена 15 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 904405.
Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.



15 коп.

162^a - 334

Индекс 70067



СЕРИЯ

ТЕХНИКА

ТЕХНИКА

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



5'90

В.К.Щадинский

ОХРАНА

ТРУДА

В ПРОМЫШЛЕННОСТИ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ