

ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАБЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

К.г.-м.н. Е.П. Янин,

(Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
г. Москва
yanin@geokhi.ru)

к.т.н. И.И.Потапов

(Всероссийский институт научной и технической информации РАН,
ipotapov37@mail.ru)

Рассматриваются эколого-гигиенические последствия использования для изоляции и защиты кабелей и проводов различных синтетических покрытий. Показано, что при производстве и использовании кабельных изделий указанные материалы являются потенциальными источниками загрязнения производственной и окружающей среды широким кругом различных вредных веществ. Многие из этих веществ обладают высокой токсичностью и способны активно мигрировать в окружающей среде.

Ключевые слова: здоровье населения, эколого-гигиенические аспекты, кабелей и провода, изоляционные синтетические покрытия.

ECOLOGICAL AND HYGIENIC ASPECTS OF USE OF INSULATION MATERIALS IN CABLE INDUSTRY

Yanin E.P., Potapov I.I.

The ecological and hygienic consequences of using various synthetic coatings for insulation and protection of cables and wires are considered

Key word: public health, ecological and hygienic consequences, cables and wires, synthetic coatings.

В настоящее время мировая кабельная промышленность производит более 1000 различных типов проводов и кабелей, которые находят широкое применение во многих отраслях хозяйства и в быту. В частности, электрические провода используются при сооружении линий электропередачи, изготовлении обмоток электрических трансформаторов, монтаже радиоаппаратуры, в устройствах связи и т. д. Силовые кабели и кабельные линии предназначены для передачи и распределения электрической энергии при напряжении промышленной частоты и при постоянном напряжении. Ка-

бель дальней и местной связи применяется для передачи информации электрическими сигналами. Массовое использование в качестве изоляции кабелей и проводов различных синтетических покрытий (резина, поливинилхлорид, полиэтилен, фторопласты, смолы, лаки, эмали, краски, мастики и др. [4, 6, 8]) может создавать определенные эколого-гигиенические проблемы как при производстве кабельной продукции, так и при использовании и утилизации указанных изделий или изделий, содержащих кабели и провода [17]. Они, в первую очередь, обусловлены потенциальной возможностью выделения из изоляционных материалов в окружающую среду различных, в том числе токсичных веществ.

В кабельном производстве широко используются изоляционные (нефтяные и синтетические – кремний-, фтор- и хлорорганические и др.) масла, применяемые в качестве пропиточной и изолирующей среды в маслонаполненных кабелях. Благодаря их применению уменьшаются размеры и металлоемкость аппаратуры и силовых кабелей, снижаются диэлектрические потери. С целью повышения устойчивости к электрическому пробое и увеличения срока смены масел (до 10 и более лет) в них вводят различные присадки (0,2–0,5%) [12]. При изготовлении электрошнуров применяются различные полиэфирные на основе азелашеновой кислоты и этиленгликоля, а в производстве некоторых пластификаторов для изоляционных материалов используется нафталин – представитель углеводородов с конденсированными кольцами. При его дегградации в условиях окружающей среды могут образовываться бензофуран и подобные ему соединения [1] Хорошо известно, что нафталин оказывает негативное действие на теплокровных животных – поражает нервную систему, желудочно-кишечный тракт, почки, вызывает помутнение хрусталика у животных и человека, накопление аммиака в головном мозге (с последним и связывается нарушение функции ЦНС). Как правило, технический нафталин токсичнее чистого из-за примесей фенолов, тионафтенных и ряда других соединений.

В качестве электроизоляционных материалов используются также фторопласты (фторсодержащие полимеры). Известно, что при их нагревании до высоких температур воздух производственных помещений загрязняется мономером и высокотоксичными продуктами пиролизического расщепления (среди которых, дифторфосген, фторхлорфосген, фтористый водород и др.). При вдыхании дисперсной пыли у рабочих может развиваться так называемая полимерная лихорадка, причиной которой являются воздействие как аэрозоля фторопласта, так и газообразных продуктов его термоокислительной деструкции [7], в том числе различных фторпроизводных алканов и алкенов. Эти вещества способны вызывать наркоз и судороги, поражать нервную систему, приводить к развитию поражений легких; некоторые из них являются капиллярными ядами. После повторных и длительных воздействий у рабочих могут регистрироваться изменения в печени [1]. Продукты деструкции фторопласта при нагревании свыше 400°C способны вызывать даже отек легких. Возможно также хроническое действие, при котором отмечаются головные боли, нарушение сна, функциональные расстройства нервной системы.

Широко используемым в кабельной промышленности изоляционным материалом является термопластичный полимер поливинилхлорид (ПВХ, вестолит, хосталит, винол, корвик, сольвик, сикрон и пр.) [13, 15]. Получают его полимеризацией винилхлорида. В различных странах от 13 до 25% всего объема ПВХ используется в кабельной промышленности. ПВХ перерабатывают как в жесткие (винилпласт), так и в мягкие, или пластифициро-

ванные (пластикат), материалы и изделия. Пластикат используется для изготовления изоляции и оболочек для электропроводов и кабелей. Он выпускается в виде гранул, лент, листов, пленок (полимерные пленки). ПВХ содержит: 1) различные термостабилизаторы – акцепторы HCl (соединения свинца, олова, бария, кадмия и соли щелочноземельных металлов), а также иногда эпоксидиановые смолы, амины, органические фосфиты; антиоксиданты фенольного типа; светостабилизаторы (производные бензотриазолов, кумаринов, бензофенонов, салициловой кислоты, саж, оксид титана и др.); 2) смазки (парафины, воски и пр.); 3) пигменты или красители; 4) минеральные наполнители; 5) эластомер (различные сополимеры). Содержание, например, стеарата свинца в смеси ПВХ достигает 1–3%. В пластика-тах, кроме того, присутствуют пластификаторы (эфир фталевой, фосфорной, себациновой или адипиновой кислот, хлорированные парафины). Используемый в качестве сырья для производства ПВХ винилхлорид (хлорвинил, многохлорэтилен) содержит (обычно в незначительном количестве) примеси ацетилен, ацетальдегида, дихлорэтана, хлорпрена и др. (не более тысячных долей процента), HCl, железо (десяти тысячные доли процента). В процессе производства и использования кабельной продукции пластификаторы могут мигрировать из ПВХ на их поверхность, увлекая за собой и другие ингредиенты композиции (например, стабилизаторы). Во время переработки ПВХ-пластиката на кабельных заводах при повышенных температурах (140–200°C), при сжигании и пожарах происходит окисление пластификаторов. В присутствии кислых эфиров и кислот последние разлагаются с образованием карбоновых кислот, олефинов и спиртов. Источником кислых реагентов может быть непосредственно полимер и выделяющийся в процессе нагревания хлороводород. Кислоты образуются также в ходе гидролиза сложных эфиров. Особое значение имеет эмиссия сложных эфиров фталевой кислоты (фталатов) и эфиров фосфорной кислоты. Окисление фталатов приводит к образованию летучих веществ, мигрирующих из полимера, что в свою очередь повышает выделение пластификаторов и других соединений из композиции. Многие пластификаторы токсичны; существуют даже подозрения на их канцерогенность и мутагенность. Сжигание ПВХ обуславливает образование диоксинов, хлороводорода, выделение тяжелых металлов, органических соединений.

В данном обзоре целесообразно дать несколько последних разработок рецептов изоляционных синтетических покрытий.

Полимерные изоляционные пленки в микроэлектронике должны обладать термической стабильностью. В работе *Liu Yang, Dong Mengya, Wang Tanyanyi, Xiong Lishuang, Hang Tao, Ling Huiqin, Hu Anmin, Gao Liming, Li Ming* [22] описаны термически стабильные структуры ароматических амидных циклов, полученные термической обработкой пленок радикально привитой поли(метилакриловой кислоты) (PMAA). Инициатор, тетрафторборат 4-нитробензолдиазония (NBD), может образовывать группы NH₂ (восстановленные группы NO₂) в полимерной пленке. Между группами -COOH (из PMAA) и группами -NH₂ протекает реакция дегидратации при 200°. Полученные продукты представляют внутримолекулярные или межмолекулярные амидные циклы на бензольных циклах, смачиваемость которых меняется от гидрофильной до гидрофобной. Новые структуры демонстрируют отличную термическую стабильность после термообработки, и показатель термической стабильности может достигать 226,6°. Полимерные пленки с SiO₂ показали аналогичные диэлектрические свойства и могут использовать-

ся в качестве очищенных изоляционных пленок в микроэлектронике или полупроводниковой промышленности.

Объемный заряд, который аккумулируется в изоляционных материалах, приводит к искажению локального поля, ускоряет старение материала и угрожает безопасности высоковольтного кабеля постоянного тока. Для подавления явления аккумуляции объемного заряда и улучшения электрических характеристик на постоянном токе сшитого полиэтилена (XLPE) как электроизоляционного материала специалисты из Китая *Zhang Chengcheng, Zhang Hongyu, Li Chunyang, Duan Sixu, Jiang Yang, Yang Jiaming, Han Baozhong, Zhao Hong* [23] его модифицировали смешением с наночастицами полипиррола. Показано, что введение наночастиц полипиррола способствует снижению плотности тока в композициях, улучшению распределения пространственного заряда, но не влияет на сшивание и кристалличность сшитого полиэтилена. Определено оптимальное содержание наночастиц полипиррола для получения композиции XLPE/PPy с высокими электрическими характеристиками.

В России запатентована «**Новая сшитая полимерная композиция для изоляции силового кабеля и силовой кабель**» [24]. Сшитую полимерную композицию получают путем сшивания полимерной композиции, которая имеет показатель текучести расплава (ПТР₂) по меньшей мере 1,7 г/10 мин и содержит полиолефин, пероксид и содержащий серу фенольный антиоксидант. Причем сшитая полимерная композиция имеет индукционный период окисления, который соответствует Z минутам, и содержит количество пероксидных побочных продуктов, которое соответствует W частей на млн., где $0 \leq Z \leq 60$, $0 \leq W \leq 9000$, и $W \leq p - 270 \times Z$, и $p = 18500$. Полимерная композиция содержит менее 0,05 мас.% 2,4-дифенил-4-метил-1-пентена. Полиолефин является полиэтиленом низкой плотности (ПЭНП), который выбран из возможно ненасыщенного гомополимера ПЭНП или возможно ненасыщенного сополимера ПЭНП этилена с одним или более сомономерами. Обеспечивается полимерная композиция с пониженной проводимостью, подходящая для применений в кабелях постоянного тока высокого напряжения и сверхвысокого напряжения.

Группа российских специалистов *Лушко О. Е., Новиков В. В., Федчишин В. В., Смирнов А. П., Суслов К. В., Потатов В. В., Новиков Г. К.* (ИРНИТУ) запатентовали «**Способ радиационной сшивки полимерной изоляции электрических кабелей и проводов и устройство для его осуществления**».

Изобретение относится к способу радиационной сшивки полимерной изоляции электрических кабелей и проводов и устройству для его осуществления. Способ и устройство (реактор с "прозрачным" электродом) для радиационной сшивки полимерной изоляции электрических кабелей и проводов рентгеновским излучением электрического газового барьерного разряда (ЭГБР) относятся к области радиационной модификации полимеров и могут быть использованы при производстве силовых кабелей, бортовых авиационных проводов (БАП), нагревостойких нефтепогружных кабелей, труб, термоусаживающихся пленок, трубок, защитных оконцевательных кабельных кап и т.д. Полимерную изоляцию кабелей и проводов облучают ионизирующими излучениями ЭГБР в среде инертного газа с активирующей добавкой в количестве 0,1 об.% порошка мелкодисперсного диоксида свинца PbO₂, летучего в плазме электрического газового барьерного разряда при повышенной температуре T=100°C и повышенном давлении P=10 атм. Отдельная секция газового реактора состоит из внешнего "непрозрачного" для излучения ЭГБР высоковольтного электрода, выполненного в

виде сплошной стальной трубы; из внутреннего "прозрачного" для излучения ЭГБР заземленного электрода в виде стальной трубы с отверстиями или в виде трубы из стальной сетки; из заполненного инертным газом с активизирующей добавкой в количестве 0,1 об. % порошка мелкодисперсного диоксида свинца PbO_2 , газового разрядного промежутка фиксированной толщины 3 мм, в котором формируется рентгеновское излучение ЭГБР; из диэлектрического барьера в виде кварцевой стеклянной трубы с толщиной стенки 3 мм, прилегающей к внешнему "непрозрачному" для излучения ЭГБР высоковольтному электроду.

Изобретение *Бузлаева А. В. и Глушкина С. В.* (Лидер-Компаунд) [26] **«Электропроводящая полимерная композиция»** относится к кабельной технике и может быть использовано для производства муфт для кабелей с пластмассовой и бумажной изоляцией, а также антистатических покрытий. В электропроводящую полимерную композицию для экранов силовых кабелей, включающую себя полиолефин, полиэтиленовый воск, дистеарат цинка, 2,3-бис[[3-[3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил]пропионил]пропионидразид дополнительно введены неполярный полиолефин, электропроводный технический углерод с удельным объемным сопротивлением $\rho = 8 \div 12 \text{ Ом} \times \text{м}$ (при содержании в полимере), электропроводный технический углерод с удельным объемным сопротивлением не выше $\rho = 0,40 \div 0,60 \text{ Ом} \times \text{м}$ (при содержании в полимере), первичный антиоксидант тиодизэтилен бис[3-(3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил)пропионат], вторичный тиоэфирный антиоксидант дистеарил тиодипропионат.

Изобретение *Свистунова М. Г., Головина В. Е., Кошелева К. К., Кошелевой Г. А., Нестерова Ю. Н., Барашкова О. К.* (Завод "Вестпласт") **«Электроизоляционная полимерная композиция»** [27] относится к кабельной промышленности, а именно к электроизоляционным полимерным композициям для изоляции и оболочек кабелей и проводов. Композиция содержит в мас. ч.: суспензионный поливинилхлорид 100, сложноеэфирный пластификатор 40-80, карбонат кальция 40-160, гидроокись магния или гидроокись алюминия 20-80, свинцовый термостабилизатор 3-6, трехокись сурьмы 3-8, окись цинка 2-8, борат цинка 2-8, дифенилолпропан 0,2-0,4, металлическое серебро в виде наночастиц 0,001-0,030. Изобретение позволяет разработать электроизоляционную полимерную композицию, обладающую пониженным уровнем дымообразования в условиях горения и тления.

Долгих И. К., Кислов П. А. (Проминвест Пластик) запатентовали **«Электроизоляционную композицию»** [28], которая относится к кабельной промышленности, а именно к полимерным электроизоляционным композициям, предназначенным для применения в конструкциях кабельных изделий, эксплуатирующихся в условиях повышенной пожароопасности и повышенных температур при воздействии дизельного топлива и смазочных масел. Электроизоляционная композиция содержит, мас.ч.: сополимер бутиленфталата и полибутиленгликоля с содержанием бутиленфталата (50-95) мас.% и полибутиленгликоля (5-50) мас.% - 20-90, полиэтиленовый воск 1-5, высокомолекулярный полидиметилсилоксан 2-20, дополнительно содержит гидроксид алюминия $Al(OH)_3$ или магния $Mg(OH)_2$ 100-200, сополимер этилена с октеном, либо этилена с винилацетатом, либо сополимер бутадиена с акрилонитрилом, либо сополимер стирола с бутадиеном 8-60, полиэтилен высокой плотности, модифицированный малеиновым ангидридом 2-20. Технический результат - изобретение позволяет обеспечить высокую степень негорючести, пониженное выделение дыма и хлористого водорода при горении в комплексе с повышенными показателями стойко-

сти к воздействию дизельного топлива и смазочных масел, а также стойкости к пониженным температурам.

В воздух производственных помещений, где используется ПВХ, поступает значительное количество пыли этого пластика [7]. При обработке и переработке ПВХ воздушная среда загрязняется также хлорвинилом, эфирами фосфорной и фталевой кислот и др. Парогазовоздушные смеси, образующиеся в результате термоокислительной деструкции ПВХ, могут быть причиной острых и хронических профессиональных отравлений, а контакт с пылью способен привести к формированию патологических изменений в бронхолегочном аппарате профессиональных рабочих. Как правило, явные формы пневмокониоза от пыли ПВХ развиваются у рабочих при стаже работы 10 и более лет. Описаны изменения в костях, известны случаи возникновения полиневритов, часто наблюдаются дерматиты, экземы и другие аллергии. Можно предположить, что в производственных условиях комбинированное действие пыли и различных токсикантов повышает вероятность появления этих изменений. Используемый для производства ПВХ винилхлорид обладает выраженной острой и подострой токсичностью, угнетает нервную систему, вызывает застой и отек легких, гиперемию печени и почек. В опытах на животных установлена его мутагенность, тератогенность и канцерогенность. Международное агентство по изучению рака считает данные относительно винилхлорида достаточными для подтверждения причинной связи между воздействием и раком [5]. В России это соединение включено в список веществ с доказанной для человека канцерогенностью [3]. Многочисленные данные свидетельствуют о возможности миграции винилхлорида из ПВХ-материалов даже в условиях окружающей и жилой среды. Например, в воздухе салонов новых автомобилей винилхлорид обнаруживался в концентрациях 1–3 мг/м³. Естественно, что при производстве и использовании кабельной продукции он будет выделяться в производственную и затем в окружающую среду.

В качестве пластификатора в ПВХ и в некоторых других электроизоляционных материалах одно время использовался гексахлорбензол. Это вещество способно раздражать слизистые оболочки и оказывать наркотическое действие на профессиональных рабочих. Гексахлорбензол весьма устойчив в условиях окружающей среды и накапливается в пищевой цепи, особенно в жировых тканях человека. Длительное воздействие вызывает заболевания печени и половых органов; возможно, что он обладает тератогенным действием и является канцерогеном. Есть сведения, что даже термическое разложение полиэтилена (в присутствии источника хлора, даже неорганических солей, таких, в частности, как поваренная соль) сопровождается образованием галогенводородов, например, хлорированных изомеры бензола (от монохлор- до гексахлорбензола) [16]. Сжигание оболочек проводов и кабелей может сопровождаться эмиссией в атмосферу этих токсичных соединений [21]. Напомним, что благодаря фунгицидным свойствам гексахлорбензол очень широко использовался для протравливания зерна [11]. Способен накапливаться в пищевых продуктах [19], концентрироваться в почвах и грунтовых водах [20]. Считается даже, что гексахлорбензол стал глобальным поллютантом и многие годы идентифицируется в разных компонентах окружающей среды, включая гидробионты, ткани и выделения человека [18]. Он, в частности, обнаружен в донных отложениях притоков Байкала и самого озера, а также в отложениях арктических морей [14].

Используемые в кабельной промышленности различные смолы, пластмассы, канифоли, лаки, эмали и т. п. в определенных условиях могут быть

достаточно опасны, прежде всего, для профессиональных рабочих, поскольку содержат токсичные соединения. Например, при применении эпоксидных смол воздух рабочих помещений загрязняется исходными продуктами и другими ингредиентами, использованными для получения смолы. Эти вещества обладают раздражающими, общетоксическими, сенсибилизирующими свойствами; способны вызывать аллергии. В состав полимерных компаундов, применяемых для заливки и пропитки отдельных элементов и блоков электроаппаратуры с целью электрической изоляции, защиты от внешней среды и механических воздействий, входят полимерные смолы, жидкий кремнийорганический каучук, пластификатор, отвердитель, наполнитель, краситель. Широко распространены компаунды на основе эпоксидных смол; применяются также битумные компаунды. Использование битумов может сопровождаться эмиссией бенз-а-пирена, а различных смол и пластмасс – формальдегида, являющихся опасными поллютантами и обладающих широким спектром негативного воздействия на живые организмы (оба соединения относятся к канцерогенам). В кремнийорганических лаках, применяемые для получения электроизоляционных покрытий (эмали, шпатлевки, грунтовки и пр.) и как материалы для пропитки кабелей, присутствуют пигменты (Al, Fe, Cd, Co, Cr) и наполнители (асбест, слюда, тальк, барит). В некоторых эмалях, грунтовках и шпатлевках пигментами служат TiO_2 , цинковые белила. Многие из названных веществ обладают выраженной токсичностью для человека.

Среди поллютантов, способных выделяться из используемых в кабельной промышленности полимеров, особое место принадлежит сложным эфирам фталевой кислоты (фталатам) и эфирам фосфорной кислоты. Степень токсичности и агрегатное состояние эфиров фосфорной кислоты зависит от органического остатка; 80% из них вызывают расстройство ЦНС с более или менее интенсивными симптомами паралича [2]. Как пластификаторы ПВХ эти соединения (трикрезилфосфит) многократно служили причиной массового отравления. Сложные эфиры орто-фталевой кислоты (фталаты) добавляются в ПВХ в качестве пластификатора (до 40% по массе), а также в другие пластмассы, но в меньшем объеме [16]. По имеющимся данным, до недавнего времени фталаты составляли более 80% от выпускаемых в мире пластификаторов. Эмиссия их в среду обитания происходит при производстве и использовании этих соединений, а также при производстве, переработке и использовании ПВХ и изделий из него. Например, уже в 1973 г. в Канаде была сделана попытка рассчитать эмиссию этих соединений в окружающую среду [16]. Общее количество фталатов, произведенное в то время в стране, оценивалось в 27900 т; 7700 т было импортировано. Из всего количества (35600 т) 98,4% было использовано в качестве пластификаторов, из которых 13,2% – в кабельной промышленности (4,7 тыс. т). Эмиссия эфиров фталевой кислоты для Канады была тогда оценена в 4639,4–5524,4 т или 13,3–15,5% общего количества использованных фталатов. Наибольшая эмиссия их наблюдалась при производстве пластификаторов (578–1145 т), при сжигании мусора (137,1 т). При изготовлении изоляции проводов ежегодно терялось 5–9 т эфиров фталевой кислоты.

Фталаты принято делить на фталаты низких спиртов, к числу которых относятся дибутилфталат (ДБФ), и фталаты высших спиртов, в состав которых входит диоктилфталат, или ди-2-этилгексилфталат (ДЭГФ). К настоящему времени достаточно детально изучено распределение в окружающей среде именно этих наиболее распространенных представителей фталатов. Установлено, что фталаты присутствуют в воздухе городов, при-

чем даже вдали от промышленных зон [16]. Вблизи мусоросжигательных печей в Канаде их концентрации составляли 700 нг/м^3 (ДБФ) и 300 нг/м^3 (ДЭГФ). В атмосферном воздухе (г. Нью-Йорк) содержания ДБФ достигали (в 1977 г.) $4\text{--}6 \text{ мкг/м}^3$, ДЭГФ – $10\text{--}17 \text{ мкг/м}^3$. В районе предприятия по переработке пластмасс уровни фталатов были экстремально высокими (до 10 мг/м^3). В воздухе рабочих помещений по производству искусственных кож они могут достигать $1\text{--}5 \text{ мг/м}^3$; в сточных водах производства ДБФ – 1000 мг/л [9]. В окрестностях заводов по производству искусственных кож концентрации фталатов в воздухе превышали $0,05 \text{ мг/м}^3$, причем зона влияния прослеживалась на расстояние до 2 км. Фталаты даже были обнаружены в воздухе над Мексиканским заливом ($0,4 \text{ нг/м}^3$ ДЭГФ), что свидетельствует о дальнем переносе этого соединения, несмотря на очень низкое давление его пара. Уровни содержания ДБФ и ДЭГФ в дождевой воде над северной частью Тихого океана соответственно были 31 и 55 нг/л . По данным для Швеции (на 1990 г.), влажное и сухое осаждение на почву составляло для ДБФ $202 \text{ мкг/м}^2/\text{год}$, а для ДЭГФ – $285 \text{ мкг/м}^2/\text{год}$, что соответствовало ежегодному осаждению на территории страны 90 т ДБФ и 130 т ДЭГФ. Фталаты фиксируются практически во всех пробах внутренних и морских вод, они способны накапливаться в донных отложениях водных объектов [16]. В осадках сточных вод, как правило, аккумулируются менее растворимые фталаты (концентрации варьируются в пределах $0,42\text{--}58000 \text{ мг/кг}$ сухой массы). Фталаты обнаруживались в питьевой воде, в почвах, пищевых продуктах. В почвах они обычно связываются преимущественно с фульвокислотами. Хлеб, яйца, мука, мясо загрязняются мало. Молоко и сыр отличаются более высокими концентрациями ДБФ и ДЭГФ ($5\text{--}35 \text{ мг/кг}$ относительно количества жира). Концентрации этих соединений в рыбе из загрязненных вод могут приближаться к $0,3 \text{ мг/кг}$. Принципиальным является тот факт, что эти соединения относительно устойчивы к микробиологической и фотоокислительной минерализации [10]. Обычно в природных условиях они с большим трудом поддаются разложению. Считается, что к настоящему времени миллионы тонн фталатов, произведенных в мире, все еще находятся в среде обитания в своем первоначальном виде [2]. Однако они аккумулируются в гидробионтах, причем степень концентрирования зависит от вида организма. У теплокровных животных фталаты накапливаются преимущественно в печени и легких. В целом же считается, что фталаты обладают умеренно выраженной биоаккумуляцией.

Токсикологические исследования характеризуют фталаты (при однократном поступлении в организм) как вещества с относительно низкой острой токсичностью. Токсичность их уменьшается с увеличением числа углеродных атомов в спиртовом радикале. Снижение летучести уменьшает опасность острого отравления фталатами. Некоторые их виды в больших дозах при воздействии в течение длительного времени проявляли по отношению к грызунам мутагенное, канцерогенное и тератогенное действие. Н.В. Лазарев (1974) относит ДБФ к веществам, способных вызывать функциональные и органические изменения в центральной и периферической нервной системе. Однако до настоящего времени у человека лишь в немногих случаях наблюдались острые и хронические отравления, вызванные фталатами, главным образом, в производственных условиях, когда при их высоких содержаниях в воздухе (выше предельно допустимых концентраций) они способны концентрироваться в крови профессиональных рабочих. Высокие разовые дозы этих веществ вызывают диарею, рвоту, чувство слабости, сыпь, нервные воспаления. В условиях хронического воздействия

у рабочих были установлены воспалительные процессы и повышенная чувствительность слизистых оболочек. При нанесении на кожу наблюдалось незначительное раздражение и даже ожоги кожи. Некоторые из фталатов являются аллергенами [7]. Опасным считается совместное действие фталатов, ПВХ-смолы, соединений свинца, хлороводорода и оксида углерода. В большинстве случаев у рабочих, имеющих контакт с ПВХ-материалами и их компонентами (фталатами, хлорвинилом и др.), отмечались различные отклонения в состоянии здоровья. Так, в производстве кабельного пластика при длительном (7–8 лет) контакте с фталатными пластификаторами у рабочих развивалась хроническая интоксикация в виде сенсорного полиневрита с явлениями астенизации, сосудистыми нарушениями гипотонического типа, а также в виде изменений центральной нервной системы [9]. Выявлена также прямая зависимость заболеваний нервной системы у работающих от стажа и концентрации фталатов в воздухе рабочей зоны; достаточно выражено влияние этих соединений на генеративную функцию женщин и эмбрион. Тем не менее считается, что данных для окончательной оценки токсичности фталатов пока еще недостаточно.

Таким образом, использование для изоляции и защиты кабелей и проводов различных синтетических покрытий может создавать определенные эколого-гигиенические проблемы при производстве и использовании кабельных изделий. Указанные материалы являются потенциальными источниками загрязнения производственной и окружающей среды достаточно широким кругом различных вредных веществ (пылью полимеров, нафталином, фтористым водородом, винилхлоридом, гексахлорбензолом, эфирами фталевой и фосфорной кислот, металлами и органическими соединениями и др.). При сжигании и пожарах изоляционные и защитные материалы способны выделять в атмосферный воздух токсичные соединения (хлористый водород, бромистый водород, цианистый водород, сероводорода, соединения серы, азота и углерода, диоксины, тяжелые металлы, углеводороды, фталаты). При дегградации в условиях окружающей среды нафталин способен генерировать диоксины, бензофураны и родственные им соединения. Безусловно, необходима организация, во-первых, эколого-геохимических и гигиенических исследований в зонах влияния заводов по производству кабелей и проводов, во-вторых, селективного сбора выпущенной из употребления кабельно-проводниковой продукции и связанной с ней изоляционных материалов с целью их экологически безопасной утилизации на специализированных предприятиях. Возможности поступления вредных веществ в производственную и окружающую среду при производстве и использовании изоляционных материалов следует учитывать при проведении экологических экспертиз и оценок воздействия на окружающую среду.

Литература

1. Вредные химические вещества. Углеводороды. Галогенпроизводные углеводородов: Справ. изд. – Л.: Химия, 1990. – 732 с.
2. Окружающая среда: энциклопедический словарь-справочник: Пер. с нем. – М.: Прогресс, 1993. – 640 с.
3. Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека: Гигиенические нормативы. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1995. – 17 с.

4. Петрова А.Г., Потапов М.А., Чудина О.В. Электротехнические материалы: Учебное пособие. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 198 с.
5. Руководство по контролю качества питьевой воды: Т. 2: Гигиенические критерии и другая релевантная информация: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1987. – 325 с.
6. Серебряков А.С. Материаловедение. Электроизоляционные материалы. – М.: МИИТ, 2009. – 159 с.
7. Справочник по профессиональной патологии. – М.: Медицина, 1981. – 376 с.
8. Технология производства электроизоляционных материалов и изделий. – М.: Энергия, 1977. – 431 с.
9. Тимофиевская Л.А. Эфиры о-фталевой кислоты. – М.: ЦМП ГКНТ, 1983. – 57 с.
10. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 232 с.
11. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 1. – М.: Сов. Энциклопедия, 1988. – 623 с.
12. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 2. – М.: Сов. энцикл., 1990. – 671 с.
13. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 3. – М.: Бол. Рос. Энцикл., 1992. – 639 с.
14. Цыденова О.В., Батоев В.Б., Weissflog L., Wenzel K.-D. Загрязнение бассейна озера Байкал: хлороорганические пестициды // Химия в интересах устойчивого развития, 2003, 11, с. 349–352.
15. Шефтель В.О. Вредные вещества в пластмассах: Справ. изд. – М.: Химия, 1991. – 544 с.
16. Экологическая химия: Пер. с нем. – М.: Мир, 1996. – 396 с.
17. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: ИМПРЭ, Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.
18. Falandysz J., Strandberg L., Strandberg B. et al. Pentachlorobenzene and Hexachlorobenzene in Fish in the Gulf of Gdańsk // Polish Journal of Environmental Studies, 2000, v. 9, № 2, p. 129–132.
19. Martí-Cid R., Llobet J.M., Castell V., Domingo J.L. Human Dietary Exposure to Hexachlorobenzene in Catalonia, Spain // J. of Food Protection, 2008, v. 71, № 10, p. 2148–2152.
20. Nascimento N.R. do, Nicolau S.M.C., Rezende M.O.O. et al. Pollution by hexachlorobenzene and pentachlorophenol in the coastal plain of São Paulo state, Brazil // Geoderma, 2004, 121, p. 221–232.
21. North American Action on Dioxins, Furans and Hexachlorobenzene // http://www.ccc.org/programs_projects/pollutants_health/smoc.
22. Liu Yang, Dong Mengya, Wang Tanyanyu, Xiong Lishuang, Hang Tao, Ling Huiqin, Hu Anmin, Gao Liming, Li Ming. Разработка термостабильных изоляционных пленок, полученных методом радикальной прививки поли(метилакриловой кислоты) на поверхность кремния. Design of thermally stable insulation film by radical grafting poly(methylacrylic acid) on silicon surface // *Appl. Surface Sci.*- 2019.- 464. - P. 627-635.
23. Zhang Chengcheng, Zhang Hongyu, Li Chunyang, Duan Sixu, Jiang Yang, Yang Jiaming, Han Baozhong, Zhao Hong. Нанокompозиции спшитый полиэтилен/полипиррол с улучшенными электрическими характеристиками на постоянном токе. Crosslinked polyethylene/polypyrrole nanocomposites with improved direct current electrical characteristics. *Polym. Test.*- 2018.- 71. - P. 223-230. .
24. Хагстранд Пер-Ола, Энглунд Вильгот, Смедберг Анника, Фаркас Андреас, Ольссон Карл-Олоф (Бореалис АГ) Новая спшитая полимерная композиция,

изоляция силового кабеля и силовой кабель. Пат. 2668929 Россия, МПК С08К 5/00 (2006.01), С08К 5/14 (2006.01), С08К 5/36 (2006.01), Н01В 7/02 (2006.01), Н01В 9/00 (2006.01). Бореалис АГ. N 2016125880; Заявл. 19.08.2014; Оpubл. 04.10.2018; Приор. 19.12.2013, N 13198411.4 (ЕПВ).

25. Гушко О. Е., Новиков В. В., Федчишин В. В., Смирнов А. И., Сулов К. В., Потапов В. В., Новиков Г. К. (ИРНИТУ) «Способ радиационной сшивки полимерной изоляции электрических кабелей и проводов и устройство для его осуществления» Пат. 2662532 Россия, МПК С08J 3/28 (2006.01), С08L 23/06 (2006.01), Н01В 13/00 (2006.01). ИРНИТУ. N 2017121856; Заявл. 22.06.2017; Оpubл. 26.07.2018.

26. Бузлаев А. В., Глушкин С. В. (Лидер-Компаунд) Электропроводящая полимерная композиция. Пат. 2664872 Россия, МПК С08К 3/04 (2006.01), С08L 23/00 (2006.01), С08К 5/00 (2006.01), Н01В 3/44 (2006.01). Лидер-Компаунд. N 2017125418; Заявл. 14.07.2017; Оpubл. 23.08.2018.

27. Свистунов М. Г., Головин В. Е., Кошелев К. К., Кошелева Г. А., Нестеров Ю. Н., Барашиков О. К. (Завод "Вестпласт") Электроизоляционная полимерная композиция. Пат. 2636383 Россия, МПК Н01В 3/44 (2006.01), В82В 3/00 (2006.01). Завод "Вестпласт". N 2016104051; Заявл. 09.02.2016; Оpubл. 23.11.2017.

28. Домнич П. К., Кислов П. А. (Проминвест Пластик) Электроизоляционная композиция. Пат. 2642567 Россия, МПК С08К 3/20 (2006.01), С08L 67/02 (2006.01), С08L 23/18 (2006.01), С08L 31/04 (2006.01), С08L 9/02 (2006.01), С08L 35/04 (2006.01), С08L 9/06 (2006.01), С08L 25/10 (2006.01), Н01В 3/42 (2006.01), Н01В 3/02 (2006.01), Н01В 3/44 (2006.01). Проминвест Пластик. N 2016115624; Заявл. 21.04.2016; Оpubл. 25.01.2018.