

О вредных воздействиях медицинского электронного оборудования и его отходов на здоровье человека и окружающую среду



АГАЕВ Бикес Саил оглы

Доктор философии по технике, доцент, заведующий отделением Института информационных технологий НАНА, Баку, Азербайджан

Аннотация

В статье исследуются воздействия медицинского электронного оборудования и его отходов на здоровье человека и окружающую среду. Рассматриваются санитарно-эпидемиологические нормы и регулирующие нормативные документы потенциальных угроз, создаваемых этими опасными воздействиями.

Ключевые слова:

отходы, медицинские электронные отходы, экологическое воздействие, вредное воздействие на здоровье, санитарно-эпидемиологические нормы, переработка отходов, система управления отходами.



МЕХТИЕВ Шакир Агаджан оглы

Заведующий отделением Института информационных технологий НАНА, Баку, Азербайджан



АЛИЕВ Тарлан Саïд оглы

Старший научный сотрудник Института информационных технологий НАНА, Баку, Азербайджан

Введение

В настоящее время информационно-коммуникационные технологии являются базовыми факторами в развитии любой сферы деятельности. В современной медицине использование средств электрического и электронного оборудования (далее ЭО) проявляется в наиболее концентрированном виде. В XX веке революционные открытия и изобретения в области полупроводниковой физики, компьютерной техники и технологий дали толчок интенсивному развитию медицинских практик на их основе и, соответственно, привели к существенному росту парка оборудования в этой области.

В Азербайджане в области медицины также интенсивно используются многие виды медицинского электрического и электронного оборудования (далее МЭО). В последние годы наблюдается резкий рост используемого оборудования профилактического, диагностического, лечебного и реабилитационного направлений.

Однако перечисленные выше процессы создают определенные проблемы. Сущность этих проблем заключается в том, что большинство эксплуатируемого МЭО и его отходы (далее, отходы медицинского электронного оборудования - ОМЭО) как потенциальные источники экологических, эпидемиологических,

токсикологических, радиологических и других опасностей создают угрозы здоровью человека и окружающей среде.

При несоблюдении правил эксплуатации МЭО, предусмотренных проектной документацией, при утрате ими потребительских свойств и переходе в разряд отходов, а также при ненадлежащей утилизации ОМЭО превращаются в источник серьезных угроз здоровью человека и окружающей среде.

Эта проблема в наиболее остром виде проявляется в странах, где отсутствуют централизованная переработка и полнофункциональная система управления ОМЭО (документирование отходов, селективный сбор, транспортировка и складирование, первичная и вторичная переработка, обезвреживание или их уничтожение). Обращение с ОМЭО, относящимися к классу токсикологических опасных отходов — классу Г, как со смешанными твердыми бытовыми отходами, приводит к тому, что, будучи выброшены на полигоны, они под воздействием внешних факторов, таких как солнечные лучи, осадки, ветер, возгорания и т.п., разлагаясь, загрязняют атмосферу, почву, грунтовые воды и водные бассейны. С другой стороны, целями новой стратегии хозяйственной деятельности в сфере отходов, изложенной в докладе Комиссии «Наше общее будущее» на Генеральной Ассамблее ООН в 1987 г., являются экономное использование и сохранение природных ресурсов для будущих поколений, которые предполагают создание замкнутого цикла хозяйственной деятельности, когда металлы и прочие полезные вещества и материалы должны быть извлечены из состава отходов и вновь введены в хозяйственный оборот, замещая собой первичные природные ресурсы [1]. Поэтому создание системы управления ОМЭО, как составной части системы управления отходами, является для каждой страны весьма важной и актуальной задачей.

В статье исследуются влияния МЭО и их отходов на здоровье человека и окружающую среду.

Влиющие вещества, компоненты и факторы медицинского электронного оборудования и его отходов

В технической литературе даются различные подходы к классификации медицинского оборудования. ОМЭО, с нашей точки зрения, целесообразно классифицировать с учетом критерия степени опасности по их эпидемиологическому, токсикологическому и радиационному воздействию:

- неопасные (инертные) отходы;
- опасные отходы;
- чрезвычайно опасные отходы;
- радиоактивные отходы.

Можно с уверенностью спрогнозировать, что дальнейшее развитие телемедицины, мобильного здравоохранения, медицинских нанотехнологий, компьютерной диагностики и других перспективных медицинских практик приведет к появлению новых классификационных групп и резкому увеличению номенклатуры оборудования.

Согласно санитарно-гигиеническим правилам и нормам, источниками потенциальных угроз здоровью человека и окружающей среде являются следующие физические факторы и вещества в составе МЭО.

Электромагнитные волны (электромагнитное излучение–ЭИ). ЭИ проявляется воздействием на окружающую среду электромагнитного поля, создаваемого электрическим током. Следующие виды ЭИ создают потенциальные угрозы здоровью человека и окружающей среде:

- радиоволны – 30 кГц – 300 ГГц;
- инфракрасные волны – 300 ГГц – 429 ТГц;
- ультрафиолетовые волны – $3 \cdot 10^5$ ТГц – $3 \cdot 10^7$ ТГц;
- ионизирующее излучение – $3 \cdot 10^7$ ТГц -> $6 \cdot 10^{10}$ ТГц.

Последняя группа волн по физическим характеристикам делится на рентгеновское, альфа, бета, гамма излучения и нейтронные частицы.

Радиоволны. Излучение радиоволн происходит, например, при работе вакуумной электроники (СВЧ-лампы, магнетроны и т.п.), мобильных телефонов, Bluetooth-устройств, сетевых беспроводных устройств Wi-Fi и т.д.

Превышение санитарных норм приводит к увеличению тяжелых ионов в помещении и, как следствие, вызывает покраснение глаз, головные боли, чувство усталости, выпадение волос, экзему, аллергию и другие симптомы.

Радиоволны также мешают нормальной работе электроприборов. Например, для большого сердца электромагнитное излучение, генерируемое кардиостимулятором выше допустимого значения, смертельно опасно [2].

Инфракрасное излучение (ИКИ). В малых дозах используется в терапевтических целях. Это связано с тепловым эффектом, создаваемым ИКИ в подкожных тканях. Однако при превышении дозы и времени облучения ИКИ вызывают глубокий перегрев тканей, что проявляется в нарушениях водно-солевого баланса и сопровождается болезнями кожи, глаз, мозговыми нарушениями и т.п.

Ультрафиолетовое излучение (УФИ). В малых дозах УФИ обладает антибактериальными свойствами, оказывает благотворное действие на организмы, способствует образованию витаминов группы D, однако превышение предельных доз вызывает ожоги кожи, увеличивает риски злокачественных опухолей, катаракты глаз и других болезней.

Ионизирующее излучение (ИИ). ИИ связано с процессом получения энергии рентгеновских и гамма-излучений и альфа-, бета- и нейтронных частиц из атомов некоторых веществ. Радиоактивность проявляется при делении атомов вещества и создании потока энергии ИИ. Результатом этого процесса является появление радионуклидов. Таким образом, потоки элементарных частиц, распространяясь в окружающей среде, проникают в живые организмы. ИИ в определенных дозах (мощность и длительность излучения) вызывают изменения в ядрах атомов живых тканей и как продукт деления ядерной реакции превращают их в заряженные ионы. В результате в тканях нарушается нормальное течение биологических реакций, а это, в свою очередь, может вызвать острые реакции, такие как покраснение кожи, выпадение волос, радиационные ожоги или лучевой синдром [3–5].

Звук и шумы (шумовое загрязнение). Генерируются при работе некоторых МЭО. В технической литературе шум определяется как нежелательный уровень звука, создающий дискомфортные условия для человека.

Если кратковременное воздействие звука выше нормы (шума) вызывает чувство тревоги, дискомфорт, нервное возбуждение, то длительное воздействие сверхнормативных шумов вызывает повреждения слухового аппарата и, как следствие, приводит к потере слуха (глухоте). Результаты проведенных исследований показали, что шумы негативно влияют на нормальную жизнедеятельность организма и оказывают психологические (нервные срывы, стресс, беспокойство), физические (помехи, препятствующие общению) и физиологические (нарушения кровообращения, глухота, тиннитус — присутствие несуществующих звуков, гиперacusia — аномально острый слух или болезненная чувствительность к слышимым звукам, диплоacusia — нарушение слухового восприятия, при котором один и тот же тон воспринимается правым и левым ухом по-разному) воздействия. В настоящее время в странах Европейского Союза (ЕС) и в Российской Федерации допускается максимальный уровень шума в пределах 85–90 дБ, а уровень шума 100 дБ допустим при кратковременном воздействии в течение 15 минут при 8-ми часовом рабочем дне [6].

В составе некоторых МЭО имеются такие химические элементы и их соединения, которые по степени вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду при соблюдении эксплуатационных правил являются инертными и безопасными. Однако при переходе в разряд отходов и в определенных условиях, а также при ненадлежащей утилизации и переработке могут превратиться в источники опасностей.

Используемые в медицинских целях компьютерные и информационно-коммуникационные системы, осветительные приборы, химические источники питания наряду с черными металлами, стеклом, деревом содержат цветные, благородные, редкоземельные и тяжелые металлы и их соединения, а также радиоактивные элементы и их изотопы, высокомолекулярные соединения (например, полипропилен, полибромдифенил и его эфиры, поливинилхлорид) и прочие. По степени воздействия ряд этих веществ и их соединения могут быть токсичными, радиоактивными, канцерогенными, инфекционными, тератогенными, мутагенными и могут оказывать вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Лечебно-профилактическое учреждение вне зависимости от его профиля в результате своей деятельности образует различные по фракционному составу и степени опасности отходы. Все отходы здравоохранения разделяются по степени их эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности на пять классов опасности [7]:

- класс А – эпидемиологически безопасные отходы, приближенные по составу к твердым бытовым отходам;
- класс Б – эпидемиологически опасные отходы;
- класс В – эпидемиологически чрезвычайно опасные отходы;
- класс Г – токсикологически опасные отходы;

- класс Д – радиоактивные отходы.

Токсикологически опасные отходы (класс Г), в свою очередь, по степени их токсикологической опасности разделяются на четыре класса опасности [8]:

- класс 1 – чрезвычайно опасные отходы;
- класс 2 – высокоопасные отходы;
- класс 3 – умеренно опасные отходы;
- класс 4 – малоопасные отходы.

Здесь термин «вредное вещество» определяется согласно ГОСТ-у 12.1.007.76, как «вещество, которое при контакте с организмом человека может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений» [9].

Во всех развитых и в некоторых развивающихся странах обращение с электронными отходами, в том числе с ОМЭО, ведется на основе специального законодательства экологического права.

Например, в странах ЕС обращение с вредными отходами регулируется Директивами 2012/19/EU «Об отходах электрического и электронного оборудования» (последняя редакция) [10], 91/689/ЕЕС «Об опасных веществах» [11], 2011/65/EU «Ограничение использования некоторых опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании» (RoHS) [12] и многими другими документами. Например, последняя Директива запрещает использовать свинец, кадмий, ртуть, 6-ти валентный хром, полибромдифенил и его эфиры в производстве оборудования. Запрет импорта на территорию стран ЕС продукции без сертификата RoHS-2 (2-ая редакция), подтверждающего отсутствие опасных веществ, действует с января 2013 г. Согласно этой же Директиве начиная с 22 июля 2014 г. по 22 июля 2016 г. поэтапно для групп оборудования прописаны ограничения при использовании опасных веществ: масса этих веществ не должна превышать 0,1% общей массы конструкции (для кадмия и его соединений не более 0,01%).

Требования Директивы RoHS также взяты как основополагающие для разработки национальных нормативных документов некоторых восточноазиатских стран [13,14].

Теперь рассмотрим особо вредные для здоровья человека и окружающей среды вещества в составе МЭО и ОМЭО.

Тяжелые металлы. Hg (ртуть), Cr (хром), Cd (кадмий), Ba (барий), Tl (таллий), Bi (висмут) и др. Например, использование ртути регулируется Минаматской конвенцией, в которой предписаны действия международного сообщества по сокращению (вплоть до полного прекращения) производства ртутьсодержащих приборов, в особенности медицинских. Ртуть признана веществом, оказывающим значительное неврологическое и иное воздействие на здоровье человека, при этом выражается особая обеспокоенность ее пагубным воздействием на еще не родившихся детей и младенцев [15].

Бромосодержащие вещества. Бромосодержащие вещества, в том числе полибромдифенильные эфиры (например, антипирен), используются для увеличения

огнеустойчивости и пластичности компонента МЭО, например кабелей и проводов, различных пластмассовых изделий. Пары и дым этих эфиров, попадая в организм человека (на этапах производства и монтажа ЭО), оказывают канцерогенный эффект, раздражают слизистые оболочки глаз и дыхательные пути, что вызывает аллергические реакции, тошноту, рвоту, подавляют деятельность центральной нервной системы и способствуют развитию кожных заболеваний. Кроме того, дифенил токсичен для почек, печени, сердечно-сосудистой и нервной систем.

Поливинилхлорид (ПВХ). Эта высокомолекулярная пластическая масса применяется при изготовлении конструктивных элементов МЭО и как изолирующий материал в кабелях и проводах (с добавлением антипиренов). Под влиянием солнечных лучей и, в особенности, при горении образуют чрезвычайно вредные (I класс опасности) канцерогенные диоксины. Диоксины нарушают гормональный баланс и репродуктивные функции организма, вызывают злокачественные образования.

Химические источники питания постоянного тока. Это батареи одноразового использования и многократно заряжаемые аккумуляторы. Широко используются в мобильных МЭО для автономного питания. В их состав входят (в зависимости от типов) ртуть, кадмий, олово, цинк, никель, литий, марганец, щелочи. Первые четыре элемента очень опасны. Также при возгорании источников питания выделяются сложные соединения и газообразные вещества, наносящие вред человеку. Проведенные эксперименты показали, что высокотоксичные химические соединения в одной использованной батарее могут сделать 1000 м³ воды непригодной к использованию. При захоронении батарей и аккумуляторов на полигонах твердых бытовых отходов в результате эрозии металлических покрытий эти химические соединения могут легко просочиться в грунтовые воды. В то же время становятся непригодными к использованию продукты растениеводства и животноводства на ближайших к полигонам земельных участках. В ЕС, согласно Директиве 2006/66/ЕС «О батареях и аккумуляторах» [16], запрещено выбрасывать эти устройства совместно с бытовыми отходами. Предусмотрены различные санкции из-за нарушений положений Директивы. Так, в Германии предусмотрен штраф в размере 300 € за вынос батарей и аккумуляторов вместе с бытовыми отходами. Аналогичные штрафы применяются и в других странах ЕС, США и Канаде.

В Азербайджане нет предприятий по утилизации этих элементов, и в лучшем случае их просто закапывают на полигонах. Например, по данным статистического бюллетеня «Повторное использование сырья» Государственного комитета статистики Азербайджана в 2015 г. по причине отсутствия соответствующей системы управления и инфраструктуры переработки на полигоны отходов были выброшены без всякой предварительной переработки 0,2 т ртути содержащих шламов, 3,9 т люминесцентных ламп, 27 т аккумуляторов и батарей, 717,9 т медицинских отходов (перечень не раскрывается) [17]. По степени опасности батареи и аккумуляторы относят к I классу (чрезвычайно опасные отходы) и являются причинами серьезных последствий, вызываемых тяжелыми металлами в их составе.

Компьютерная техника. Для человека угрозу представляют монитор, системный блок и тонеры картриджей лазерных принтеров. В настоящее время парк компьютерных мониторов обновился, и его основу составляют мониторы на жидких кристаллах. По мониторам старого типа на электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) прогнозируется, что поток данного «электронного мусора» иссякнет

лишь к 2020–2025 гг. Однако основной проблемой является то, что ЭЛТ требуют специальной утилизации.

Несомненно, что интенсивность излучений и нагрузка на зрение от мониторов на жидких кристаллах и их разновидностей существенно меньше. Однако в процессе их изготовления еще используются чрезвычайно опасные ртуть, кадмий, олово и другие тяжелые металлы. В случае поломки (разгерметизации) этих мониторов пары ртути могут создать серьезную угрозу персоналу.

Лазерные картриджи. Используемый в картриджах лазерных принтеров порошок-тонер при несоблюдении правил эксплуатации и утилизации является потенциально опасным. Основные составляющие тонера — это сажа и магнетит. Для улучшения качественных характеристик в состав тонера добавляют железо, титан, окись алюминия, бензол, а в некоторых случаях — дибутил и трибутил в допустимых (безопасных) концентрациях. Размеры микрочастиц тонера равны 3–4 микронам, что в 10–15 раз меньше размеров обычной пыли. Они без запаха и невидимы невооруженным взглядом. При разгерметизации картриджа микрочастицы тонера, распространяясь по воздуху, через дыхательную систему проникают в легкие и накапливаются в них, вызывая такие болезни как астма и силикоз [18]. Средства индивидуальной защиты (респиратор и противогаз) не могут задерживать микрочастицы таких размеров.

Светительные системы (ОС). В медицинской практике ОС используются в профилактическо-лечебных целях и для освещения. Для оценки воздействий ламп ОС на здоровье человека применим стандарт Международной Электротехнической Комиссии 62471/2006 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность» [19]. В стандарте нормированы интегральные оценки (тип излучения, его интенсивность, конструктивное решение и т.д.) воздействия ОС и определены четыре группы риска по времени безопасного нахождения человека в зоне искусственного освещения:

- группа риска 0 (без рисков) — максимальное время воздействия более 10000 секунд;
- группа риска 1 (низкий риск) — время воздействия 100–10000 секунд;
- группа риска 2 (умеренный риск) — время воздействия 0,25–100 секунд;
- группа риска 3 (высокий риск) — меньше 0,25 секунд.

В группу риска 0 входят лампы накаливания и галогенные лампы накаливания, а в группы рисков 1–3 входят люминесцентные и светодиодные лампы *LED (Light Emitting Diode)*.

Излучение белого света LED лампами достигается взаимодействием светодиодов, генерирующих волны двух цветов — синего и желтого. Частота волны синего цвета попадает в диапазон УФИ. Волны УФИ диапазона оказывают вредное мутагенное воздействие на ткани глаза и, особенно, на сетчатку глаза. Это объясняется тем фактом, что фотоны УФИ вызывают в сетчатке макромолекулярные химические реакции, которые становятся причиной структурных изменений в ней.

Люминесцентные лампы (ЛЛ). Являются источником света газового разряда. При подаче напряжения на электроды лампы, заполненной парами ртути, происходит электрический разряд, который вызывает УФИ. При взаимодействии

УФИ с люминофором, нанесенным на внутреннюю поверхность лампы, происходит излучение видимого белого света.

Искажения световосприятия объектов, а также информация об их движении (вращении), не совпадающая с реальностью, создают дискомфорт, чувство усталости, а в определенных обстоятельствах аварийную обстановку, например, для рабочего токарного станка. Отметим, что в странах ЕС с 2003 г. запрещено использование однослойных люминофорных ЛЛ, имеющих монокромный спектр, в жилых и рабочих помещениях, если люди будут находиться в этих помещениях больше сверхнормативного времени, отводимого на освещение.

Заключение

В статье рассмотрены потенциальные угрозы и негативные последствия, создаваемые электромагнитными волнами, шумами, ионизирующим излучением, осветительными системами. Анализируются физические факторы и явления, возникающие при производстве, работе и в конце жизненного цикла МЭО при превращении их в ОМЭО, а также механизмы их воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Было установлено, что при использовании в медицинской практике электронного оборудования и в их отходах при определенных условиях проявляются радиоактивные, раздражающие, канцерогенные, инфекционные, тератогенные, мутагенные и другие свойства, образуются вредные вещества и их соединения, влияющие на здоровье человека и создающие экологические, эпидемиологические и токсикологические угрозы. Следовательно, создание безопасных условий работы медицинского персонала и соответствующей инфраструктуры по сбору и переработке ОМЭО — весьма актуальная задача. Обоснована необходимость создания эффективной системы управления ОМЭО, охватывающей их жизненный цикл от этапов образования до полной переработки и безопасной утилизации.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики — Грант № EIF/MQM/Elm-Tehsil-I-2016-I(26)-7I/I4/I.

ЛИТЕРАТУРА

1. АГАЕВ БИКЕС С., АЛИЕВ ТАРЛАН С. **О практике управления электронными отходами в Европейском союзе** // Проблемы Информационного Общества, 2015, № 1
2. **Влияние радиоволн на организм человека.** <http://medbe.ru/news/nauka-i-tehnologii/vliyanie-radiovoln-na-organizm-cheloveka/>
3. СП 2.6.1.799-99. **Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.** <http://files.stroyinf.ru/data1/7/7569/>
4. И. Н. БЕКМАН. **Ионизирующее излучение и его поле.** http://profbeckman.narod.ru/RRo.files/L8_1.pdf
5. **Ионизирующее излучение, последствия для здоровья и защитные меры.** Информационный бюллетень ВОЗ № 371, апрель 2016 г.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. **Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.** http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=711
7. САНПИН 2.1.7.2790-10. **Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами.** <http://www.sisterflo.ru/sanpins/SP2790-10.php>
8. СП 2.1.7.1386-03. **Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления.** https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/39/39761/index.php
9. ГОСТ 12.1.007-76*. **Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.** <http://docs.cntd.ru/document/5200233>

10. **Directive 2012/19/EU of the European Parliament and the Council of 4 July 2012. On waste, electrical and electronic equipment.** <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32012L0019>
11. **Council Directive 91/689/EEC of 12 December 1991. On hazardous waste.** <http://www.coprochem.com/documents/hazardous-waste-directive-91-689-eec.pdf>
12. **Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011. On the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.** <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex:32011L0065>
13. М. КАМА, Т. Shiratori. **Contribution of Asian industries to hazardous substances management and e-waste recycling** // Engineering Journal, p. p.1-10, N4, 2016, doi: 10.4186/ej.2016.20.4.1
14. **Декларация соответствия RoHS.** <http://www.kingston.com/ru/company/environment>
15. **Минаматская конвенция о ртути.** ЮНЕП, 2013 г. http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/Minamata%20Convention%20on%20Mercury_booklet_Russian.pdf
16. **Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council. September 2006. On batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC** <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0066>
17. **Государственный комитет статистики Азербайджанской Республики** http://www.stat.gov.az/source/environment/az/bul/evr_04_2016.pdf
18. **Класс опасности химических веществ тонера.** <http://greenologia.ru/utilizaciya-texniki/ofisnaya/nelzya-vybrasyvat-kartridzhy.html>
19. **IEC62471:2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems.** <http://www.en-standard.eu/iec-62471-2006-photobiological-safety-of-lamps-and-lamp-systems/?gclid=COi0iL65u8wCFWQqowodjfoDCw>