



Рябов Ю.Г.

Электростатические механизмы распространения коронавирусов

108810, Москва, Российская Федерация

Одежда человека в движении электризуется и вызывает вокруг его тела интенсивное размножение частиц аэроионов атомов и молекул воздуха, аэрозоли (подобных по размерам частицам коронавирусов), которые бесконтактно, в моменты разрядов с одежды, токами смещения и передачи (или потоком воздуха) переносятся в окружающую среду аналогично процессам ингаляции электроаэрозоля или порошкового электрораспыления. На приведённых осциллограммах зарегистрированы всплески коронных разрядов (КР) — импульсы более 25 кВ/м напряжённости электростатического поля (ЭСП), регистрируемые прибором ИРИ-04М на одежде человека в штатной одежде и обуви при бесконтактном 0,4–1,2 м общении людей в процессе движения в группе по зимней дороге. В процессе взаимодействия людей в антистатической одежде и обуви выбросов тока (импульсы менее 3 кВ/м) практически не происходит, что указывает на отсутствие всплесков КР. Показано, что наиболее вероятное механическое присоединение (первая фаза адсорбции) к клетке-мишени выполняют именно отрицательно заряженные (а не нейтральные) частицы коронавирусов. Пик распространения коронавирусов в помещениях происходит в условиях отопительного периода. В окружающей среде пик распространения зависит от сезонных условий атмосферного электричества — осенью и весной выше, зимой и летом в 3–5 раз ниже. Приведены рекомендации по нормализации антистатических условий в помещениях и контролю безопасности одежды медицинского работника при входе в опасную зону. Предложен метод, средство самоконтроля (прибор ИРИ-04М, располагаемый на груди тела) и критерий безопасной электризации человека — напряжённостью менее 4,5 кВ/м, когда ещё отсутствуют размножение и перенос частиц коронавируса диаметром более 30 нм.

Ключевые слова: электризация человека; аэрозоли; ионизированные коронавирусы; механизмы передачи; сезонные условия; нормализация; контроль; критерий безопасности

Для цитирования: Рябов Ю.Г. Электростатические механизмы распространения коронавирусов. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (1): 77–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-1-77-82>

Для корреспонденции: Рябов Юрий Георгиевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. (аттестат ВАК), 108810, Москва. E-mail: riabovug@mail.ru

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Благодарность. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила 13.09.2020 / Принята к печати 15.12.2020 / Опубликовано 12.02.2021

Yurii G. Ryabov

Electrostatic mechanisms for the spread of coronaviruses

Moscow, 108810, Russian Federation

Clothing of a person in motion electrifies and causes around his body intensive reproduction of particles of air ions, atoms, and air molecules, aerosols (similar in size to particles of coronaviruses), which are non-contact, in moments of discharge from clothing, currents of displacement and transmission (or air flow) are transferred to the environment, similar to the processes of inhalation of electroaerosols or powder. Waveform recorded outbreaks of coronal discharges (CD) - (pulses of more than 25.0 kV/m) the electrostatic field intensity tension (EFI) recorded by the IRI-04M device on human clothing in casual clothing and shoes, and non-contact (0.4–1.2) m of communication of people in the process of movement in the winter road. In the process of human interaction in antistatic clothing and footwear, current emissions (pulses less than 3.0 kV/m), almost not recorded, indicates the absence of outbreaks of CD. The most likely mechanical attachment (the first phase of absorption) to the target cell was shown to be performed by negatively charged (rather than neutral) particles of coronaviruses. The peak of the spread of coronaviruses in the premises occurs in the conditions of the heating period. In the environment, the peak of distribution depends on seasonal conditions of atmospheric electricity - in autumn and spring higher, in winter and summer being 3–5 times lower. Recommendations are given to normalize anti-static conditions in the premises and to monitor the safety of the clothes of the medical worker at the entrance to the danger zone. The method, the self-control tool (the instrument IRI-04M, located on the sternum of the body) and the criterion of safe electrification of the human - a tension of less than 4.5 kV/m, when there is still no reproduction and transfer of coronavirus particles with a diameter of more than 30 nm.

Keywords: human charged with static electricity; aerosols; ionized coronaviruses; transfer mechanisms; seasonal conditions; normalization; control; safety criterion

For citation: Ryabov Yu.G. Electrostatic mechanisms of coronavirus distribution. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 100 (1): 77–82. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-100-1-77-82> (In Russ.)

For correspondence: Yurii G. Ryabov, MD, Ph.D, Senior Researcher, Moscow, 108810, Russian Federation. E-mail: riabovug@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Received: September 13, 2020 / Accepted: December 15, 2020 / Published: February 12, 2021

Введение

Утверждение, что коронавирусы (КВ), в том числе и COVID-19, в уязвимые зоны дыхания человека попадают в основном воздушно-капельным путём, не раскрывает происходящие при этом физические процессы. Не учитываются условия размножения и бесконтактной передачи КВ от инфицированного, заряженного статическим электричеством (СЭ) человека токами смещения и передачи, механизмы которых часто определяют причины распространения КВ в среде сухого воздуха помещений жилых и общественных зданий, низких температур, и зависимости от физических

факторов сезонных и климатических условий, атмосферного электричества (АЭ) воздуха.

Вокруг тела человека на расстоянии около 1 м существует зона пространства (аура, биополе), в объёме которой отражаются процессы жизнедеятельности организма, зависящие от состояния здоровья. С каждым выдохом в эту зону выбрасывается 1–2 мг влаги, углекислый газ (CO₂) и др., биологические и аэрозольные (пылевые, капельные) поляризованные тяжёлые аэроионы и неполяризованные взвеси (далее — частицы), в том числе опасные вирусы и бактерии, которые (по закону Кулона) засевают пространство зоны вокруг тела человека.

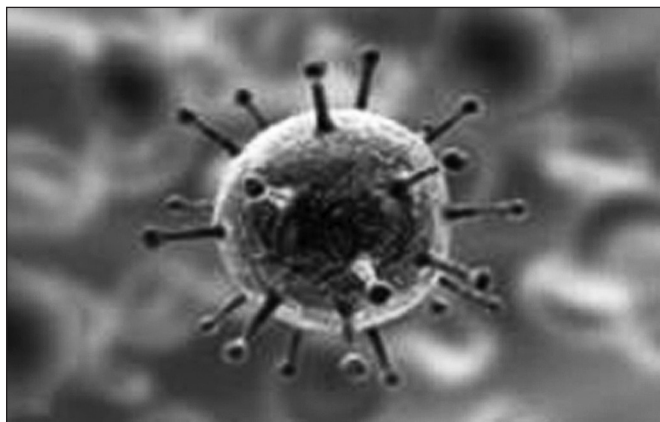


Рис. 1. Форма одного из видов коронавирусов COVID-19.

Fig. 1. The shape of one of the coronaviruses COVID-19.

В зависимости от размеров и подвижности (и знака заряда) различают три группы аэроионов: лёгкие, средние и тяжёлые. Лёгкие аэроионы — это отрицательно заряженные атомы, молекулы кислорода и положительно заряженные молекулы CO_2 с их водяными оболочками с радиусами порядка 10^{-10} – 10^{-9} м, которые в электрическом поле (ЭП) Земли обладают значительной подвижностью $1,5$ – 2 см²/с • В. Средние — радиусом 10^{-7} – 10^{-9} м (частицы КВ в этом диапазоне размеров) и тяжёлые аэроионы (до 10^{-5} м) — заряженные аэрозольные частицы (далее — тяжёлые аэроионы), которые образуются обычно при столкновении лёгкого аэроиона с нейтральной аэрозольной частицей (или КВ) [1].

Частицы диаметром от 1 до 0,1 мкм и менее — **взвешенные частицы** (РМ — particulate matter) — могут находиться в атмосферном воздухе в течение многих дней и недель и переноситься потоками воздуха на большие расстояния. Обычно используемые показатели загрязнений воздуха: РМ₁₀ — массовая концентрация частиц диаметром менее 10 мкм и РМ_{2,5} — частиц диаметром менее 2,5 мкм. РМ — это смесь твёрдых и жидких частиц, физические, химические и биологические характеристики которых меняются в зависимости от местонахождения [1].

Влияние электростатического фактора на общую эффективность размножения и распространения частиц КВ от заражённого человека определяется интенсивностью электризации его тела при движении, которая зависит от условий возникновения электростатического поля (ЭСП) на одежде, от проводимости обуви и пола помещения, от запылённости среды и уровня ионизации воздуха. В открытом пространстве общая эффективность зависит от особенности сезонных и суточных климатических условий, действий природных и искусственных источников ионизаций, запылённости воздуха, уровня и знака атмосферного электричества (АЭ).

Основным природным источником ионизации воздуха в приземной атмосфере является природная радиоактивность: космическое излучение (~ 20%), эксгаляции из почвы газа радон-222 и газа торон (и их дочерние продукты), гамма-излучения веществ из коры Земли, воздействия которых генерируют в воздухе отрицательные лёгкие аэроионы, которые, соединяясь с нейтральными частицами, образуют тяжёлые аэроионы. Другим природным источником является процесс испарения и конденсации воды, при котором собственные ионы воды, протоны и гидроксид-ионы, возникающие при диссоциации (распад на ионы) молекул воды, заряжают (ионизируют) капли влаги. Летом при испарении частицы паровой фазы насыщают воздух положительными лёгкими аэроионами, которые в свою очередь, нейтрализуя отрицательные аэроионы, создают конвективные потоки воздуха, очищая приземную среду от частиц размером до 10 (100) мкм [1].

Распространёнными искусственными источниками ионизации среды обитания являются: электризация одежды человека и полов помещений; бытовые и промышленные ионизаторы; линии электропередачи (ЛЭП) более 330 кВ; оборудование и технологии производства диэлектрических материалов и др. Известны случаи поражения людей при применении однополярных ионизаторов, случаи заболеваний животных (коров), пасшихся с наветренной стороны вблизи ЛЭП, от сносимых ветром с проводов ионизированных коронными разрядами ионов, дозы которых превышали допустимые нормы [2].

Наибольшее число заражений людей КВ по сезонам происходят в моменты концентраций в приземной среде запылённости воздуха и тяжёлых отрицательных аэроионов. Именно отрицательные частицы КВ в зоне дыхания человека притягиваются к слизистым поверхностям и механически прикрепляются к клеткам-мишеням. Осенью и весной повышается число КВ-заражений — в воздухе регистрируют преобладание тяжёлых отрицательных аэроионов. Летом и зимой, в периоды снижения (в 3–5 раз) массовых заражений КВ, в воздухе преобладают лёгкие и положительные тяжёлые аэроионы [1].

Целью настоящей работы является определение электростатических механизмов и условий, вызывающих распространение КВ в окружающей среде от наэлектризованного человека. Задачи работы: по результатам эксперимента — анализ физических факторов и причин, определяющих размножение и бесконтактную передачу КВ электростатическим путём, оценка критерия безопасного ЭСП тела человека и рекомендации по нормализации условий ЭСП в помещениях.

Особенности физических характеристик коронавирусов

Коронавирусы COVID-19 — частицы (рис. 1) сферической или сегментарной формы диаметром 30–150 нм. В сравнении — размер молекул воздуха: кислород (O_2) — 0,28 нм; вода (H_2O) — 0,3 нм; азот (N_2) — 0,3 нм; диоксид углерода (CO_2) — 0,32 нм. Масса среднего 10^{-7} м размера КВ (шарика радиусом 50 нм) — около $0,5 \cdot 10^{-18}$ кг. Частица КВ окружена короной — шипами размером 9–12 нм с рецепторами, которые обеспечивают биологическое соединение с клеткой-мишенью.

Как физическое тело, содержащее шипы, в отличие от гладких форм частица КВ чаще находится в поляризованном состоянии — заряжается (в основном) в результате присоединения электронов, ионов атомов, молекул кислорода, озона воздуха к своим шипам. Аминные группы оболочки вирусного белка относятся к проводящим ток электролитам. Поэтому частицы КВ могут перезаряжаться индукцией, включая механизмы полевой и диффузионной зарядки, от находящихся вблизи заряженных тел при перемещении механической силой: потоком воздуха (вдохе — выдохе, ветра), электрическом полем (ЭП) АЭ или ЭСП наэлектризованной одежды. Заряженные частицы КВ притягиваются к разнополярным местам тела и одежды, окружающим предметам [3].

Электростатические механизмы передачи коронавирусов человеку

Человек в электризуемой одежде, изолирующей обуви в движении всегда заряжается СЭ, индуцируя заряды противоположного знака на окружающих людях и предметах. Возникающее вокруг тела ЭСП на остриях одежды, фурнитуры, пальцев рук инициирует вспышки тихих и коронных разрядов (КР), образования которых ионизируют и заряжают окружающие тело частицы, которые затем потоком воздуха или силой напряжённости (далее — силой ЭП) ЭП [3] переносятся в окружающую среду. Электризуемого человека в движении можно представить эквивалентным коаксиалом, где центральный проводник — тело, а виртуальная оболочка — окружающая среда на расстоянии около 1 м от оси тела.

В отопительный период, когда влажность воздуха в помещениях становится менее 15%, снижается скорость утечки зарядов СЭ с одежды через обувь на пол. Повышается потенциал тела человека при движении. Заражённый человек становится потенциально опасным источником размножения и выбросов в окружающую среду заряженных частиц КВ и других микроорганизмов. В свою очередь наэлектризованный СЭ здоровый человек притягивает в свою зону заряженные частицы КВ из окружающей среды, которые могут проникать в слизистые дыхательных путей и глаза.

Попадая в организм при вдохе, нейтральные частицы КВ перемещаются в дыхательных путях вместе с другими частицами подобного и более размеров, не задерживаются внутри и удаляются наружу при выдохе. Контакты с клеткой-мишенью маловероятны — «зависят от случайных столкновений» [4].

Контакт заряженной частицы КВ с клеткой-мишенью происходит на порядок чаще за счёт притяжения силой ЭП, которая зависит от квадрата напряжённости [3] между движущейся в потоке воздуха частицей и индуцированным зарядом противоположного знака на поверхности слизистой, через которую частица и проникает к клетке-мишени. При отрицательном острие (на одежде) размножение ионизированных частиц происходит, когда лавина электронов КР перемещается от острия к положительному (по отношению к острию) пространству или электроду, увлекая частицы воздуха, влаги и аэрозоля, формируя отрицательные аэроионы (кислорода) молекул воздуха.

При КР на положительном острие формируется выброс ионов в отрицательное относительно острия пространство, что создаёт условия для ускоренного тока переноса аэроионов — стримера, который может обретать вид искровых каналов [5].

Сила F , действующая на перемещающуюся в ЭСП напряжённостью E частицу массой m и зарядом q , равна $F = q \cdot E$. Из 2-го закона Ньютона следует $F = a \cdot m$, где a — ускорение (торможение) движение частицы массой m . Приравняв оба выражения, получим $a = q/m \cdot E$, что ускорение частицы в основном зависит от напряжённости ЭСП и меньше от удельного заряда q/m .

Поэтому заряженные частицы (и КВ) в воздухе равноускоренно перемещаются (притягиваются) в направлении тела с разноимённым зарядом, где образуется разность потенциалов, создавая токи смещения (dE/dt) и переноса [3]. Размер частиц, переносимых токами, зависит от уровня и знака ЭСП на теле человека, искажений ЭП остриями одежды, интенсивности и продолжительности действия тлеющего или вспышки коронного разряда (КР). Сток зарядов с остриёв при коронном разряде вызывает «электронный ветер», где локальная скорость потока воздуха может достигать 5 м/с [5, 6].

Перезарядка нейтральной частицы при движении в ЭСП заряженного тела

На рис. 2 показан график изменения напряжённости E ЭП на поверхности проводящего нейтрального тела K (частицы), перемещающегося вдоль оси x под воздействием механической силы F около заряженных СЭ тел A и B (палец). При изменении направления движения тела K относительно тел A или B знак напряжённости E на их поверхности изменяется скачком на противоположный [3]. В этот момент в пространстве тел A (B) и K возникает высоковольтный импульс напряжённостью E , который на их остриях может вызвать коронный разряд (КР). Тогда молекулы воздуха и содержащиеся в пространстве между ними частицы ионизируются, создавая по линиям напряжённости ЭП встречные потоки разнополярных зарядов, которые образуют общий ток смещения и переноса [3].

Тело K может быть притянуто к телу A (или B) в случае, если механическая сила движения F будет меньше силы ЭП. Если больше — то при удалении от тела B тело K разряжается, может снова стать нейтральным.

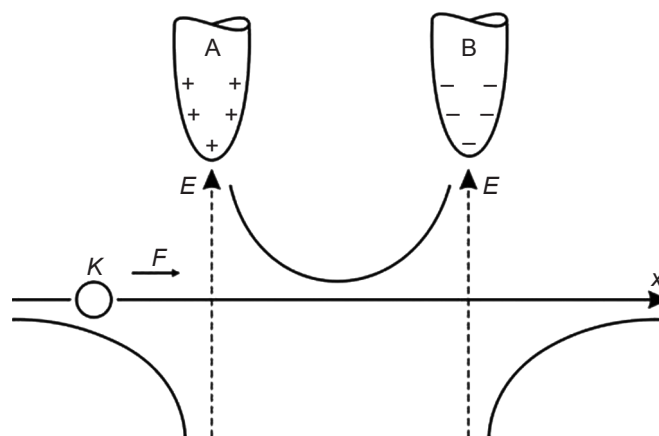


Рис. 2. График изменения напряжённости E ЭП на поверхности нейтральной проводящей частицы K при движении около заряженных СЭ тел A и B под воздействием силы F [1, рис. P1,1].

Fig. 2. Graph of the change in electrical field intensity E inside of the electric field (EF) on the surface of neutral conductive particle K during the movement near charged by static electricity bodies A and B under the influence of force F [1, Figure P1,1].

Механизмы распространения коронавирусов в воздухе по аналогии с частицами аэрозоля

Физические свойства взаимодействия частиц — аэрозолей размером 10^{-5} – 10^{-8} м в гравитационном поле и в ЭП известных устройств (распыления, фильтрации, сепарации, окраски и т. п.) представлены в известной литературе [5–8]. Частицы КВ входят в состав дисперсной фазы аэрозоля атмосферы, и для описания их распространения были использованы результаты развитой теории динамики аэрозоля, механизмами которых можно также объяснить передачу человеку более крупных частиц — бактерий.

Нейтральные частицы размером 10^{-7} – 10^{-9} м (менее 0,2 мкм) в воздухе удерживаются энергией теплового движения во взвешенном состоянии. Их концентрация во всём объёме остаётся постоянной — оседание частиц данной дисперсной фазы (и КВ) под действием силы тяжести практически не происходит [6, 7].

Эти частицы, соударяясь, переносятся (кувыркаясь, вращаясь) движением воздуха (ветра). При малой скорости ($< 0,1$ м/с) потока воздуха нейтральные частицы задерживаются (оседают, прилипают) на листьях растений, шероховатых поверхностях объектов и др. При большой скорости воздуха нейтральные частицы сдуваются с поверхностей. К разнополярным поляризованным поверхностям предметов (одежды) заряженные частицы силой ЭП притягиваются и удерживаются [1, 7].

При одном и том же количестве осадков эффект вымывания частиц аэрозоля из атмосферы мелкокапельными дождями больше, чем при крупнокапельном дожде. Эффективность вымывания частиц аэрозоля снежными осадками по сравнению с дождями при одной и той же интенсивности больше в несколько раз. Снег очищает атмосферу, осаждаясь вместе с частицами аэрозоля воздуха. Частицы снега всегда заряжены положительно [1, 7].

При вдохе здорового человека проникшие в пространство его зоны внешние («чужие») отрицательно заряженные частицы, перемещаясь мимо положительно заряженных слизистых поверхностей дыхательных путей, силой ЭП притягиваются и пробивают слизистую. Затем частицы проникают в цитоплазму живых клеток, давая начало процессу размножения, если это вирус или бактерия, или повреждают клетку, если это частица аэрозоля, становятся локальным источником инфекции (опухоли). Такие выводы были сделаны медицинскими организациями СССР (архив Московского метро) еще в 60-х годах прошлого столетия по результатам расследования смертей

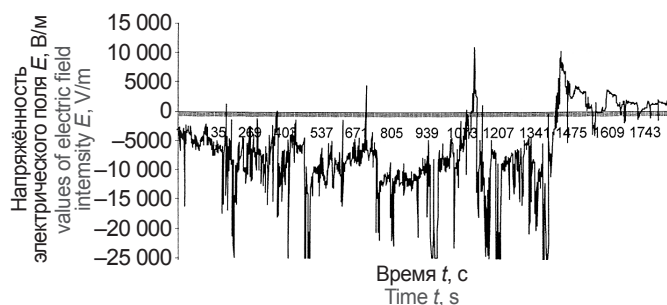


Рис. 3. Показания ИРИ-04М № 46. Человек одет во внештатную одежду. Уровень ЭСП > 10 кВ/м [10].

Fig. 3. The data of IRI-04M no.46. A man is dressed in freelance clothing. The level of the static electric field (ESF) accounts for more than 10 kV/m [10].

(рак лёгких) нескольких дежурных по эскалаторам внутри метро станций «Маяковская» и «Парк культуры», после того когда над эскалаторами (их рабочим местом) были подвешены зонты ионизаторов отрицательных ионов — «Люстры Чижевского».

Механизмы прикрепления коронавирусов к поверхности клетки-мишени — адсорбция

В работах по вирусологии рассматривается динамика только нейтральных частиц КВ, которые не имеют присоединённых зарядов. «Первичный контакт вируса с клеткой-мишенью происходит в результате случайных столкновений. Количество стабильных прикреплений вируса к клетке во много раз меньше количества случайных столкновений. Адсорбция протекает в две фазы. Первая фаза — *неспецифическая* (механическое присоединение)». Вторая фаза адсорбции — *специфическая* (биологическое присоединение), которая может произойти только при статическом контакте [4].

При разбрызгивании крупные и мелкие капли влаги (при кашле, чихании больного человека) приобретают заряды противоположных знаков, заряжая содержащиеся в них частицы КВ. Крупные капли (более 100 мкм) заряжаются положительно и под воздействием сил тяжести и ЭП АЭ оседают на поверхностях и рассыпаются. Содержащиеся в них тысячи заряженных КВ освобождаются и в виде облачка уносятся потоком воздуха или силой ЭП АЭ оседают на поляризованной поверхности.

Мелкие капли (менее 10 мкм) заряжаются отрицательно и удерживаются в воздухе силой ЭП АЭ до момента столкновения с крупной частицей. После чего заряженные частицы КВ рассыпаются, образуя в потоке воздуха облачко (взвесь), частицы (менее 0,2 мкм) которого теперь удерживает от оседания ещё и сила теплового поля.

В работах по физиотерапии показана высокая эффективность прикрепления частиц к клеткам поверхности дыхательных путей диспергированных капель или порошков лекарства электроаэрозоля вместо ранее используемых ингаляций нейтральными аэрозолями. Экспериментально показано, что, перемещаясь в потоке воздуха, именно отрицательные частицы электроаэрозоля в основном обеспечивают распыление, осаждение и прикрепление частиц лекарства к клеткам по сравнению с нейтральными аэрозолями [9]. Что подтверждает эффективность механизма первичного прикрепления к клетке-мишени именно заряженных частиц КВ, а не нейтральных.

Ещё более вероятный механизм первичного прикрепления обеспечивают кластеры — образования частиц, которые закручиваются левосторонним или правосторонним направлением вращения (условно спином — собственным моментом импульса частицы) вокруг центра их массы (центра инерции) завихрениями воздуха около тела, или в дыхательных путях человека, или пересекающие (см. рис. 2) под воздействием потока воздуха линии напряжённости ЭСП (одежды). Частицы с одинаковым спином вращения при-

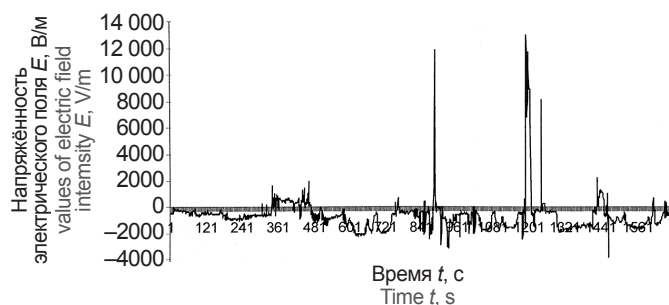


Рис. 4. Показания ИРИ-04М № 38. Человек одет в штатную одежду. Уровень ЭСП ≤ 2 кВ/м [10].

Fig. 4. The data of IRI-04M No.38. A man is dressed in regular clothes. The ESF level ≤ 2 kV/m [10].

тягиваются друг к другу, образуя кластеры, с противоположным спином — отталкиваются друг от друга. Частицы с одинаковым знаком заряда в статике отталкиваются, при движении с одинаковым спином — притягиваются.

Кластер представляет собой образования (ансамбль), содержащий от нескольких единиц до десятка тысяч частиц заряженных частиц, возникающих в условиях действия завихрений воздуха, вращающихся ЭП или индукций магнитного поля. Частицы, содержащиеся в кластерах, будут рассеиваться на поверхностях дыхательных путей, обеспечивая более вероятное массовое первичное прикрепление КВ к клеткам-мишеням.

Подобные завихрения воздуха, ЭП и магнитного поля образуются в толпе людей: на платформе метро или электрички от проходящего поезда, у перехода улицы от движущегося транспорта, турбулентной вентиляции в помещении и др. Если в толпе присутствует инфицированный человек, то очень высока вероятность передачи КВ многим людям — больше, чем при общении людей в условиях малой скорости потока воздуха.

Измерения ЭСП на теле людей при бесконтактном общении в процессе движения

По результатам работы, выполненной в условиях Крайнего Севера. На рис. 3, 4 приведены (испытатели: к.ф.-м.н. Котляров А.А., Мавлютов А.А. и др.) распечатки осциллограмм документирования напряжённости ЭСП при бесконтактном (на расстояниях 0,4–1,2 м) общении людей в процессе движения в группе к складу нефтепродуктов. Уровни ЭСП (информативный показатель электризации тела человека) регистрировались разработанными приборостроительной компанией НТМ «Защита», аттестованными и поверенными приборами ИРИ-04М, пристёгнутыми к верхней одежде испытуемых в области грудины — безопасного места, рекомендованного (тестированного) к.м.н. Андреевым Ю.В. [10].

Группа испытуемых из 4 человек двигалась по зимней дороге к складу нефтепродуктов п. Новозаполярный при температуре воздуха минус 30 °С. Трое были одеты в штатную одежду (антистатические тёплые куртки, валенки с резиновым низом и штатные перчатки). Четвёртый был одет во внештатную одежду — овчинный полушубок, ботинки с полиуретановой подошвой (изолирующей) и шерстяные перчатки. Во внештатную одежду были одеты ещё двое сопровождающих рабочих. Приборы ИРИ-04М в режиме реального времени документировали все воздействия ЭП на тела испытуемых [10].

Из рис. 3 следует, что средняя напряжённость ЭСП на одежде испытуемого, одетого во внештатную одежду, возрастала более 10–12 кВ/м, а одетого в штатную одежду не превышала 2 кВ/м (см. рис. 4). Двухполярные амплитуды (до 25 кВ/м) выбросов ЭП на рис. 3 — фиксации вспышки коронного разряда (КР) — результат взаимодействия людей внештатной одежде. Небольшие выбросы на рис. 3 — взаимодействие с испытуемыми в штатной одежде. Выбросы до 13 кВ на рис. 4, по-видимому, вызваны случайным контактом с одним из участников движения.

В процессе взаимодействия людей в антистатической одежде и обуви выбросы-импульсы более 3 кВ/м (см. рис. 4) практически не фиксируются, что указывает на отсутствие всплеск КР. Из-за узкой полосы частот 0–400 Гц и ограничений во входной схеме прибора ИРИ-04М фиксируемые амплитуды выбросов ЭП на рис. 3 вместо 25 кВ/м составляют 10^5 – 10^7 В/м, что соответствует моментам всплеск КР, и сопровождаются токами смещения и переноса заряженных частиц [3, 10].

Большие выбросы ЭП на соседнее тело или в воздух на рис. 3 могут происходить на остриях одежды, пальцев руки и т. п., когда возникают максимальные ЭП напряжённостью E , которые могут вызывать воздушные разряды: тлеющий, тихий – 10^3 – 10^5 В/м; коронный – 10^5 – 10^7 В/м; искровой (кистевой) – 10^7 – 10^9 В/м [2, 5].

Повышение потенциала СЭ на локальной кривизне (острие) вызывает сначала «тихий разряд», переходящий в КР, когда возбуждённые электроны, преодолевая поверхностную энергию работы выхода материала острия, ионизируют нейтральные молекулы газов и частиц в зоне пространства КР. Другие ионизированные частицы из зоны тела человека стягиваются (притягиваются) в пространство КР, образуя своеобразный чехол [5].

В процессе ионизации в чехле КР в воздухе образуются облако частиц – электроны, отрицательные и положительные ионы молекул воздуха, влаги и аэрозоля, которые под воздействием ЭСП разносятся лавиной токов смещения и переноса в противоположных направлениях. Происходит диффузия, постепенное расплывание потенциала по каналу. При импульсном высоковольтном воздействии КР обычно реализуется в стримерной форме, так как стример – гораздо более быстрый процесс, чем лавинная форма. В свободном пространстве стример можно представить удлиняющимся с обоих концов проводящим стержнем (образующим канал), переносящим потоки заряженных частиц [5].

В натуральных условиях искровой разряд происходил, когда испытатель во внешней одежде только подносил руку (палец) к заземлённому оборудованию. Разряд происходил при большей напряжённости ЭСП, когда руки испытателя были одеты в сухие перчатки [10].

Применяемые сегодня для защиты от КВ перчатки повышают порог допустимого ЭСП, вызывающего выбросы токов смещения и передачи частиц, и предохраняют людей от всплеск токов, транспортирующих частицы КВ при резком сближении его руки с больным. Например, находясь на расстоянии 1 м от больного, человек без перчаток может протянуть (0,7 м) и резко убрать руку. В эти моменты в промежутке 0,3 м между пальцем и телом больного может появиться импульс высокой напряжённости ЭСП (см. рис. 2), который вызовет взаимную передачу частиц размером до 1 мкм токами смещения и передачи [3].

Из осциллограмм следует, что положительно заряженный снег индуцирует на телах двигающихся людей заряды отрицательной полярности. Перемещающиеся в потоке воздуха частицы (взвеси КВ) тоже становятся в основном отрицательными аэроионами, которые, приближаясь к зоне (ауре) человека, или отталкиваются, обгибая тело, или разряжаются, превращаясь в нейтральную частицу, менее опасную для прикрепления к клетке-мишени. Положительные аэроионы всегда более тяжёлые и малоподвижные по сравнению с отрицательными, поэтому прикрепление их к клетке-мишени маловероятно.

Технология порошкового распыления – аналогия переноса частиц коронавирусами

В устройствах порошкового электрораспыления действие коронного разряда (КР), вызывающего ток переноса ионизированных частиц порошка, поддерживается источником постоянного напряжения 10–30 кВ [8]. На рис. 3 выбросы ЭСП – 10–12 кВ/м – это результаты коронных разрядов напряжённостью 10^5 – 10^7 В/м, которые поддерживались

энергией разряда заряженного тела человека и импульсов ЭП большой амплитуды с высокой скоростью нарастания – dE/dt , возникающие в моменты резких движений при изменении направления перемещения заряженного СЭ тела.

В технологии порошкового электрораспыления частицы размером 1–15 мкм подаются на острия или лезвия кромок устройств, находящихся под потенциалом 10–30 кВ, ионизируются возбуждёнными электронами КР и перемещаются от отрицательного коронирующего электрода по силовым линиям ЭСП. Процесс распыления порошка в этом случае осуществляется силой ЭП (электронным ветром) без посредства сжатого воздуха. Действующую при этом напряжённость ЭП можно оценить как $E_p = 30 \text{ кВ}/0,3 \text{ м} = 10^5 \text{ В/м}$, где 0,3 м – расстояние от электрода до заземлённой детали [5, 8].

По порядку величины $E_p = 10^5 \text{ В/м}$ соответствует ожидаемой напряжённости ЭП ($E \geq 10^5 \text{ В/м}$) – фактических амплитуд импульсов (выбросов), фиксируемых на рис. 3, – начала всплески КР, вызывающего бесконтактные токи смещения и переноса частиц. Таким образом, если в устройстве распыления использовать более мелкий порошок диаметром КВ 0,03–0,15 мкм, то можно ожидать осаждение распыления уже на расстояниях до (0,6–1) м, например, когда создаются условия захвата частиц при ускоренном токе переноса ионов стримера [5].

Из практики известно, что если ЭСП тела человека не превышает 3 кВ/м, то при случайном всплеске КР, например, на остриях металлической фурнитуры, одежды, пальца, ударной энергии возбуждённых электронов достаточно только для ионизации ионов газов воздуха, влаги и аэрозоля размером менее 3 нм. В этом случае частицы размером $\geq 30 \text{ нм}$ (минимальный размер КВ COVID-19) не могут быть перенесены силой $F = q \cdot E$ на расстояние более 0,05 м из-за малых значений заряда и напряжённости $E \leq 3 \text{ кВ/м}$ ЭСП [6].

Соответственно (для нефтебазы) была выполнена калибровка прибора ИРИ-04М, регистрирующего максимальный уровень заряженности тела человека СЭ, при котором энергия искрового разряда через палец будет меньше энергии воспламенения нефтепродукта – 0,2 мДж. Индикаторы зелёный, жёлтый, красный прибора загораются и горят, когда уровни напряжённости ЭСП превышают 1; 2 и 3 кВ/м для условий труда при температуре минус 40 °С – +50 °С и влажности более 5% [10].

Ионизация микрокоронными разрядами частиц размером более 30 нм ещё не будет происходить (не будет переноса частиц) при напряжённостях $E \leq 4,5 \text{ кВ/м}$ ЭСП на теле человека для условий в помещениях – температуры более минус 5 °С и влажности $\geq 5\%$. Соответственно (в рассматриваемом случае) граничные уровни ИРИ-04М необходимо калибровать в пределах 2; 3,5 и 4,5 кВ/м, чтобы прибор можно было использовать для самоконтроля в условиях проживания и пребывания и применять для контроля безопасного ЭСП тела (одежды) работающих с больными КВ.

Снижение распространения коронавирусов путём нормализации электростатических условий

1. Без нормализации условий ЭСП в местах проживания и пребывания невозможно снизить распространение заряженных частиц КВ. Поэтому в жилых помещениях и общественных зданиях, на рабочих местах покрытия полов, одежда и обувь людей должны соответствовать требованиям стандартов IEC 61340-4-1¹, IEC 61340-4-5/CDV² и IEC 61340-5-1³ и нормальным климатическим условиям.

¹ IEC 61340-4-1. Электростатика. Раздел 4–1: Стандартные методы тестирования для специальных применений. Секция 1: Электростатические характеристики напольных покрытий и системы полов (1999-02).

² IEC 61340-4-5/CDV. Электростатика. Раздел 4–5: Стандартные методы тестирования для специальных применений – метод, характеризующий степень защиты обуви в зависимости от вида.

³ IEC 61340-5-1. Электростатика. Раздел 5–1: Защита электронных устройств от электростатики. Основные требования. (1998-12).

2. Комплексным показателем антистатической безопасности покрытий пола, одежды и обуви человека является время t_y утечки наведённых зарядов с одежды, соотнесённый с уровнем влажности [11]. Контроль показателя времени утечки $t_y \leq 4$ с (при влажности 50%) выполняют по методу ГОСТ 31610.32-2- 2016/IEC 60079-32-2:2015⁴.

3. Защитная закрытая одежда медицинского работника, обувь, полы и климатические условия в помещениях для больных должны быть антистатическими — соответствовать требованиям ГОСТ 31610.32-2- 2016/ IEC 60079-32-2:2015.

4. Фронтальная верхняя часть одежды работника должна быть предпочтительно наветренной — скорость движения воздуха 0,1–0,15 м/с. Перед входом в опасную зону следует выполнить электростатический контроль экипировки: уровень напряжённости ЭСП, регистрируемый прибором ИРИ-04М, расположенным в области грудины тела, не должен превышать 4,5 кВ/м при перемещениях и движениях рук, ног.

⁴ ГОСТ 31610.32-2- 2016/ IEC 60079-32-2:2015. Взрывоопасные среды. Часть 32-2 Электростатика. Опасные проявления. Методы испытаний (IEC 60079-32-2, IDT).

Заключение

1. Заряженный СЭ инфицированный КВ человек является источником распространения КВ в окружающей среде.

2. Наиболее вероятное механическое присоединение (первая фаза адсорбции) к клетке-мишени выполняют именно заряженные (отрицательные) частицы КВ.

3. Значения ЭСП $\leq 4,5$ кВ/м на теле человека, контролируемые прибором ИРИ-04М, можно считать безопасными условиями распространения и приёма частиц КВ [10].

4. Анализ механизмов электризации человека, антистатических условий в помещениях подтверждают эффективность общих мер защиты людей от КВ: применение масок, перчаток, защита расстоянием, использование антистатической одежды и обуви.

5. Пропаганда методов самоконтроля, защиты и нормализации электростатических условий среди населения позволит снизить распространение КВ в каждом доме [10].

6. Необходимо применение: устройств визуализации инфицированных людей в толпе и приставки к смартфону — бесконтактного индивидуального регистратора — индикатора наличия КВ в окружающем пространстве для самоконтроля.

Литература

1. Шулейкин В.Н., Шукин Г.Г., Куповых Г.В. Развитие методов и средств прикладной геофизики — атмосферно-электрический мониторинг геологических неоднородностей и зон геодинамических процессов. СПб.; 2015.
2. Ермаков В.И., Труханов К.А. О квазистатических электрических полях, возникающих вследствие сноса облаков зарядов от коронирующих проводов линий электропередач сверхвысокого напряжения. В кн.: «Проблемы электромагнитной безопасности человека». 1-я Российская конференция с международным участием. М.; 1996: 66–7.
3. Демирчан К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. СПб.: Питер; 2006.
4. Красникова Е.С. Вирусология и биотехнология: краткий курс лекций для студентов 3 курса специальности «Ветеринария». Саратов; 2016.
5. Самусенко А.В., Стишков Ю.К. Электрофизические процессы в газах при воздействии сильных электрических полей. СПб.; 2012.
6. Пономарев П.Т., Попов Н.А. Направленные ионизированные потоки воздуха в энергосберегающих технологиях вентиляции производственных помещений. Физико-технические проблемы разра-
- ботки полезных ископаемых. Рудничная аэрогазодинамика. 2014; (4): 123–35.
7. Глаголев М.В., Сабреков А.Ф., Фаустова Е.В., Марфенина О.Е. Моделирование динамики концентрации грибного аэрозоля в приземном слое атмосферы: Основные процессы и уравнения. Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2016; 7(2): 85–102.
8. Основы технологии нанесения порошковой краски. Available at: <https://pnevmo.net/texts/elektropor.html>
9. Аэрозоли и электроаэрозоли. Физиологическое действие электроаэрозолей. Available at: <https://cmr55.ru/artical/aerzoli-i-elektroaerzoli/>
10. Рябов Ю.Г., Трубицын А.В., Ломаев Г.В., Тюренков С.Н. Практика проведения работ по предотвращению пожаров на нефтебазах от разрядов статического электричества и искр электросетей 50 Гц в условиях Крайнего Севера. Технологии электромагнитной совместимости. 2018; (3): 73–82.
11. Рябов Ю.Г., Лопаткин С.М., Стоякин А.И., Валиулин Р.А. Способ контроля электростатической безопасности объекта. Бюллетень изобретений № 37; 1988.

References

1. Shuleykin V.N., Shchukin G.G., Kupovykh G.V. Development of Methods and Instruments of the Applied Geophysics: Atmospheric-Electrical Monitoring of Geological Faults and Zones of Geodynamic Processes [Razvitie metodov i sredstv prikladnoy geofiziki — atmosferno-elektricheskiy monitoring geologicheskikh neodnorodnostey i zon geodinamicheskikh protsessov]. St. Petersburg; 2015. (in Russian)
2. Ermakov V.I., Trukhanov K.A. On quasi-static electrical fields arising from the demolition of clouds of charges from the crowning wires of ultra-high voltage power lines. In: «Problems of human electromagnetic safety». 1st Russian Conference with International Participation [«Problemy elektromagnitnoy bezopasnosti cheloveka». 1-ya Rossiyskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem]. Moscow; 1996: 66–7. (in Russian)
3. Demirchan K.S., Neyman L.R., Korovkin N.V., Chechurin V.L. Theoretical Basics of Electrical Engineering [Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki]. St. Petersburg: Piter; 2006. (in Russian)
4. Krasnikova E.S. Virology and Biotechnology: A Short Lecture Course for Students of 3rd Year specialty «Veterinary» [Virusologiya i biotekhnologiya: kratkiy kurs lektsiy dlya studentov 3 kursa spetsial'nosti «Veterinariya»]. Saratov; 2016. (in Russian)
5. Samusenko A.V., Stishkov Yu.K. Electrophysical Processes in Gases when Exposed to Strong Electric Fields [Elektrofizicheskie protsessy v gazakh pri vozdeystvii sil'nykh elektricheskikh poлей]. St. Petersburg; 2012. (in Russian)
6. Ponomarev P.T., Popov N.A. Directional ionized air flow in energy-saving technologies of the production area ventilation. Rudnichnaya aerogazodina-mika. 2014; 50(4): 757–67.
7. Glagolev M.V., Sabrekov A.F., Faustova E.V., Marfenina O.E. Modelling of concentration dynamics of fungal aerosols in the atmospheric boundary layer: I. Basic processes and equations. Dinamika okruzhayushchey sredy i global'nye izmeneniya klimata. 2016; 7(2): 85–102. (in Russian)
8. Fundamentals of powder paint application technology. Available at: <https://pnevmo.net/texts/elektropor.html> (in Russian)
9. Aerosols and electroaerosols. The physiological effects of electrical aerosol. Available at: <https://cmr55.ru/article/aerosols-i-electroaerosols/> (in Russian)
10. Ryabov Yu.G., Trubitsyn A.V., Lomaev G.V., Tyurenkov S.N. The practice works to prevent fires on tank farms from discharges of static electricity and sparks of electricity grids 50 Hz in the Far North. Tekhnologii elektromagnitnoy sovmestimosti. 2018; (3): 73–82. (in Russian)
11. Ryabov Yu.G., Lopatkin S.M., Stoyakin A.I., Valiulin R.A. A method for controlling the electrostatic safety of an object. Bulletin of Inventions No. 37; 1988. (in Russian)