

Рис. 1. структура вируса SARS-CoV-2.

а) художественное изображение структуры и поперечного сечения вируса.

б) просвечивающая электронная микрофотография вирусной частицы SARS-CoV-2, выделенной от пациента в комплексном исследовательском центре Национального института аллергии и инфекционных заболеваний (NIAID) в Форт-Детрике, штат Мэриленд.

В 2002 году в китайской провинции Гуандун был обнаружен новый CoV - тяжелый острый респираторный вирус (ТОРС, англ. SARS). Атипичная пневмония - это зоонозная болезнь, которая возникла у летучих мышей и привела к появлению симптомов стойкой лихорадки, озноба/окоченения, миалгии, сухого кашля, головной боли и одышки у людей. Уровень смертности от ТОРС составлял 10%, и он был передан 8000 человекам вовремя 8-месячной вспышки болезни в период с 2002 по 2003 год.

Примерно через 10 лет после атипичной пневмонии появился еще один новый высокопатогенный CoV, известный как коронавирусы ближневосточного респираторного синдрома (БВРС-CoV, англ. MERS-CoV), который, как полагают, также произошел от летучих мышей, а в качестве резервуара-носителя послужили верблюды. Впервые MERS-CoV был выявлен на Аравийском полуострове и распространился на 27 стран, где смертность составила 35,6% в 2220 случаях.

Коронавирусная болезнь 2019 года (COVID-19). В декабре 2019 года в городе Ухань провинции Хубэй, крупном транспортном узле Центрального Китая, был выявлен новый ков SARS-CoV-2. Самые ранние случаи заболевания COVID-19 были связаны с большим рынком морепродуктов в Ухане, что первоначально предполагало прямой путь передачи инфекции от источника питания. С тех пор мы узнали, что передача от человека к человеку является одним из основных механизмов распространения COVID-19. За месяцы, прошедшие с момента выявления первых случаев заболевания, COVID-19 распространился на 171 страну и территорию, и по состоянию на 26.05.2020 в мире официально зафиксировано 5 453 784 заболевших Covid-19 в 188 странах. Оценки смертности варьируют в диапазоне от долей процента до 10%.

Контагиозность (известная как  $R_0$  SARS-CoV-2 была оценена от 1,5 до 3.  $R_0$  определяется как среднее число людей, которые заразятся болезнью от одного заразного человека. Для справки, корь имеет известный высокий  $R_0$  приблизительно от 12 до 18, а грипп имеет  $R_0$  2. Однако в замкнутых пространствах BE  $R_0$  SARS-CoV-2, по оценкам, значительно выше (оценки варьируются от 5 до 14), причем 700 из 3711 пассажиров на борту "Алмазной принцессы" (19%) заразились COVID-19 во время их 2-недельного карантина на корабле. Эти инциденты демонстрируют высокую заразность COVID-19 в ограниченных пространствах BE.

Built Environment. Построенная среда (BE)-это совокупность сред, созданных человеком, включая здания, автомобили, дороги, общественный транспорт и другие созданные человеком пространства. Поскольку большинство людей проводят 90% своей повседневной жизни внутри BE, крайне важно понять потенциальную динамику передачи COVID-19 в экосистеме BE. BE служат потенциальным транспортом для передачи и распространения COVID-19, вызывая тесные взаимодействия между индивидами через фомиты (объекты или материалы, которые могут переносить инфекционные заболевания), а также посредством вирусного обмена и передачи по воздуху. Плотность населения в зданиях способствует накоплению ассоциированных с человеком микроорганизмов. По мере того как люди движутся через BE, происходит прямой и косвенный контакт с окружающими их поверхностями. Вирусные частицы могут быть непосредственно депонированы и ресуспандированы из-за естественных воздушных потоков, механических воздушных потоков или других источников турбулентности в помещении, таких как ходьба и тепловые шлейфы от теплых человеческих тел. Эти ресуспандированные вирусные частицы могут затем переселиться обратно на фомиты. Когда человек вступает в контакт с поверхностью, происходит обмен микробной жизнью, включая передачу вирусов от человека к поверхности и наоборот. После заражения люди с COVID-19 сбрасывают вирусные частицы до, во время и после развития симптомов заболевания. Эти вирусные частицы могут затем оседать на абиотические объекты в BE и потенциально служить резервуарами для передачи вируса. Данные свидетельствуют о том, что фомиты потенциально могут быть заражены частицами SARS-CoV-2 от инфицированных людей через телесные выделения, такие как слюна и носовая жидкость, контакт с загрязненными руками и оседание аэрозольных вирусных частиц и крупных капель, распространяющихся через разговор, чихание, кашель и рвоту. В настоящее время нет подтвержденных случаев передачи фомита человеку, но вирусные частицы были обнаружены на абиотических поверхностях BE.

SARS-CoV2-19 - это вирус, который, как полагают, передается от человека к человеку тремя способами:

- 1) близкого и прямого контакта с зараженным человеком;
- 2) путем вдыхания капель, произведенных инфицированным человеком;
- 3) через контакт с зараженными вирусом поверхностями.



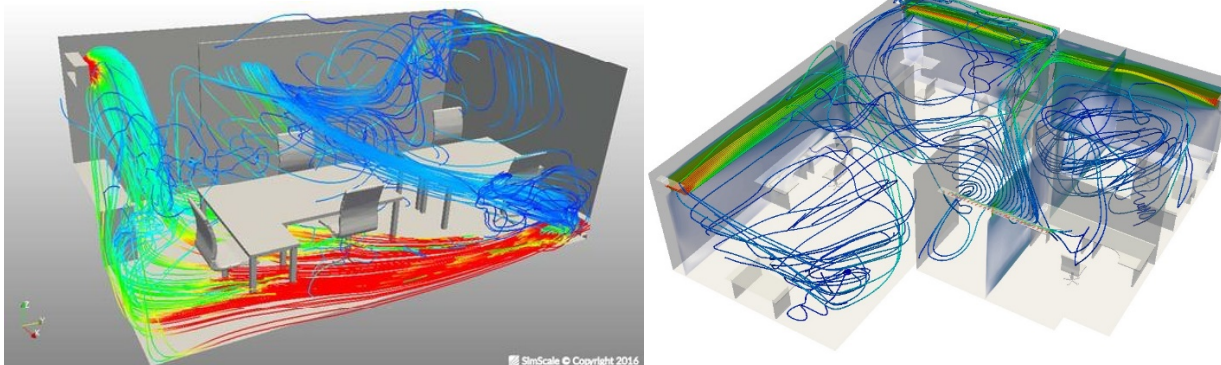
вполне вероятно, что SARS-CoV-2 потенциально может сохраняться на fomитах в диапазоне от нескольких часов до 5 дней в зависимости от материала. Основываясь на предварительных исследованиях выживаемости SARS-CoV-2, вирус дольше всего выживал при относительной влажности 40% на пластиковых поверхностях (медиана полураспада 15,9 ч) и короче всего в аэрозольной форме (медиана полураспада 2,74 ч); однако выживаемость в аэрозоле определялась при относительной влажности 65%. Основываясь на данных, связанных с SARS и MERS, мы прогнозируем, что жизнеспособность SARS-CoV-2, вероятно, будет более длительной при более низких уровнях относительной влажности. Выживаемость SARS-CoV-2 при относительной влажности 40% на меди (медиана полураспада 3,4 ч), картоне (медиана полураспада 8,45 ч) и стали (медиана полураспада 13,1 ч) в совокупности находится между выживаемостью в воздухе и на пластике.

## COVID-19 IN DIFFERENT SURFACES

SURFACE	TIME
Sprayers	3 hours
Copper	4 hours
Plastic	2-3 days

SURFACE	TIME
Cardboard	24 hours
Steel	2-3 days
Wood	4 days

С точки зрения физики, мы не можем найти хорошего оправдания для стационарного 1,5-метрового разделения в ситуации, когда люди проводят долгое время вместе в комнате. Капли, содержащие вирус, перемещаются в воздухе с помощью конвекции. Схема конвекции в помещении может быть очень сложной; см. рис. 1. Это зависит от расположения кондиционеров, радиаторов, окон и всех предметов в комнате, а также от людей, создающих вихри, перемещаясь вокруг. Существующие вихри в воздухе могут сделать расположение вдали от источника капель более опасным, чем расположение на расстоянии 1,5 м. Это относится к конференц-залам, офисным помещениям, супермаркетам, универсамам и т. д.



Визуальное представление линий потока воздуха в конференц-зале (слева) и офисном пространстве (справа), окрашенных в зависимости от величины скорости от низкой (синий) до высокой (красный). Конвекционная картина в конференц-зале демонстрирует, как инфекция может постоянно переноситься воздушным потоком между двумя стульями, разделенными 1,5 метрами. Картина конвекции в офисном пространстве иллюстрирует, как инфекция может быть воспринята воздушным потоком из одной кабинки в другую.

Некоторые из капель, произведенных инфицированным человеком, настолько малы, порядка десяти нанометров, что на них не действуют силы гравитации: они остаются взвешенными в воздухе и образуют био-аэрозоли

Поэтому ясно, что гравитация не играет никакой роли в движении изолированного вируса по воздуху. Скорее всего, он следует конвекционной схеме, аналогичной тому, как вонючие вещества перемещаются по воздуху. Тогда вероятность выживания вируса в сухом воздухе определяется вероятностью выживания вне его естественной среды обитания. Установлено, что период полураспада SARS-CoV-2 в аэрозолях составляет около 1,1 часа

Смягчение вирусной передачи через системы доставки вентиляции ВЕ чаще всего зависит от встроенных фильтрующих сред. Жилые и коммерческие системы обычно требуют минимального значения эффективности MERV-8, которое рассчитано на улавливание 70-85% частиц в диапазоне от 3,0 до 10,0 м, стратегия, используемая для минимизации загрязнений и потери эффективности воздействия на теплообменники и другие компоненты отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC). Высокие рейтинги MERV необходимы для фильтрации входящего наружного воздуха, основанных на местном уровне загрязняющих частиц. Комнаты защитной среды в больницах требуют самой строгой минимальной эффективности фильтрации. В качестве первого фильтра перед нагревательным и охлаждающим оборудованием требуется MERV 7 или выше, а второй высокоэффективный фильтр для твердых частиц (HEPA) устанавливается за охладителями и вентиляторами. Фильтры HEPA рассчитаны на удаление не менее 99,97% частиц до 0,3 мкм. Большинство жилых и коммерческих зданий используют MERV-5 - MERV-11, а в критических медицинских учреждениях используются фильтры MERV-12 или выше и HEPA. Фильтры MERV-13 обладают потенциалом удаления микробов и других частиц в диапазоне от 0,3 до 10,0 мкм. большинство вирусов, включая CoV, колеблются в диапазоне от 0,004 до 1,0 мкм, что ограничивает эффективность этих методов фильтрации против патогенов, таких как SARS-CoV-2. Кроме того, ни одна система фильтров не является совершенной. В последнее время было установлено, что зазоры в краях фильтров в больницах являются одним из факторов, способствующих отказу фильтрующих систем для устранения патогенов из общей воздушной среды.

Внедрение усовершенствованных методов эксплуатации систем ОВКВ зданий также может снизить потенциальную опасность распространения SARS-CoV-2. Несмотря на то, что вирусные частицы слишком малы, чтобы их можно было сдерживать даже лучшими фильтрами HEPA и MERV, можно принять меры предосторожности при вентиляции, чтобы обеспечить минимизацию распространения SARS-CoV-2. Правильная установка и техническое обслуживание фильтров может помочь снизить риск передачи инфекции воздушным путем, но важно понимать, что фильтры не должны предполагаться для устранения риска передачи инфекции воздушным путем.

ASHRAE 52.2	EN779	ISO ePM <sub>1</sub>	ISO ePM <sub>2,5</sub>	ISO ePM <sub>10</sub>	ISO Course
MERV 5	G3	-	-	-	>80%
MERV6-7	G4	-	-	-	>90%
MERV 8-9	M5	-	-	>50%	-
MERV 10-12	M6	-	50-65%	>60%	-
MERV 13	F7	50-65%	65-80%	>85%	-
MERV 14	F8	65-80%	>80%	>90%	-
MERV 15	F9	>80%	>95%	>95%	-

Все больше данных свидетельствует о том, что влажность может играть определенную роль в выживании мембраносвязанных вирусов, таких как SARS-CoV-2 (63-65). Предыдущие исследования показали, что при типичных температурах в помещении относительная влажность воздуха (RH) выше 40% вредна для выживания многих вирусов, включая Ков в целом (63, 66, 67), а более высокая RH в помещении, как было показано, уменьшает инфекционный вирус гриппа при моделируемом кашле (67). Основываясь на исследованиях других вирусов, в том числе CoVs, более высокий RH также уменьшает рассеивание в воздухе за счет сохранения более крупных капель, содержащих вирусные частицы, что приводит к их более быстрому осаждению на поверхности помещения (63, 68, 69). Более высокая влажность, вероятно, отрицательно влияет на липидные вирусы, такие как ков, через взаимодействие с полярными головками мембран, которые приводят к конформационным изменениям мембраны, вызывая разрушение и инактивацию вируса (70, 71). Кроме того, изменения влажности могут повлиять на то, насколько восприимчив человек к инфекции вирусными частицами (72) и насколько глубоко в дыхательных путях могут осажаться вирусные частицы (68). Было продемонстрировано, что снижение резус-фактора приводит к снижению мукоцилиарного клиренса вторгающихся патогенов и ослаблению врожденного иммунного ответа (72-74). Однако RH выше 80% может начать способствовать росту плесени, вызывая потенциально вредные последствия для здоровья (75). Хотя нынешний стандарт вентиляции, принятый медицинскими учреждениями и учреждениями интернатного типа ASHRAE 170-2017, допускает более широкий диапазон RH от 20% до 60%, поддержание RH от 40% до 60% в помещении может помочь ограничить распространение и выживаемость SARS-CoV-2 в пределах BE, минимизируя риск роста плесени и поддерживая гидратированные и неповрежденные слизистые барьеры у людей, находящихся в помещении (50, 67).

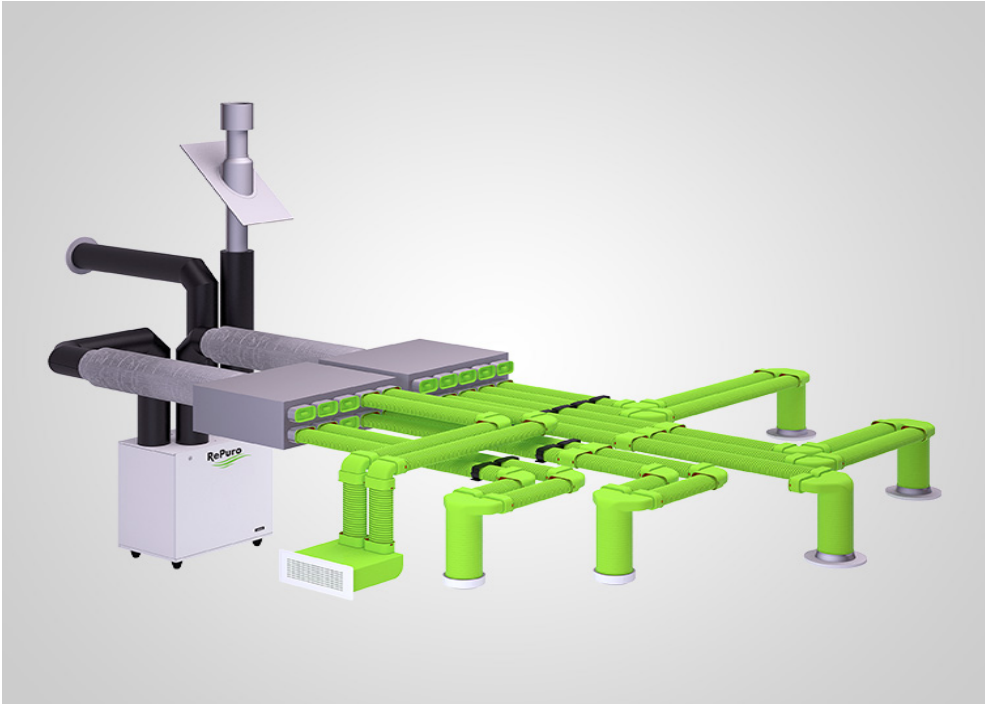


Более высокие фракции наружного воздуха и более высокие скорости воздухообмена в зданиях могут способствовать разбавлению внутренних загрязняющих веществ, включая вирусные частицы, из воздуха, который вдыхается внутри здания. Более высокие фракции наружного воздуха могут быть достигнуты путем большего открытия положений заслонок наружного воздуха на вентиляционных установках, что приводит к более высокому соотношению внутреннего воздуха и любых находящихся в воздухе вирусных частиц. Есть некоторые предостережения, которые следует учитывать относительно этих параметров строительных операций. Во-первых, увеличение доли наружного воздуха может привести к увеличению потребления энергии. В краткосрочной перспективе это стоящий метод смягчения последствий для поддержания здоровья человека, но строительные операторы настоятельно призываются вернуться к нормальным соотношениям после того, как период риска прошел. Во-вторых, не все системы обработки воздуха обладают способностью существенно увеличивать соотношение наружного воздуха, а те, которые это делают, могут потребовать более частого протокола обслуживания фильтров. В-третьих, увеличение скорости воздушного потока, которое просто увеличивает подачу рециркулированного внутреннего воздуха без увеличения доли наружного воздуха, может увеличить потенциал передачи. Более высокие скорости воздушного потока могут увеличить ресуспензию от фомитов и от других обитателей здания и увеличить потенциал загрязнения по всему зданию, распределяя внутренний воздух более быстро, с более высокими скоростями и объемами, потенциально ресуспендируя больше ультрадисперсных частиц.

Тип помещения	Рассчитываемая температура	Величина кратности воздухообмена	
		Приток	Вытяжка
служебные помещения: кабинеты, офисы, комнаты, конференц-залы площадью более 35м <sup>2</sup>	18	Согласно расчета по ассимиляции тепло и влагоизбытка	
служебные помещения: кабинеты, офисы, комнаты, конференц-залы площадью менее 35м <sup>2</sup>	18	3,5	2,8
помещения приемных при кабинетах и офисах	18	3,0	2,4

Basement Parking	15-30
Residential Basement	3-4
Bedroom	5-6
Residential Bathroom	6-7
Residential Living Rooms	6-8
Residential Kitchen	7-8
Residential Laundry	8-9
Business Offices	6-8
Business Lunch Break Rooms	7-8
Business Conference Rooms	8-12
Business Copy Rooms	10-12
Computer Rooms	10-14
Restaurant Dining Area	8-10
Restaurant Food Staging Area	10-12
Restaurant Bar	15-20
Public Hallway	6-8
Public Retail Store	6-10
Public Foyer	8-10

Было доказано, что подача наружного воздуха непосредственно через оболочку в соседний пространственный объем увеличивает филогенетическое разнообразие внутренних бактериальных и грибковых сообществ и создает сообщества, которые более похожи на наружные ассоциированные микробы, чем воздух, подаваемый через централизованную систему ОВКВ. В некоторых зданиях подобный подход может быть реализован с помощью распределенных блоков ОВКВ, таких как упакованные терминальные кондиционеры (РТАС), часто встречающиеся в гостиницах, отелях, домах престарелых, кондоминиумах и квартирах





В то время как влияние дневного света на внутренние вирусы и ОРВИ-ков-2 все еще не изучено, специально настроенное электрическое освещение уже реализовано в качестве инженерного контроля для дезинфекции внутри помещений. Ультрафиолетовое излучение в области более коротких длин волн (254-нм UV C [UVC]) особенно бактерицидно, и приспособления, настроенные на эту часть светового спектра, эффективно используются в клинических условиях для инактивации инфекционных аэрозолей и могут снизить способность некоторых вирусов выживать (84). Важно отметить, что большая часть UVC-света устраняется в атмосфере, в то время как большая часть UVA-и UVB-спектра устраняется через слои строительного стекла. Воздушно-капельные вирусы, содержащие одноцепочечную РНК (SRNA), уменьшаются на 90% при низкой дозе УФ-излучения, и потребность в УФ-дозе увеличивается для таких вирусов, обнаруженных на поверхности. Предыдущее исследование показало, что 10 мин UVC-света **инактивировали 99,999% тестируемых CoV, SARS-CoV и MERS-CoV**. Однако УФ-бактерицидное облучение (UVGI) потенциально может вызвать проблемы безопасности, если обитатели помещения подвергаются воздействию высокоэнергетического света. По этой причине UVGI безопасно устанавливается в каналах механической вентиляции или в верхних помещениях для косвенной обработки воздуха посредством конвективного движения воздуха.

Особые соображения в отношении медицинских учреждений в связи с текущими и будущими эпидемиями. Больницы представляют собой уникальные проблемы в процессе смягчения последствий и защиты всех жителей от вспышки инфекционных заболеваний. Мало того, что медицинские учреждения и больничные учреждения имеют ограниченные возможности для принятия мер социального дистанцирования для предотвращения распространения инфекции, но и медицинские учреждения также часто совместно принимают пациентов с совершенно иными требованиями, чем те, которые их окружают. Например, пациенты с высоким риском иммунодефицита часто содержатся в помещениях с защитной средой (ПЗС), предназначенных для ограничения проникновения в помещение внешних воздушно-капельных инфекционных агентов. Для этого в этих помещениях создается положительное давление относительно пространства коридора с минимальным количеством приточного воздуха и фильтрацией HEPA. Однако этот перепад давления также увеличивает вероятность того, что аэрозоли в палате для пациентов будут мигрировать за пределы ПЗС в соседнее пространство коридора движения, когда дверь открыта. Для сравнения, в комнатах с инфекционной изоляцией воздушного происхождения используется отрицательный перепад давления по отношению к коридорному пространству и смежным комнатам, при этом воздух из комнаты отводится непосредственно наружу, чтобы задержать аэрозольные патогенные микроорганизмы, распространяющиеся в циркулирующее и общее пространство.

Хотя заражение, кажется, находится под контролем и, хотя предполагается, что с первой декады апреля будет постоянное снижение числа зараженных людей, бесполезно обманывать себя: мы проведем следующее лето и, вероятно, также следующую зиму, по крайней мере, в полу-чрезвычайных условиях, потому что:

- a) Здравый смысл подсказывает: вирус не будет полностью искоренен в стране, и нам следует готовиться к повторам инфекции, как это происходит в Китае;
- b) люди будут бояться его и продолжат частично придерживаться правил безопасности;
- c) Перезапуск будет медленным, и будет логичным продолжать поддерживать определенную социальную дистанцию, посредством умной работы, где это возможно, и контроля входов в людных местах, таких как супермаркеты, аптеки, государственные учреждения и все другие места, которые рано или поздно снова откроются, а также ресторанов;
- d) осенью и зимой может произойти частичное повторное появление вируса из-за климата, подходящего для распространения гриппоподобных вирусных заболеваний, таких как COVID-19.

Те, кто будет вынужден работать в закрытых помещениях или даже просто время от времени их посещать, в любом случае будут испытывать ситуацию стресса, более сильную, чем в предыдущие годы, потому что им придется жить в страхе перед заразной болезнью.

В этой ситуации будет обязательным использование как систем кондиционирования ближайшим летом, так и систем отопления зимой по двум причинам:

- температурное благополучие гарантирует уменьшение стресса для людей, которые уже переживают непредвиденную и очень тревожную ситуацию;
- Системы кондиционирования воздуха, при хорошем управлении, помогают улучшить здоровье людей. Никогда раньше не было необходимости защищать слабых людей, особенно пожилых. Бессмысленно не отпускать их на улицу, а затем усугублять их положение из-за слишком высоких температур летом или слишком низких зимой в домах, особенно маленьких и тесных.

Системы кондиционирования воздуха могут помочь значительно снизить риск заражения, если увеличить расход свежего воздуха и минимизировать рециркуляцию, регулировать влажность и применять УФ-обеззараживание. В течение следующего лета и зимы, находясь в переходных условиях, будет бесполезно и вредно отключать любые виды систем кондиционирования и отопления: они должны будут работать на благо людей дома, на работе и в общественных местах.