

6. Портал: Проект международной технической помощи «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь» [Электронный ресурс]. –URL: <https://www.windpower.by/info/objekty-vetroenergetiki-belarusi/>– дата доступа: 20.03.2021

УДК 697.9

К вопросу работы систем вентиляции в больницах, в период распространением вирусной инфекции

Климович С.В.¹, Янецвич И.В.¹, Балабанова О.В.²,

¹ Белорусский национальный технический университет,

² УЗ «10-я городская больница»

Не вызывает сомнения что при наличии вирусной инфекции передаваемой воздушно-капельным путем, что вентиляция в зданиях является важнейшей составляющей в стратегии предупреждения её распространения. Особенно если это COVID-19. В связи с этим рядом международных, в том числе и европейских организаций были разработаны предложения по системам вентиляции и кондиционирования (СВК) зданий, которые обеспечивают снижение риска распространения инфекции, и предложено начать разработки новых критериев для оценки качества вентиляции зданий [1,2]. Однако это касались главным образом проектирования жилых и общественных зданий и лишь в малой степени – эксплуатации существующих зданий.

Тем более не касалось больничных зданий, предназначенных для лечения больных, в том числе и с COVID-19. Между тем даже при грамотно организованной системе вентиляции в больницах работающих с «обычными» больными и «красных зонах» с коронавирусомными больными, совершенно не исключен риск заражения вирусной инфекции. В том случае, если эти системы не будут должным образом эксплуатироваться технически грамотным и опытным персоналом.

Имеют место ряд нормативных документов, регламентирующих вопросы эксплуатации систем ВК, как Республики Беларусь так и Российской Федерации [3-9]. Однако в этих документах очень мало внимания уделяется эксплуатации систем вентиляции и кондиционирования больниц. Раздел, касающийся этой большой проблемы – эксплуатации систем организации воздухообмена в больницах и палатах

с нахождением инфицированных людей в не инфекционных специализированных больницах, оказался совершенно не рассмотрен.

По роду своей работы одному из соавторов приходится осуществлять профессиональную деятельность в ряде лечебных учреждений. И на собственном опыте убедиться, что незнание основных принципов работы вентиляции на практике приводит к принципиальным ошибкам, приводящим к повышению риска заражения COVID-19.

Пути передачи инфекции: через крупные капли (капли / частицы, испускаемые при чихании, кашле или разговоре) и через поверхностный контакт (рука-рука, рука-поверхность и т.д.), а также фекально-оральный путь.

Риск инфицирования людей может быть рассчитан для различных видов их деятельности и типов помещений с использованием стандартной модели Уэллса–Райли [10,11] для болезней, передающихся воздушно-капельным путем, скорректированной для вируса COVID-19 по интенсивности выделения вирусных частиц. В этой модели вирусная нагрузка выражается через скорость выделения частиц (E , частицы/ч). Частица, на которой переносится вирус, определяется как доза переносимых по воздуху капель, необходимая для того, чтобы инфицировать 63 % восприимчивых к вирусу людей. В модели Уэллса–Райли вероятность инфицирования (ρ) связана с количеством вдыхаемых частиц (n) в соответствии с уравнением:

$$\rho = 1 - e^{-n} \text{ где } n = C_{\text{avg}} Q_b D$$

где n – вдыхаемые частицы; C_{avg} – средняя по времени концентрация частиц (частиц/м³); Q_b – объем вдыхаемого воздуха (м³/ч); D – продолжительность пребывания людей в помещении (ч).

При расчете концентрации переносимых по воздуху инфекционных частиц может использоваться зависимость:

$$dC/dt = (E/V) - \lambda C$$

где E – интенсивность выделения частиц, (частицы/ч); V – объем помещения, (м³); λ – коэффициент снижения интенсивности выделения частиц (частицы/ч) из-за суммарного эффекта вентиляции (λ_v , 1/ч), осаждения на поверхности (λ_{dep} , 1/ч) и распада вируса (k , 1/ч); C – концентрация инфекционных частиц в воздухе, зависящая от времени ее пребывания (частицы/м³).

Скорость снижения концентрации инфекционных частиц при осаждении на поверхности 0,3 1/ч можно оценить на основании данных [12, 13].

Период полураспада переносимого по воздуху COVID оценивается в 1,1 ч, что соответствует скорости распада 0,63 1/ч. Среднее значение по этим двум исследованиям составляет 0,32 1/ч[14].

Предполагая, что в начале концентрация частиц равна 0, возможное решение и средняя концентрация будет определяться следующим образом:

$$C(t) = (E/\lambda V) - (1 - e^{-\lambda t}) C_{\text{avg}} = 1/D \int_0^D C(t) = (E/\lambda V) [1 - 1/\lambda D (1 - e^{-\lambda D})]$$

где t – время, ч. Примеры расчетов можно найти в статьях [15] и [16]. Интенсивность выделения в воздух частиц варьируется в широком диапазоне от 3 до 300 частиц/ч в зависимости от активности и вида деятельности человека. Значения количества частиц COVID, выделяемых в воздух, определены при некотором ряде допущений, несмотря на это можно рассчитать вероятность риска инфицирования людей. Оценить влияние работы систем вентиляции и характеристик помещения на процесс инфицирования для наиболее распространенных типов помещений и значений величины воздухообмена можно из рис. 1.

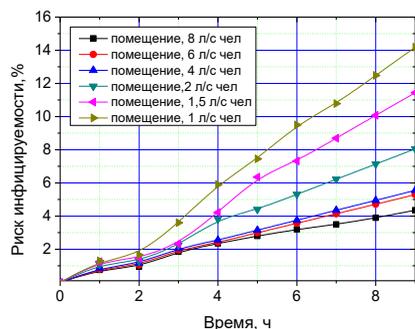


Рисунок 1. Оценка риска инфицирования человека в зависимости от величины воздухообмена

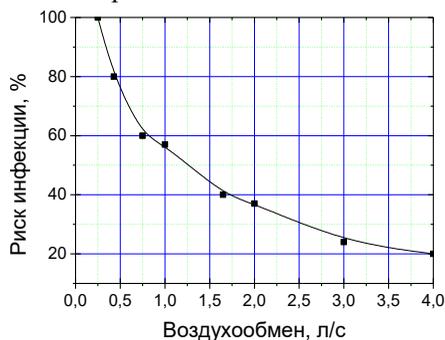


Рисунок 2. Относительный риск инфицирования в офисе с открытой планировкой площадью 50 м²

Оценка риска инфицирования позволяют получить более полное представление, как вирус, может быть удален с помощью вентиляции. Результаты расчетов показывают, вероятность инфицирования людей достаточно низкая для помещений открытой планировки (ниже 5 %), площадью от 20 до 60 м². Небольшие помещения, для 2–3 человек

дают большую вероятность инфицирования находящихся там людей. Поскольку в хорошо вентилируемых небольших помещениях воздухообмен на одного инфицированного человека намного меньше, чем в больших помещениях. Следовательно, в условиях эпидемии в помещениях маленьких по объему и площади может безопасно находиться только один человек. Разговоры, а также интенсивная физическая нагрузка способствуют интенсивной генерации вирусных частиц за счет увеличения частоты дыхания, следовательно закрытые спортивные сооружения (за исключением бассейнов и больших залов различного назначения) представляют собой объемы с более высокой вероятностью инфицирования людей.

Оценить степень инфицирования людей при величине воздухообмена в системах вентиляции составляет 2 л/сна человека ($0,2 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$) и при плотности размещения 1 человек на 10 м^2 можно по рис. 2. Такой случай считается вероятным для 100 % относительного риска инфицирования. Это величина воздухообмена, которая составляет половину минимального значения воздухообмена – 4 л/сна человека, может использоваться для описания условий интенсивного распространения вируса. Кривая на рис. 2 показывает, что воздухообмен величиной $2 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$ снижает относительный риск инфицирования до 38 %, а удвоение значения воздухообмена до 4 л/с на м^2 уменьшает этот показатель до 20 %.

Очевидно, что в условиях эпидемии системы вентиляции по потребности не должны применяться и должны работать с номинальной или максимальной мощностью. Количество наружного воздуха, поступающего в системы вентиляции, должно соответствовать минимальным значениям, приведенным в национальных санитарных требованиях. В соответствии с ISO 17772-1: 2017 и EN 16798-1: 2019 воздухообмен в помещениях офисов должен составлять 1,5–2 л/с на м^2 (10–15 л/с на человека) и примерно до 4 л/с на м^2 (8–10 л/с на человека) в конференц-залах и учебных классах.

Поэтому рекомендации направление на улучшение работы СВК, в частности RENVА можно использовать для временного руководства для предотвращения распространения COVID-19 в системах ОВК.

Приведенные ниже предложения служат дополнением к общему руководству для работодателей и владельцев зданий, которое представлено в документе ВОЗ «Подготовка рабочих мест к COVID-19», и предназначены в первую очередь для специалистов в области ОВК и руководителей предприятий, но могут быть полезны и специалистам по гигиене труда и здравоохранению. Это временные, простые в организации меры, которые могут быть реализованы в зданиях, которые в настоящее время продолжают эксплуатироваться, это следующие мероприятия:

1. увеличение воздухообмена в помещениях, вентиляция наружным воздухом принудительная так и с использованием естественной вентиляции (проветривание);

2. увеличение продолжительности работы принудительной вентиляции (включение за два часа до начала рабочего дня, и выключение через два часа после окончания), работа дежурной вентиляции в нерабочее время (ночью и в выходные дни);

3. особое внимание за системами рекуперации и исключение рециркуляции воздуха в центральных системах;

4. фанкойлы, должны быть выключены, либо должны работать непрерывно, не изменять установки для нагрева, охлаждения и возможного увлажнения воздуха;

5. не планировать очистку воздуховодов на этот период;

6. замена фильтры в соответствии с графиком технического обслуживания, регулярные работы по замене и обслуживанию фильтров должны выполняться квалифицированным персоналом, оснащенным необходимыми СИЗ;

7. непрерывная принудительная круглосуточная вентиляция (24\7) в санузлах, исключение естественного проветривания в санузлах, чтобы обеспечить правильное направление вентиляции;

8. смыв в туалетах производить с закрытой крышкой унитаза.

Из этих рекомендаций видно, что существует два основных способа снижения риска инфицирования человека при работе СВК, увеличение воздухообмена в помещении и сокращение времени пребывания в помещении. Поэтому можно рекомендовать придерживаться следующих стратегий при проектировании эксплуатации СВК для упреждения распространения инфекции:

- в помещениях общественных зданий рекомендовать вытесняющую вентиляцию, а в помещениях офисных зданий на рабочих местах и в помещениях библиотек – персональную вентиляцию;

- следует избегать источников загрязнений в помещениях, в которых нет необходимости;

- создавать разрежение – отрицательное давление в «грязных» помещениях;

- рекомендовать использовать «чистые» строительные материалы или как минимум материалы с низким уровнем загрязнения.

Литература

1. REHVA COVID-19 guidance. How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2)

- disease (COVID-19) in workplaces. – REHVA. – URL: www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID-19_guidance_document_V4_09122020.pdf.
2. COVID-19: Resources available to address concerns guide to the COVID-19. – ASHRAE. – URL: www.ashrae.org/technical-resources/resources.
 3. СНБ 4.02.01–Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: 2003. – Введ. 01.01.05. – Минск : М-во строительства и архитектурыРесп. Беларусь, 2004. – 81 с.
 4. СанПиН 2.1.3.2630-10 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность– Введ. 05.07.2017 № 73. – Минск : М-во здравоохраненияРесп. Беларусь, 2013. – 32 с
 5. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений – Введ. 30 апреля 2013 г. № 33 . – Минск : М-во здравоохраненияРесп. Беларусь, 2013. – 14 с
 6. СП 2.1.3678-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг».
 7. СП 60.13330 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003».
 8. СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования».
 9. ГОСТ Р 52539-2006. Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования.
 10. Nicas M., Nazaroff W., Hubbard A. Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. – 2005. – № 2. – P. 143–154. – URL: <https://doi.org/10.1080/15459620590918466>.
 11. Yang W., Marr L.C. Dynamics of airborne influenza. A viruses indoors and dependence on humidity // PLoS ONE. – 2011. – № 6. – e21481. – URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021481>.
 12. Thatcher T. L., Lai A. C. K., et. al. Effects of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors // Atmospheric Environment. – 2002. – № 36. – P. 1811–1819.
 13. Diapouli E., Chaloulakou A., Koutrakis P. Estimating the concentration of indoor particles of outdoor origin: A review // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2013. – № 63. – P. 1113–1129. –URL: <https://doi.org/10.1080/10962247.2013.791649>.

14. Doremalen N., Bushmaker T., et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1 // The New England Journal of Medicine. – 2020. – № 382. – P. 1564-1567. – DOI: 10.1056/NEJMc2004973.
15. Miller S. L., Nazaroff W. W.; et al. Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. Indoor Air. – 2020. – URL: <https://doi.org/10.1111/ina.12751>
<https://doi.org/10.1101/2020.06.15.20132027>
16. Buonanno G, Stabile L, Morawska L. Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment // Environment International. – 2020. – № 141. – 105794. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105794>

УДК 621.644

Технические особенности эксплуатации холодильных систем на гидрофторолефинах

Жук Н.П.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее часто используемые на сегодняшний день в качестве хладагентов гидрофторолефины (ГФО) R1234yf и R1234ze(E) нашли применение в системах кондиционирования, в частности R1234yf используется в кондиционерах многих автопроизводителей для новых моделей начиная уже с 2017 года и даже ранее. Особенности работы с этими олефинами далее и рассмотрим.

Хладагент R1234yf специально создавался как заменитель R134a, в первую очередь в автомобильной промышленности, у них и характеристики максимально идентичны. В автомобильных холодильных системах традиционно используют стандартные масла на основе полиалкилгликолей (PAG), это связано с широким применением алюминия и его сплавов в такой холодильной системе. Для автомобильных систем с хладагентом R1234yf требуется двуконечное PAG, масло премиум-класса, специально созданное для R1234yf.

Использовать PAG масло для хладагента R134a в системе с R1234yf недопустимо! Работать система будет, но с повышенным износом движущихся компонентов, в частности компрессора кондиционера и иглы ТРВ. Специализированные PAG масла для R1234yf имеют обратную совместимость, то есть они могут использоваться с R134a.