

Левин Евгений Владимирович (Москва). Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Главный научный сотрудник ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук». Эл. почта: aqwsrv@list.ru.

Окунев Александр Юрьевич (Москва). Кандидат физико-математических наук. Главный научный сотрудник ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук»; доцент ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству». Эл. почта: okunevay@gmail.com.

Цешковская Елена Юрьевна (Москва). Ведущий инженер ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук». Эл. почта: niisf103@mail.ru.

Levin Evgeniy V. (Moscow). Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. E-mail: aqwsrv@list.ru.

Okunev Alexander Yu. (Moscow). Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; State University of Land Use Planning. E-mail: okunevay@gmail.com.

Tseshkovskaya Elena Yu. (Moscow). Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. E-mail: niisf103@mail.ru.

Анализ экспериментальных данных по эмиссии вредных веществ из строительных материалов. ПВХ-линолеумы

ПВХ-линолеумы выделяют во внутрижилищный воздух различные вредные летучие вещества, среди которых наибольшей вероятностью превышения ПДК, по опубликованным данным, обладают фенол, бензол, ксилол, толуол, триметилбензол и циклогексанон. В статье на основе экспериментальных результатов, полученных в НИИСФ РААСН, показана эмиссия вредных веществ, выделяющихся из ряда используемых на практике линолеумов. Приведены обобщённые данные, охватывающие линолеумы различных типов и различных производителей. Эмиссия представлена в виде удобной для использования на практике величины минимального безопасного вентиляционного воздухообмена помещений наружным воздухом на единицу площади поверхности линолеума. При таком воздухообмене по всей группе загрязняющих веществ, при условии их отсутствия в наружном воздухе, содержание в помещении каждого выделяемого вещества не превысит предельно допустимую концентрацию.

Ключевые слова: линолеум, токсичные летучие выделения, предельно допустимая концентрация, вентиляционный воздухообмен, лабораторная сертификация продукции.

Analysis of Experimental Data on the Emission of Harmful Substances from Building Materials. PVC linoleums

PVC linoleums emit various harmful volatile substances into the indoor air, among which phenol, benzene, xylene, toluene, trimethylbenzene and cyclohexanone are most likely to exceed the MPC according to published data. In this work, on the basis of experimental results obtained at NIISF RAACS, the emission of harmful substances emitted from a number of linoleums used in practice is shown. Summarized data covering linoleums of various types and different manufacturers are given. Emission is presented in the form of a value, convenient for practical use, of the minimum safe ventilation air exchange of premises with outside air per unit of linoleum surface area. With such air exchange for the entire group of pollutants, provided they are absent in the outside air, the content of each emitted substance in the room will not exceed the maximum permissible concentration.

Keywords: linoleum, toxic fugitive emissions, maximum permissible concentration, ventilation air exchange, laboratory product certification.

Уровень химического загрязнения воздуха является одним из основных показателей, характеризующих безопасность и качество воздушной среды помещений жилых и общественных зданий. Химические загрязнения в настоящее время

имеют место практически всегда, и их основными источниками в той или иной степени являются наружный воздух, поступающий в процессе вентиляции помещений, материалы, составляющие основу помещений (конструкционные и отделочные материалы, материалы наполнения помещений в виде мебели и пр. элементов интерьера), а также выделения за счёт метаболизма биологических объектов, находящихся в помещении (люди, животные и растения) [1]. В результате проведённых исследований [2] установлено, что используемые строительные материалы являются источником 80% химических веществ, обнаруженных в воздушной среде квартир. При этом подавляющее большинство загрязнителей воздуха представляют собой летучие органические соединения, источником которых являются различные полимеры. Ассортимент строительных и отделочных материалов на основе полимеров очень велик, а процедура их внедрения настолько упрощена, что уровень влияния на экологическую безопасность помещений остается неизвестным.

В настоящей статье рассматривается один из классов отделочных материалов, которому не уделено достаточное внимание с точки зрения оценки влияния на экологическую безопасность внутреннего воздуха помещений [3; 4] – ПВХ-линолеумы.

Исследование выполнено на основе анализа экспериментальных данных по измерению выделений вредных веществ, полученных на протяжении нескольких лет аккредитованной испытательной лабораторией «ЭКОСАНХИМ» НИИСФ РААСН. Целью исследования является установление номенклатуры основных загрязняющих воздух химических компонентов, выделяемых линолеумами, и определение величины критерия безопасности использования линолеумов, выраженного в виде минимального вентиляционного обмена воздухом помещения с чистым наружным воздухом на единицу площади линолеума, необходимого для того, чтобы содержание выделяемых химических компонентов в воздухе не превышало их предельно допустимые концентрации (ПДК).

Типы линолеумов и их потребительские свойства

ПВХ-линолеумы довольно широко применяются ввиду простоты монтажа, относительно низкой цены среди напольных покрытий, влагостойчивости и широкого выбора дизайнерских решений. Однако данный вид покрытия имеет ряд недостатков: относительно низкая термическая и механическая устойчивость, слабая устойчивость к щелочам и растворителям. Одним из наиболее существенных недостатков ПВХ-линолеумов является выделение ими в воздух вредных веществ.

Первоначально линолеум производили из натуральных материалов: сосновых смол, льняного масла, пробковой или древесной муки, джутовой ткани и цветных пигментов. Такой линолеум считается экологически безопасным. Появление более дешёвого поливинилхлоридного (ПВХ) линолеума произошло в 50-е годы XX столетия. В настоящее время доля

синтетического линолеума на рынке составляет около 80% благодаря свойствам, которые нередко превосходят характеристики натурального, – улучшенной тепло- звукоизоляции, прочности, эластичности, водонепроницаемости и др. [2; 5].

Нормативные требования к выпускаемым в России ПВХ-линолеумам приведены в ГОСТ 18108-2016¹ и в ГОСТ 7251-2016². В ГОСТ 18108 отмечено: «ПВХ линолеум изготавливают вальцово-каландровым, экструзионным, промазным и контактно-промазным способами из смеси поливинилхлорида, наполнителей, пластификаторов, пигментов и различных технологических добавок с последующим дублированием поливинилхлоридной пленкой и подосновой». Согласно ГОСТ 7251 поливинилхлоридный линолеум на тканой и нетканой подоснове изготавливается промазным или контактно-промазным способом из поливинилхлорида, пластификаторов, наполнителей, пигментов и различных добавок. Линолеум предназначается для устройства полов в помещениях жилых, общественных и производственных зданий при отсутствии интенсивного движения и воздействия абразивных материалов, жиров, масел и воды.

Различают гомогенный и гетерогенный ПВХ-линолеумы: гомогенный линолеум – однослойный тип покрытия, который имеет толщину от 1,3 до 3 мм и не имеет основы. Гомогенный линолеум изготавливают по ТУ, разработанным предприятиями-изготовителями, и по ГОСТ 7251. Гомогенный ПВХ-линолеум используется в местах с повышенной посещаемостью людьми: в торговых центрах, офисах, промышленных или складских помещениях;

гетерогенный линолеум имеет несколько слоёв и предназначен для бытового и полупромышленного использования. Гетерогенный линолеум может выпускаться с подосновой или без неё. Основа у линолеума может быть тканевой, полиэфирной или вспененной для повышения звукоизоляции.

По назначению линолеумы разделяются на линолеумы общего применения и специализированные. К линолеумам общего применения относятся бытовой линолеум (может иметь полиэстеровую или вспененную основу), полупромышленный (с утолщённым защитным слоем) и коммерческий (с высокой степенью износоустойчивости). Специализированные линолеумы – спортивный, бактерицидный, противоскользящий, шумопоглощающий, антистатический и др. – разрабатываются для определённых условий применения.

Известно, что ПВХ-линолеумы выделяют широкий спектр различных летучих веществ [2; 6–10]. Величина эмиссии вредных веществ из линолеума зависит от условий эксплуатации материала. Увеличение температуры в помещении приводит к повышению выделений из материала, что увеличивает загрязнённость воздуха. В частности, из-за этого ПВХ-линолеум не рекомендуется укладывать на «тёплый пол» и подвергать воз-

¹ ГОСТ 18108-2016. Линолеум поливинилхлоридный на теплозвукоизолирующей подоснове. – М. : Стандартинформ, 2016.

² ГОСТ 7251-2016. Линолеум поливинилхлоридный на тканой и нетканой подоснове. – М. : Стандартинформ, 2016.

действию солнечных лучей. Под воздействием УФ-излучения происходит разрушение покрытия и полимерной структуры линолеума с выделением в воздух продуктов распада. Исследованиями [11] установлено, что при воздействии деструктивных природных и техногенных факторов (озон, УФ-излучение, температура, влажность и др.) в воздухе из одного вещества, например бензола, толуола, фенола и др., возможно образование до двадцати дополнительных веществ.

Наиболее значимые по вредному воздействию вещества, выделяемые ПВХ-линолеумами, представлены в таблице 1. В ней приведены соответствующие СанПиН 1.2.3685-21³ значения предельно допустимой среднесуточной концентрации

ПДК_{с.с.}, а там, где она в нормативе отсутствует, – значения максимально разовой концентрации ПДК м.р. Приведён также класс опасности данного вещества и характеристика вредного воздействия.

Как видно из таблицы, все эти вещества имеют повышенный и средний классы опасности – 2-й и 3-й (наиболее безопасным является класс 4-ый). Негативное влияние на здоровье людей при воздействии вышеперечисленных веществ отмечено в работах [13–18]. Данные по фактической эмиссии указанных веществ и, соответственно, по оценке вероятности превышения ПДК в опубликованной научной и справочной литературе практически отсутствуют. Для того

³ Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"» (вместе с «СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы...») (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62296).

Таблица 1. Вредные вещества и токсическое действие на организм человека [6, с. 161; 12]

№	Вещество	Вредное воздействие на человека
1	Фенол (гидроксибензол) ПДК _{с.с.} = 0,006 мг/м ³ Класс опасности – 2	Фенол обладает канцерогенным действием. Хроническое отравление фенолом вызывает поражения центральной нервной системы, поражение почек, печени, органов дыхания и сердечно-сосудистой системы. Вызывает нарушения внутриутробного развития плода
2	Бензол ПДК _{с.с.} = 0,06 мг/м ³ Класс опасности – 2	Бензол высокотоксичен, обладает наркотическим и канцерогенным действием, вызывает поражения нервной и кроветворной систем. Бензол вызывает нарушения внутриутробного развития плода. При легкой форме отравления бензолом могут наблюдаться: головная боль, головокружение, звон в ушах, спутанность сознания, рвота. Хроническое отравление бензолом вызывает головную боль, головокружение, слабость, быструю утомляемость, раздражительность, носовые кровотечения
3	Ксилол; диметилбензол ПДК _{м.р.} = 0,2 мг/м ³ Класс опасности – 3	Ксилол относится к наркотически-судорожным ядам, а при длительном воздействии небольших доз вызывает головную боль, усталость, сонливость, слабость, головокружения, тошноту, конъюнктивиты, носовые кровотечения
4	Толуол (метилбензол) ПДК _{м.р.} = 0,6 мг/м ³ Класс опасности – 2	Обладает наркотическим и канцерогенным действием. Толуол действует на нервную систему, влияет на кроветворение. Клиническая картина хронического отравления характеризуется головной болью, головокружением, общей слабостью, быстрой утомляемостью, повышенной нервной возбудимостью, тошнотой
5	1-, 2-, 4-триметилбензол (псевдокумол) ПДК _{с.с.} = 0,015 мг/м ³ Класс опасности – 2	Слабые наркотики. Смесь изомеров триметилбензола вызывает утомляемость, головную боль, головокружение, астмоидные бронхиты. При длительном контакте – раздражает кожу, вызывают сухость, трещины, шелушение
6	1-, 3-, 5-триметилбензол (мезитилен) ПДК _{с.с.} = 0,1 мг/м ³ Класс опасности – 3	
7	Циклогексанон ПДК _{м.р.} = 0,04 мг/м ³ Класс опасности – 3	Вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей
8	Тетрахлорметан ПДК _{с.с.} = 0,04 мг/м ³ Класс опасности – 2	Вызывает тяжелые повреждения печени, в меньшей степени почек, альвеолярных мембран и сосудов легких

чтобы восполнить этот пробел, в НИИСФ РААСН выполнен цикл соответствующих исследований с использованием набора различных образцов ПВХ-линолеумов.

Результаты испытаний ПВХ-линолеумов на эмиссию вредных веществ

В НИИСФ РААСН испытательной лабораторией «ЭКО-САНХИМ» проведены санитарно-химические исследования ПВХ-линолеумов газохроматографическим методом. Испытываемые образцы отдували особо чистым азотом в стеклянной испытательной камере, помещённой в термостат. Азот с выделившимися из образца примесями подвергали хроматографическому анализу с использованием пламенно-ионизационным детектора.

Результатами измерений являются концентрации газовых веществ в испытательных камерах c_i (мг/м³). Здесь i – номер измеряемого компонента. Измеренные концентрации могут быть сравнены с величинами ПДК, но данное сравнение относится только к искусственным условиям, созданным в испытательной камере, и не характеризует степень загрязнения вредными веществами помещения здания, которое может иметь место при использовании данного отделочного материала в реальных условиях.

Для того чтобы по величинам измеренных концентраций c_i получить универсальные характеристики по вредности выделений, которые могут быть использованы на практике, была рассчитана эмиссия каждого выделяемого из линолеума вещества:

$$q_i = V_0 c_i, \text{ мг/м}^2/\text{ч}, \quad (1)$$

где V_0 , м³/м²/ч – поток азота, подаваемый на 1 м² линолеума, находящегося в испытательной камере. Сами величины эмиссии не свидетельствуют о вредном воздействии, оказываемом на человека, но вот если их отнести к предельно допустимым концентрациям, которые измеряются в мг/м³, то в результате получается удельный поток чистого воздуха (не содержащего данное вредное вещество) на единицу площади напольного покрытия, при котором, если его подавать в помещение, концентрация данного вредного вещества сравняется с предельно допустимым значением. Фактически поток этого воздуха соответствует тому минимальному вентиляционному воздухообмену помещения на квадратный метр напольного покрытия, при котором концентрация данного вредного вещества ещё будет удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям. В реальных условиях требуемый минимальный воздухообмен может оказаться выше полученного значения за счёт того, что часть вредных веществ может присутствовать в вентиляционном наружном воздухе.

Полученный таким образом удельный минимальный поток чистого воздуха является сравнительной характеристикой вредности выделений по каждому газовому компоненту, и, в отличие от эмиссии газовых компонентов (1), является более

универсальной величиной. Например, если для какого-либо выделяемого компонента его эмиссия велика, то это не означает, что степень его вредности окажется высокой, поскольку требуемый удельный минимальный поток вентиляционного воздуха для данного компонента может оказаться гораздо ниже, чем для компонента с малой эмиссией, но зато с гораздо меньшей ПДК. Назовем этот универсальный параметр вентиляционным фактором для вредного выделения. Его расчёт по измеренным концентрациям проводится по следующей формуле

$$G_i = V_0 c_i / \text{ПДК}_i, \text{ м}^3/\text{ч}/\text{м}^2. \quad (2)$$

Если реальный удельный вентиляционный воздухообмен в помещении окажется ниже величины G_i , то ПДК данного загрязнителя будет превышена и наоборот. Величина G_i фактически является характеристикой загрязнённости воздуха при использовании вентиляции помещения чистым воздухом, и по ним можно сравнивать воздействие различных вредных веществ с различными ПДК. По максимальной величине G_i , полученной по всему спектру выделяемых вредных веществ для данного полимерного отделочного материала, устанавливается требуемый минимальный вентиляционный воздухообмен помещения при заданной насыщенности этим материалом помещения (м²/м³). Для примера, если установлено, что при насыщенности 0,3 м²/м³ (полностью покрывающее пол напольное покрытие из линолеума для типичного помещения) для данного материала максимальное значение G_i по всем выделяемым газовым компонентам равно 1,0 м³/ч/м² и удельный вентиляционный воздухообмен ниже этой величины, то в помещении будет иметь место превышение ПДК минимум по одному из выделяемых газовых компонентов. Превышение ПДК по этому же веществу будет иметь место и в случае более низкой насыщенности полимерным материалом 0,1 м²/м³ и при удельном воздухообмене ниже 0,33 м³/ч/м².

В рамках настоящей статьи приведены результаты по вентиляционным факторам G_i вредных выделений, полученные для 12-ти образцов линолеумов, имеющих различную эмиссию вредных веществ:

- для девяти образцов линолеумов общего применения:
образец № 1. «Алтай-эконом», тип К-1,8-0,2. РФ;
образец № 2. CS-1204, КНР;
образец № 3. LG Titan PRO, Корея;
образец № 4. Гетерогенное ПВХ-покрытие, Франция;
образец № 5. Покрытие ПВХ гомогенное, Германия;
образец № 6. «Monolit». Покрытие ПВХ гомогенное, РФ;
образец № 7. «WELCOME». Покрытие с ПВХ-чипсами, РФ;
образец № 8. «TAPKETT», тип «Марафон». Покрытие ПВХ вспененное, РФ;
образец № 9. «ACCZENT», тип «Mineral». Гетерогенное ПВХ-покрытие, РФ.
- и для трёх специализированных видов линолеума:
образец № 10. «Синтерос» тип «Весна» для детских и лечебно-профилактических учреждений, РФ;

образец №11. Teraflex sport. Спортивное напольное покрытие, Франция;

образец №12. Линолеум ПВХ трудногорючий, РФ.

Результаты измерений в виде вентиляционных факторов для выделяемых веществ представлены в таблице 2. Если в ходе испытания какое-то из веществ не обнаружено, в таблице в соответствующем поле стоит знак «-», по остальным веществам значения вентиляционных факторов ($\text{м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$) приведены с точностью до сотых долей.

Как видно из таблицы 2, по максимальной величине вентиляционного фактора G_i большинство испытанных образцов линолеума отличаются не сильно и вентиляционный фактор в среднем составляет 0,5–0,6 $\text{м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$. Только для двух испытанных образцов (образцы № 4 и № 10) максимальный вентиляционный фактор в несколько раз ниже и находятся на уровне ниже 0,1 $\text{м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$. При этом образец № 10 предназначен для использования в детских и лечебных учреждениях, и к нему при производстве предъявлены повышенные требования по экологичности. Для образца № 1 вентиляционный фактор по тетрахлорметану имеет повышенное значение на уровне 0,9 $\text{м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$.

Для некоторых марок линолеума выделения одного и того же вещества могут оказаться значительными, а для других марок – практически отсутствовать. Например, в использованных для испытаний образцах получено, что максимальное загрязнение воздуха даёт тетрахлорметан, эмитируемый из образца № 1. Как следует из таблицы 2, это вещество оказывается основным загрязнителем и для образцов № 2 и № 12, тогда как в большинстве других образцов тетрахлорметан практически отсутствует.

Некоторые из обнаруженных вредных веществ, например, фенол и циклогексан, присутствуют в значительных количествах во многих испытанных образцах, причём их содержание соответствует максимальному вентиляционному фактору для данного образца. Ряд других обнаруженных веществ, например, таких как хлорсодержащие углеводороды, этилбензол и метилфенол (имеет повышенный класс опасности – 2-ой), напротив, в большинстве образцов обнаружены в виде сравнительно малых добавок, но значительно присутствуют в отдельных образцах. Это не исключает того, что данные вещества в значительных количествах могут встретиться и в других марках линолеумов.

Таблица 2. Вентиляционный фактор G_i по вредным веществам, выделяемым испытанными образцами ПВХ-линолеума

	Наименование вредного вещества	ПДК _{с.с./} ПДК _{м.р.} , мг/м ³	Класс опасности	Величины G_i ($\text{м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$) для различных образцов ПВХ-линолеума											
				№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10	№11	№12
1	1-, 2-, 4-триметилбензол	0,015	2	0,07	0,26	-	-	0,21	0,25	0,27	-	-	-	-	-
2	1-, 3-, 5-триметилбензол	0,1	3	0,08	0,09	0,38	-	0,20	0,41	0,50	0,08	-	-	0,57	0,06
3	Бензол	0,06	2	0,33	-	0,26	0,09	0,10	0,35	0,13	0,23	0,54	0,07	0,08	0,56
4	Диметилбензол (ксилол)	0,2	3	0,04	0,07	0,19	0,03	0,14	0,50	0,06	0,07	0,10	0,00	0,31	0,07
5	Дихлорметан	0,6	4	0,10	0,05	0,01	0,02	0,00	0,07	0,01	0,05	0,01	0,02	0,04	0,03
6	Тетрахлорметан	0,04	2	0,89	0,60	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	0,58
7	Толуол	0,6	2	0,04	-	0,03	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,03	0,00	0,04	0,02
8	Трихлорметан	0,03	2	0,06	-	0,08	0,04	-	-	0,04	0,04	0,02	0,03	-	0,02
9	Трихлорэтилен	1,0	3	0,00	-	0,01	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-
10	Фенол	0,006	2	0,13	-	-	0,05	-	0,37	0,55	0,48	0,27	-	-	-
11	Циклогексанон	0,04	3	0,25	0,56	0,55	-	-	0,19	0,38	0,05	0,58	-	-	-
12	Этилбензол	0,02	3	-	-	-	-	-	-	0,32	-	-	-	-	-
13	2-этилгесанол	0,15	4	-	0,03	0,13	-	0,03	-	-	-	0,03	-	-	-
14	Метилфенол	0,005	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26
Максимальное G_i				0,89	0,60	0,55	0,09	0,21	0,50	0,55	0,48	0,58	0,07	0,57	0,58

Данные, приведённые в таблице 2, показывают, что для испытанных образцов основными загрязнителями воздуха являются те же вещества, что показаны в работах [2; 6–10] (см. табл. 1): фенол, бензол, ксилол, триметилбензол и циклогексанон. В этот перечень не входит приведённый в таблице 1 толуол, хотя он и присутствует во всех испытанных образцах в качестве загрязнителя. Его выделения по отношению к ПДКм.р. малы, и он эффективно удаляется из помещения сравнительно малым вентиляционным воздухообменом. Данные по ПДКс.с. для толуола СанПиН 1.2.3685-21 не содержит.

Приведённые выше результаты по величинам вентиляционных факторов получены для относительно новых образцов. Далее в процессе эксплуатации напольных покрытий эмиссия уменьшается с одновременным уменьшением величин вентиляционных факторов. Поэтому рассмотрим приведённые в таблице 2 основные загрязнители воздуха с точки зрения возможной продолжительности их выделений из линолеумов.

Фенол. Наличие выделений фенола связано с химическим составом сырьевых компонентов. В процессе изготовления ПВХ-линолеума в полимерную композицию многие производители стали вводить стабилизирующие добавки, пластификаторы для снижения температуры переработки, уменьшения термодеструкции и улучшения эксплуатационных свойств материалов. В процессе переработки полимерной композиции пластификаторы могут подвергаться термодесорбции и таким образом являться источником свободного фенола, который в условиях эксплуатации может выделяться в атмосферный воздух. Также в состав ПВХ-линолеума добавляют свето- и термостабилизаторы, представляющие собой сложные химические соединения, способные образовывать соединения фенольного типа. В зависимости от химического состава сырья и использования вышеперечисленных компонентов фенол активно выделяется почти из половины испытанных образцов и величина G_i может достигать значения $0,55 \text{ м}^3/\text{ч}/\text{м}^2$, близкого к среднему для всех выделяемых веществ. Для второй половины испытанных образцов выделения фенола оказались малыми и даже близкими к нулю. Поскольку фенол является высококипящим веществом (температура кипения $188,7^\circ\text{C}$), выделение фенола при обычных условиях выветривания ПВХ-линолеума может сохраняться до двух лет и более [2].

Бензол. Выделяется из большинства видов полимерсодержащей строительной продукции [2; 6–10]. Как видно из таблицы 2, бензол выделяется и из большинства протестированных образцов линолеумов. Величина G_i доходит до 0,6. Поскольку бензол является низкокипящим веществом (температура кипения $80,1^\circ\text{C}$), он выветривается из готовой продукции быстрее, чем многие другие вещества.

Тетрахлорметан. Величина G_i достигает 0,89. При этом максимальное значение вентиляционного фактора по данному веществу получено на трёх образцах из 12-ти (№№ 1, 2, 12). Является низкокипящим веществом (температура кипения $78,9^\circ\text{C}$) и выделяется относительно быстро.

Ксилол (диметилбензол). Так же как и бензол, выделяется из большинства видов полимерных материалов [2; 7; 9; 10]. Диапазон изменения величины G_i составляет от 0 до 0,5. Ксилол представляет собой смесь изомеров с относительно высокой температурой кипения $138,35^\circ\text{C}$, $139,7^\circ\text{C}$ и $144,4^\circ\text{C}$. Поэтому его выветривание может протекать в течение длительного времени (до нескольких лет).

Циклогексанон. Его выделение связано с использованием в качестве дублирующего верхнего слоя при изготовлении материала ПВХ-плёнки с рисунком. Миграция циклогексанаона характерна для бытового и полупромышленного видов линолеума (образцы №№ 2, 3, 9). Величины G_i составляет от 0 до 0,58. Температура кипения циклогексанаона составляет $155,6^\circ\text{C}$, и он также долго выветривается.

1-, 3-, 5-триметилбензол (температура кипения $164,7^\circ\text{C}$). Диапазон изменения величины G_i составляет от 0 до 0,57. **1-, 2-, 4-триметилбензол** (температура кипения $196,0^\circ\text{C}$). Диапазон изменения величины G_i – от 0 до 0,27. Триметилбензол является веществом высококипящим и выветривается дольше, чем бензол. Причём, как показали исследования, выделения ароматических углеводородов могут продолжаться в течение длительного времени, в отдельных случаях до трёх лет [2].

Введённый в настоящей статье вентиляционный фактор G_i может быть использован не только для оценки качества строительных материалов по выделению ими вредных веществ. Его можно использовать также при проектировании систем вентиляции жилых и общественных зданий с учётом их наполнения выделяющими газообразные загрязнения материалами. Согласно СП 60.13330, необходимый минимальный воздухообмен в помещении рассчитывается как максимальный по двум критериям: на основе удельных норм воздухообмена (СП 60.13330, Приложение В) и на основе расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ (СП 60.13330, Приложение Г).

Данные, приведённые в настоящей статье, могут быть использованы как ориентировочные значения выделений вредных веществ из ПВХ-линолеумов. Например, обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что при использовании напольных покрытий из большинства типов ПВХ-линолеумов для нейтрализации воздействий вредных выделений с большой вероятностью в помещениях требуется непрерывающийся воздухообмен на уровне $0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и более на один квадратный метр покрытия. Добавляя сюда выделения другими строительными материалами в помещении и учитывая иные выделения, а также загрязнённость приточного воздуха [1; 20], можно определить требуемый воздухообмен помещения согласно СП 60.13330 или оценить химическую нагрузку на организм человека как по каждому вредному веществу, так и суммарную нагрузку по всему спектру веществ.

Широкий спектр вредных веществ, эмитируемых ПВХ-линолеумами в окружающий воздух, и сравнительно длительное время эмиссии свидетельствуют о том, что напольные

покрытия в виде линолеумов должны проходить стадию сертификации, при которой может быть установлен требуемый воздухообмен, который должен быть сопоставлен с нормативным воздухообменом в помещениях, согласно СП 60.13330. О необходимости такой сертификации свидетельствует тот факт, что при использовании ПВХ-линолеумов отдельные виды токсичных веществ могут в течение продолжительного времени выделяться в значительных количествах и для их удаления до безопасного уровня требуется значительный непрерывающийся поток чистого вентиляционного воздуха, не меньшей величины вентиляционного фактора G_1 . Во избежание накопления вредных веществ вентиляционный воздухообмен не должен прекращаться даже в тех случаях, когда в помещениях временно отсутствуют люди. При отсутствии людей минимальный воздухообмен должен обеспечивать концентрации примесей в пределах ПДКм.р., но при появлении людей необходимо обеспечить концентрации ПДКс.с.

Заключение

Широкое использование полимерсодержащих строительных и отделочных материалов в помещениях с пребыванием людей делает необходимым проведение более тщательного изучения выделений токсических веществ, поступающих в воздух. Проведённые исследования на примере 12-ти различных видов ПВХ-линолеумов показали, что среди токсичных выделений наиболее значимыми являются, такие вещества, как фенол, бензол, триметилбензол, ксилол, циклогексанон и тетрахлорметан, обладающие классом опасности от 2-го до 3-го. Установлено, что для нейтрализации этих веществ до санитарно безопасного уровня в помещениях требуется непрерывающаяся в процессе эксплуатации зданий вентиляция чистым воздухом величиной от 0,5 м³/ч и более на один квадратный метр напольного покрытия в виде ПВХ-линолеума. Величины этого воздухообмена должны учитываться при проектировании вентиляционных систем зданий и сооружений. Полученные результаты также показывают, что уровень выделений вредных веществ в большой степени зависит от марки используемого ПВХ-линолеума. В этих условиях целесообразным является развитие нормативной базы в части экологичности строительных и отделочных материалов, в том числе ПВХ-линолеумов, разработка методов испытаний и, вероятно, присвоения классов экологической безопасности материалам, а также введение обязательной сертификации.

Библиографический список

1. Левин, Е.В. Качество воздуха в жилых и общественных зданиях. Роль вентиляционного воздухообмена / Е.В. Левин, А.Ю. Окунев // Жилищное строительство. – 2020. – № 7. – С. 41–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-41-51>.
2. Губернский, Ю.Д. Чтобы стройматериалы были безопасными [Электронный ресурс] / Ю.Д. Губернский, Н.В. Калинина // Санэпидконтроль. Охрана труда. – 2012. – № 6.

http://www.profiz.ru/sec/6_2012/stroitelnye_materialy/ (дата обращения: 01.12.2021).

3. Май, И.В. Методические подходы к оптимизации лабораторного контроля безопасности продукции в рамках риск-ориентированной модели надзора / И.В. Май, Н.В. Никифорова // Гигиена и санитария. – 2019. – № 2. – С. 205–214. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-205-213>

4. Зайцева, Н.В. Правовые аспекты оценки риска для здоровья населения при обеспечении безопасности товаров: мировой зарубежный опыт и практика Таможенного союза / Н.В. Зайцева, И.В. Май // Анализ риска здоровью. – 2013. – № 3. – С. 4–17.

5. Хозин, В.Г. Полимеры в строительстве: границы реального применения, пути совершенствования / В.Г. Хозин // Строительные материалы. – 2005. – № 11. – С. 8–10. eLIBRARY ID: 9474633.

6. Зарипова, Л.Р. Внутрижилищная среда и здоровье населения / Л.Р. Зарипова, А.В. Иванов, Е.А. Тафеева // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5. eLIBRARY ID: 32664046.

7. Левин, Е.В. Экология помещений. Влияние строительных и отделочных материалов / Е.В. Левин, А.Ю. Окунев, Е.Ю. Цешковская // Строительные материалы. – 2021. – № 6. – С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/085-430X-2021-792-6-41-46>.

8. Сладкова, Ю.Н. К вопросу о гигиеническом нормировании микроклимата и качестве воздуха офисных помещений / Ю.Н. Сладкова, В.В. Смирнов, Е.В. Зарицкая // Медицина труда и промышленная экология. – 2018. – № 5. – С. 35–39. DOI: doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-35-39.

9. Оценка риска воздействия на здоровье населения химических веществ, загрязняющих воздух жилой среды / Ю.Д. Губернский, С.М. Новиков, Н.В. Калинина, А.В. Мацюк // Гигиена и санитария. – 2002. – № 6. – С. 27–30.

10. К вопросу о гигиенических требованиях к качеству воздуха закрытых помещений на объектах жилищного строительства на стадии ввода в эксплуатацию / В.Е. Крийт, Ю.Н. Сладкова, Е.А. Бадаева [и др.] // Гигиена и санитария. – 2019. – № 6. – С. 608–612. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-608-612>.

11. Химико-аналитические аспекты исследования комплексного действия факторов окружающей среды на здоровье населения / А.Г. Малышева, Ю.А. Рахманин, Е.Г. Рас-тянников, Н.Ю. Козлова // Гигиена и санитария. – 2015. – № 7. – С. 6–10. eLIBRARY ID: 25060913.

12. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей: В 3-х томах. Том 1. Органические вещества / Под редакцией Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Л. : Химия, Ленингр. отделение, 1976. – 590 с.

13. Погоньшева, И.А. Актуальные проблемы взаимосвязи окружающей среды и здоровья человека в странах Европейского союза. Обзор литературы / И.А. Погоньшева, Д.А. Погоньшев // Гигиена и санитария. – 2019. – № 5. – С. 473–477. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-473-477>.

14. Эколого-гигиенические аспекты сенсibilизированности населения в жилой среде / Ю.Д. Губернский, В.Н. Федосеева, А.К. Маковецкая [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – № 5. – С. 414–417. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-414-417>.

15. Об обосновании предложений по изменениям и дополнениям санитарно-эпидемиологических требований к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях / С.А. Горбанёв, Н.А. Мозжухина, Г.Б. Ерёмин [и др.] // Гигиена и санитария. – 2019. – № 7. – С. 707–712. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-707-712>.

16. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования / Ю.А. Рахманин, С.М. Новиков, С.Л. Авалиани [и др.] // Анализ риска здоровью. – 2015. – № 2. – С. 4–9. eLIBRARY ID: 23718897.

17. Новиков, С.М. Актуальные вопросы методологии и развития доказательной оценки риска здоровью населения при воздействии химических веществ / С.М. Новиков, М.В. Фокин, Т.Н. Унгурияну // Гигиена и санитария. – 2016. – № 8. – С. 17–22. eLIBRARY ID: 26636958.

18. Рахманин, Ю.А. Актуализация методологических проблем регламентирования химического загрязнения окружающей среды / Ю.А. Рахманин // Гигиена и санитария. – 2016. – № 8. – С. 701–705. eLIBRARY ID: 26636955.

19. Оценка потенциального риска здоровью населения от воздействия вредных веществ, содержащихся в воздухе закрытых помещений / Н.О. Барнова, А.В. Мельцер, А.В. Киселёв, И.Ш. Якубова // Профилактическая и клиническая медицина. – 2020. – № 1. – С. 34–41. eLIBRARY ID: 42631742.

20. Левин, Е.В. О нормировании качества воздуха в помещениях жилых и общественных зданий / Е.В. Левин, А.Ю. Окунев // БСТ. Бюллетень строительной техники. – 2020. – № 6. – С. 60–63. eLIBRARY ID: 42898309.

References

1. Levin E.V., Okunev A.Yu. Kachestvo vozdukh v zhilykh i obshchestvennykh zdaniyakh. Rol' ventilyatsionnogo vozdukhooobmena [Air quality in residential and public buildings. The role of ventilation air exchange]. In: *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction]*, 2020, no. 7, pp. 41–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-41-51>. (In Russ., abstr. in Engl.)

2. Gubernskii Yu.D., Kalinina N.V. Chtoby stroimaterialy byli bezopasnymi [To make building materials safe]. In: *Sanepidkontrol'. Okhrana truda [Sanepidkontrol. Occupational Safety and Health]*, 2012, no. 6. Access mode: http://www.profiz.ru/sec/6_2012/stroitelnye_materialy/ (Accessed 01.12.2021). (In Russ.)

3. Mai I.V., Nikiforova N.V. Metodicheskie podkhody k optimizatsii laboratornogo kontrolya bezopasnosti produktsii v ramkakh risk-orientirovannoi modeli nadzora [Methodical approaches to optimizing laboratory control of product safety within the framework of a risk-based model of supervision]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2019, no. 2, pp.

205–214. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-2-205-213>. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. Zaitseva N.V., Mai I.V. Pravovye aspekty otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri obespechenii bezopasnosti tovarov: mirovoi zarubezhnyi opyt i praktika tamozhennogo soyuza [Legal Aspects of Health Risk Assessment in Ensuring Goods Safety: World Foreign Experience and Practice of the Customs Union]. In: *Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]*, 2013, no. 3, pp. 4–17. (In Russ.)

5. Khozin V.G. Polimery v stroitel'stve: granitsy real'nogo primeneniya, puti sovershenstvovaniya [Polymers in construction: limits of real application, ways of improvement]. In: *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, 2005, no. 11, pp. 8–10. eLIBRARY ID: 9474633. (In Russ.)

6. Zaripova L.R., Ivanov A.V., Tafееva E.A. Vnutrizhilishchnaya sreda i zdorov'e naseleniya [Intra-housing environment and public health]. In: *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, 2015, no. 5. eLIBRARY ID: 32664046. (In Russ.)

7. Levin E.V., Okunev A.Yu., Tseshkovskaya E.Yu. Ekologiya pomeshchenii. Vliyanie stroitel'nykh i otdelochnykh materialov [Ecology of premises. Influence of building and finishing materials]. In: *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, 2021, no. 6, pp. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/085-430X-2021-792-6-41-46>. (In Russ., abstr. in Engl.)

8. Sladkova Yu.N., Smirnov V.V., Zaritskaya E.V. K voprosu o gigienicheskom normirovanii mikroklimate i kachestve vozdukh ofisnykh pomeshchenii [On the issue of hygienic regulation of the microclimate and air quality in office premises]. In: *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Occupational Medicine and Industrial Ecology]*, 2018, no. 5, pp. 35–39. DOI: doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-35-39. (In Russ., abstr. in Engl.)

9. Gubernskii Yu. D., Novikov S. M., Kalinina N. V., Matsyuk A.V. Otsenka riska vozdeistviya na zdorov'e naseleniya khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh vozdukh zhiloi sredy [Assessment of the risk of impact on the health of the population of chemicals polluting the air of the residential environment]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2002, no. 6, pp. 27–30. (In Russ.)

10. Kriit V.E., Sladkova Yu.N., Badaeva E.A., Smirnov V.V., Zaritskaya E.V. K voprosu o gigienicheskikh trebovaniyakh k kachestvu vozdukh zakrytykh pomeshchenii na ob"ektakh zhilishchnogo stroitel'stva na stadii vvoda v ekspluatatsiyu [On the issue of hygienic requirements for indoor air quality at housing construction sites at the stage of commissioning]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2019, no. 6, pp. 608–612. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-608-612>. (In Russ. abstr.in Engl.)

11. Malysheva A.G., Rakhmanin Yu.A., Rastyannikov E.G., Kozlova N.Yu. Khimiko-analiticheskie aspekty issledovaniya kompleksnogo deistviya faktorov okruzhayushchei sredy na zdorov'e naseleniya [Chemical-analytical aspects of the study of

the complex effect of environmental factors on public health]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2015, no. 7, pp. 6–10. eLIBRARY ID: 25060913. (In Russ., abstr. in Engl.)

12. In Lazarev N.V., Levina E.N. (eds.) *Vrednye veshchestva v promyshlennosti. Spravochnik dlya khimikov, inzhenerov i vrachei [Harmful substances in industry. Handbook for chemists, engineers and doctors]*, Vol. 1. Organicheskie veshchestva [Organic substances]. Leningrad, Chemistry, Leningrad branch, 1976, 590 p. (In Russ.)

13. Pogonyшева I.A., Pogonyшев D.A. Aktual'nye problemy vzaimosvyazi okruzhayushchei sredy i zdorov'ya cheloveka v stranakh Evropeiskogo soyuza. Obzor literatury [Actual problems of the relationship between the environment and human health in the countries of the European Union. Literature review]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2019, no. 5, pp. 473–477. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-473-477>. (In Russ., abstr. in Engl.)

14. Gubernskii Yu.D., Fedoseeva V.N., Makovetskaya A.K., Kalinina N.V., Fedoskova T.G. Ekologo-gigienicheskie aspekty sensibilizirovannosti naseleniya v zhiloi srede [Ecological and hygienic aspects of the sensitization of the population in a residential environment]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2017, no. 5, pp. 414–417. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-414-417>. (In Russ., abstr. in Engl.)

15. Gorbanev S.A., Mozhukhina N.A., Eremin G.B., Noskov S.N., Karelin A.O., Vyucheiskaya D.S., Kopytenkova O.I., Badaeva E.A. Ob obosnovanii predlozhenii po izmeneniyam i dopolneniyam sanitarno-epidemiologicheskikh trebovaniy k usloviyam prozhivaniya v zhilykh zdaniyakh i pomeshcheniyakh [On the rationale for proposals for changes and additions to sanitary and epidemiological requirements for living conditions in residential buildings and premises]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2019, no. 7, pp. 707–712. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-707-712>. (In Russ., abstr. in Engl.)

16. Rakhmanin Yu.A., Novikov S.M., Avaliani S.L., Sinitsyna O.O., Shashina T.A. Sovremennye problemy otsenki riska vozdeystviya faktorov okruzhayushchei sredy na zdorov'e naseleniya i puti ee sovershenstvovaniya [Modern problems of risk assessment of the impact of environmental factors on public health and ways to improve it]. In: *Analiz riska zdorov'yu [Health risk analysis]*, 2015, no. 2, pp. 4–9. eLIBRARY ID: 23718897. (In Russ.)

17. Novikov S.M., Fokin M.V., Unguryanu T.N. Aktual'nye voprosy metodologii i razvitiya dokazatel'noi otsenki riska zdorov'yu naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv [Topical issues of methodology and development of evidence-based risk assessment for public health under exposure to chemicals] In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2016, no. 8, pp. 17–22. eLIBRARY ID: 26636958. (In Russ., abstr. in Engl.)

18. Rakhmanin Yu.A. Aktualizatsiya metodologicheskikh problem reglamentirovaniya khimicheskogo zagryazneniya okruzhayushchei sredy [Actualization of methodological problems of regulation of chemical pollution of the environment]. In: *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*, 2016, no. 8, pp. 701–705. eLIBRARY ID: 26636955. (In Russ., abstr. in Engl.)

19. Barnova N.O., Mel'tser A.V., Kiselev A.V., Yakubova I.Sh. Otsenka potentsial'nogo riska zdorov'yu naseleniya ot vozdeystviya vrednykh veshchestv, sodержashchikhsya v vozdukhke zakrytykh pomeshchenii [Assessment of the potential risk to public health from exposure to harmful substances contained in indoor air]. In: *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina [Preventive and clinical medicine]*, 2020, no. 1, pp. 34–41. eLIBRARY ID: 42631742. (In Russ., abstr. in Engl.)

20. Levin E.V., Okunev A.Yu. O normirovaniy kachestva vozdukhva v pomeshcheniyakh zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [On the regulation of air quality in the premises of residential and public buildings]. In: *BST. Byulleten' stroitel'noi tekhniki [BST. Building Engineering Bulletin]*, 2020, no. 6, pp. 60–63. eLIBRARY ID: 42898309. (In Russ., abstr. in Engl.)