

технологічних (швидкість газового потоку, напруга) і (або) конструктивних (відстань між коронуючими електродами та голками, радіус електродів, висота голок) параметрів очищення.

Таким чином, запропоновані рекомендації для підвищення ефективності пилоуловлювання в горизонтальних електрофільтрах за допомогою програми на ЕОМ дозволяють досягти необхідного ступеня очищення при мінімальних приведених витратах за рахунок оптимізації технологічних і конструктивних параметрів роботи апаратів, кондиціонування газового потоку та інших заходів.

З метою оперативного втручання в режим експлуатації діючого електрофільтра необхідно забезпечувати його роботу разом з ЕОМ. Вихідні дані, що постійно змінюються в ході технологічного процесу (властивості пилу і параметри газового потоку), треба передавати програмі «ELFILTER», яка повинна розраховувати дійсну ефективність пилоуловлювання і, у разі потреби, оперативно коректувати технологічні параметри очищення (наприклад, підвищувати напругу електричного поля) для досягнення необхідного ступеня очищення.

1. Качан В.М., Акініна А.Г. Вибір і розрахунок електрофільтрів на ЕОМ // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 23. – К.: Техніка, 2000. – С. 120-124.

*Отримано 10.12.2002*

УДК 613.155

ЕЖИ ПИОТРОВСКИ, канд. техн. наук  
*Свентокшинская Политехника, г.Кельце (Польша)*

### **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ЗНАЧЕНИЙ КРАТНОСТИ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Произведен выбор оптимальных значений кратности воздухообмена в помещениях жилых зданий, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим и энергосберегающим требованиям. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса воздухообмена в помещениях 11-этажных зданий, имеющих различные конструкции оконных переплетов. Сделан вывод о невозможности управления процессом воздухообмена в помещении только путем изменения степени герметичности его окон. Намечены основные направления регулирования интенсивности воздухообмена.

Интенсивность воздухообмена в помещениях жилых зданий, обусловленного неплотностями наружных ограждений (главным образом окон), а также наличием вентиляционных каналов с точки зрения теплозащиты должна быть минимальной. В данном случае проблема состоит в том, что для обеспечения здоровых микроклиматических условий в помещении интенсивность воздухообмена в нем должна быть высокой. В связи с этим введено понятие гигиенического ми-

нимума. Оно подразумевает предельно минимальное количество обмениваемого в помещении воздуха, но при этом достаточное для нормального дыхания и своевременного удаления наружу водяного пара, а также вредных для здоровья человека веществ, таких как соединения формальдегида, радиоактивные элементы, дым, пыль, химические бытовые средства, широко применяемые для мытья, чистки, стирки и т.п. При этом важным является определение хотя бы ориентировочных пределов величины кратности воздухообмена, значения которых можно проверить и подтвердить сравнением с соответствующими результатами экспериментальных исследований в естественных условиях.

Многочисленными наблюдениями установлено, что около 80-90% воздуха поступает в помещение сквозь неплотности оконных рам. Результаты экспериментальных исследований процесса воздухообмена в реальных условиях на объектах, имеющих различные конструкции оконных переплетов, а следовательно, различную степень их герметичности, явились основой для выбора путей управления интенсивностью воздухообмена с учетом санитарно-гигиенических и энергосберегающих требований.

Технический прогресс и индустриализация промышленности, которой сопутствует не всегда обдуманное внедрение новых технологий и материалов, привели к тому, что появилась потенциальная опасность длительного контактирования человека с токсичными веществами, выделяемыми различными источниками и распространяющимися в воздухе помещения. В малых квартирах серьезной проблемой является своевременное удаление продуктов сгорания газа в кухнях, запахов от приготовления пищи, косметики, чистящих химических средств, синтетических лаков, клеев, содержащих, кроме всего прочего, формальдегид, табачного дыма и других вредных для здоровья человека веществ.

В табл.1 представлены данные, касающиеся содержания формальдегида в воздухе помещений современных жилых зданий. Установлено, что источниками формальдегида являются материалы, широко применяемые в настоящее время при возведении зданий (строительные и отделочные материалы, тепловая изоляция), а также мебель. Наиболее токсичным материалом являются древесностружечные плиты. Содержание формальдегида в воздухе исследованных помещений значительно превышает предельно допустимую норму, установленную для категории помещений с длительным пребыванием в них людей.

Таблица 1 – Концентрация формальдегида в воздухе помещений жилых зданий

Страна	Средняя концентрация формальдегида, мг/м <sup>3</sup>	Исследуемый объект
Дания	0,08 ÷ 2,24	Стены из древесностружечной плиты
Норвегия	0,10	Стены из древесностружечной плиты
Украина	0,05 ÷ 0,45	Различные жилые здания
Польша	0,001 ÷ 0,48	Различные жилые здания
США	0,474	Стены из древесностружечной плиты
	0,238	Комнаты с мебелью из древесностружечной или древесноволокнистой плиты

Другой серьезной угрозой здоровью человека является ионизирующее излучение, выделяемое материалами некоторых строительных конструкций, при изготовлении которых широко используют сырьевые материалы и отходы энергетики, металлургии и химической промышленности.

В табл.2 приведены данные о средней концентрации радиоактивного радия <sup>226</sup>Ra, содержащегося в строительных материалах, применяемых при строительстве жилых зданий [1, 2].

Таблица 2 – Концентрация радия <sup>226</sup>Ra в стройматериалах, применяемых в некоторых странах

Материал	Средняя концентрация радиоактивного радия, пСi/г					
	Польша	Украина	Германия	Швеция	США	Велико-британия
Бетон	0,33÷0,51	0,9÷2,0	1,8	1,3÷1,5		2,0
Кирпич	0,10÷1,4	1,5	2,6÷7,6	2,6		
Цемент	0,75÷0,88	1,2		1,5		12
Пенобетон	0,27÷1,1					
Гипс	0,3÷0,4		1,5÷16,0		40	24,0
Гранит	0,77÷0,9	3,0	2,6			2,4
Керамзит	0,95					
Щебенка				1,3		3,0
Гравий и песок	0,42÷0,48		0,1÷0,4			
Легучая зола	2,02					
Минеральная вата				0,4		

Как видно из табл.2, наиболее мощным источником радия <sup>226</sup>Ra является гипс, использование которого в жилищном строительстве необходимо запретить.

От содержания радия в материалах зависит главным образом концентрация в помещениях радиоактивного радона <sup>222</sup>Rn, который,

попадая в бронхи и легкие, оказывает вредное воздействие на здоровье человека. В табл.3 представлены результаты измерения концентрации  $^{222}\text{Rn}$ , содержащегося в воздухе помещений зданий жилых массивов трех микрорайонов Варшавы. В момент проводимых измерений концентрация радона в воздухе окружающей среды не превышала  $3,7 \text{ Вк/м}^3$ .

Таблица 3 – Концентрация радона  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе помещений крупнопанельных жилых зданий, расположенных в трех микрорайонах Варшавы

Место измерения	Концентрация радона, $\text{Вк/м}^3$		
	Микрорайон 1	Микрорайон 2	Микрорайон 3
Жилые комнаты	12,2÷191,7 (ср.61)*	7,03÷148,0 (ср.50)	38,5÷163,5 (ср.77)
Прихожая	32,6÷107,7 (ср.59)	-	-
Ванная комната	17,7÷98,8 (ср.48)	12,5÷90,7 (ср.39)	22,6÷71,8 (ср.54)

\*Примечание: в скобках указаны средние значения приведенных интервалов

Как следует из табл.3, на всех исследованных объектах содержание радона превышает предельно допустимую норму, которая находится в пределах  $37,0 \text{ Вк/м}^3$ . Наиболее опасными для здоровья человека являются жилые комнаты, средний уровень радона в воздухе которых равен  $77 \text{ Вк/м}^3$ , а максимальное содержание  $^{222}\text{Rn}$  достигает  $191,7 \text{ Вк/м}^3$ .

В табл.4 приведены результаты измерения концентрации радона в воздухе помещений в зависимости от типа материала, из которого построено здание.

Таблица 4 – Концентрация радона  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе помещений в зависимости от вида используемых строительных материалов

Строительный материал	Количество исследованных квартир	Концентрация радона в воздухе помещений, $\text{пСi/м}^3$
Дерево	12	60 ÷ 1600 (ср. 160)
Кирпичная стена	36	30 ÷ 5340 (ср. 240)
Бетон и крупнопанельные элементы	153	20 ÷ 2140 (ср. 300)

Из табл.4 видно, что наиболее экологически чистым строительным материалом является дерево. Наивысшая степень загрязнения воздуха помещений радоном отмечена в кирпичных зданиях, что указывает на использование нечистых сырьевых материалов, применяемых при изготовлении кирпича. Необходимо заметить, что максимальное содержание радона в воздухе исследованных помещений превышает предельно допустимую концентрацию, которая равна  $1000 \text{ пСi/м}^3$ .

Наряду с указанными в воздухе жилых зданий присутствуют традиционные загрязнения, обусловленные характером эксплуатации отдельных помещений. К ним относятся, например, водяной пар, выделяющийся при приготовлении пищи, проведении гигиенических мероприятий, а также в процессе дыхания людей, растений и т.п.

При определении оптимальной величины кратности воздухообмена, которая до сих пор не установлена и является предметом дискуссии врачей, гигиенистов и физиологов, с точки зрения гигиены следует принимать во внимание разнородность загрязнений. На рис.1 представлены результаты исследований, из которых следует, что интенсификация воздухообмена, вызывая вихревое движение воздуха, является причиной распространения пыли в помещении (рис.1, а). С другой стороны, повышение кратности воздухообмена резко снижает количество газообразных загрязнений (рис.1, б), а при кратности воздухообмена более  $2,5 \text{ ч}^{-1}$  концентрация радона в воздухе помещений не превышает допустимой нормы и с повышением интенсивности воздухообмена резко снижается (рис.1, в).

Таким образом, стремясь установить оптимальное значение кратности воздухообмена, нужно выполнить ряд противоположных требований: с одной стороны, экономия энергии и обеспечение комфортных температурных условий в помещении, а также некоторых гигиенических (например, уменьшение содержания пыли) требуют снижения интенсивности воздухообмена. С другой стороны, систематическое подведение свежего воздуха, обеспечение требуемых санитарно-гигиенических условий (удаление большинства газообразных загрязнений), быстрое удаление влаги и т.п. возможно только при интенсивном воздухообмене.

Отсутствие четких и однозначных гигиенических требований усложняет проблему, что проявляется в неустойчивости нормативных рекомендаций. В табл.5 приведены нормативные показатели кратности воздухообмена, принятые в разных странах, величина которых установлена в зависимости от типа помещения.

Таблица 5 – Нормативные значения кратности воздухообмена ( $\text{ч}^{-1}$ ) и количества воздуха  $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$  в помещениях, принятые в различных странах

Страна	Квартира в целом	Гостиная комната	Спальная комната
Финляндия	$0,5 \text{ ч}^{-1}$	-	-
Голландия	-	-	$3,6 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$
Канада	$1,0 \text{ ч}^{-1}$	-	-
Норвегия, Дания	$0,5 \text{ ч}^{-1}$	$15 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$	$15 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$
Швеция	$1,3 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$	-	-
США	-	$18 \text{ м}^3/\text{ч}$	$18 \text{ м}^3/\text{ч}$
Великобритания	-	$18 \text{ м}^3/\text{ч}$	$18 \text{ м}^3/\text{ч}$

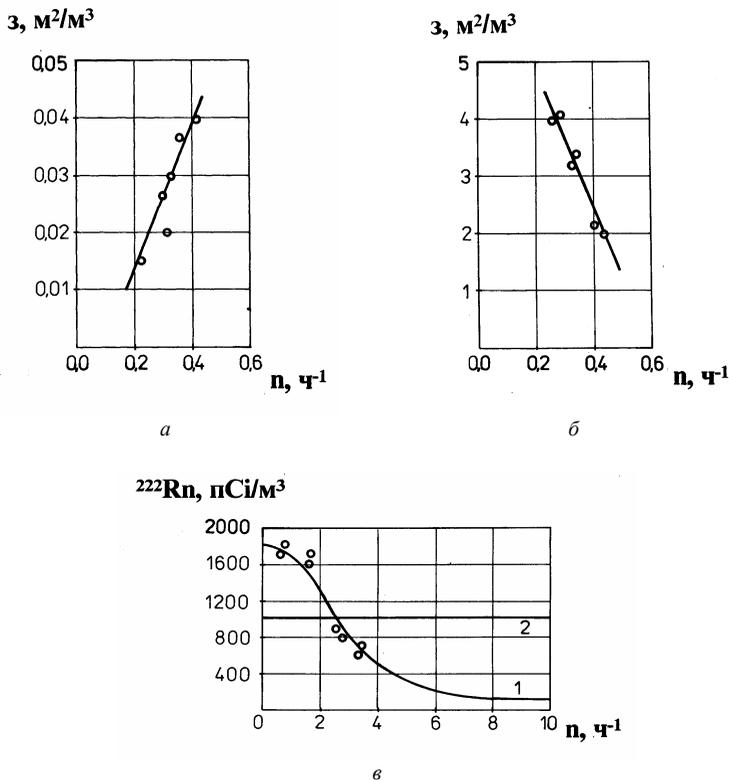


Рис. 1 – Зависимость степени загрязнения воздуха помещений от интенсивности воздухообмена в них:

а – загрязнение пылью; б – газообразными веществами;  
 в – концентрация радона (1 – фактическая; 2 – допустимая)

Из анализа графических зависимостей, приведенных на рис.1, вытекает, что наиболее эффективно газообразные загрязнения из воздуха помещения удаляются при кратности воздухообмена  $0,3 \div 0,4 \text{ ч}^{-1}$ .

С целью определения минимально допустимого количества свежего воздуха, поступающего в помещение, с учетом требований энергосбережения за основу следует брать величину жилой площади, приходящейся на одного жильца, которая находится в пределах  $15 \div 20 \text{ м}^2$ . При средней высоте помещений 2,5 м, а также с учетом принятых норм (см. табл.5) минимальная кратность воздухообмена составляет  $0,5 \text{ ч}^{-1}$ . Это хорошо согласуется с величиной, приведенной

на рис.1, а, б. Учитывая вредное влияние на здоровье человека повышенных концентраций радона, радия, водяного пара, газовых и других загрязнений, содержащихся в воздухе помещений, необходимо периодически увеличивать количество свежего воздуха, поступающего в них. При этом кратность воздухообмена здесь должна быть не менее  $2 \div 2,5 \text{ ч}^{-1}$ .

С учетом совокупности гигиенических и энергосберегающих требований нами принят предельный интервал кратности воздухообмена для жилых помещений, равный  $0,5 \div 0,8 \text{ ч}^{-1}$ . С целью подтверждения правильности такого выбора были проведены экспериментальные исследования интенсивности воздухообмена в помещениях 11-этажного здания, имеющих оконные переплеты разных конструкций и при различных погодных условиях. Исследование процесса воздухообмена выполняли методом электроотрицательных маркеров, в котором в качестве маркирующего газа применена шестифтористая сера ( $\text{SF}_6$ ) [3]. Данные исследований приведены на рис.3, 4, 5, которые представляют собой обобщенные результаты, характеризующие изменение кратности воздухообмена в помещениях, расположенных на разных этажах. Температура окружающего воздуха во время проведения эксперимента изменялась от  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ , скорость ветра – от 0 до  $7,5 \text{ м/с}$ . Во всех исследуемых квартирах входные двери имели стандартные уплотнения.

На рис.2 показаны обозначения, используемые на рис.3-5, с правой стороны которых стрелками отмечен интервал оптимальных значений кратности воздухообмена, а на рис.3 – изменение кратности воздухообмена в помещениях с неуплотненными окнами, коэффициент воздухопроницаемости которых составляет  $a=2,0 \div 3,2 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{дПа}^{0,7})$ . Из рис.3 видно, что кратность воздухообмена во всех помещениях исследуемого здания превышает оптимальный уровень, что указывает на значительные тепловые потери в них. Особенно это проявляется в квартирах нижних и верхних этажей здания. Необходимо также отметить большое влияние метеорологических условий на интенсивность воздухообмена в помещениях, обусловленное низким уровнем герметичности оконных рам.

На рис.4 представлена графическая зависимость кратности воздухообмена в помещениях, имеющих стандартно уплотненные окна (с одной резиновой прокладкой,  $a=1,0 \div 15 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{дПа}^{0,7})$ ). И в этом случае четко видна зависимость интенсивности воздухообмена в помещениях от погодных условий, причем воздухообмен в квартирах нижних этажей значительно интенсивнее, чем верхних.

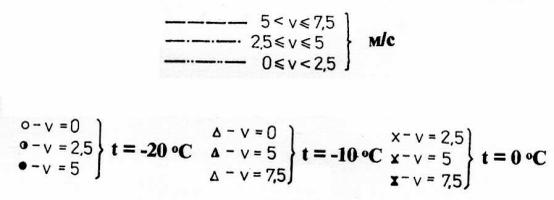


Рис.2 – Условные обозначения, используемые на рис.3-5

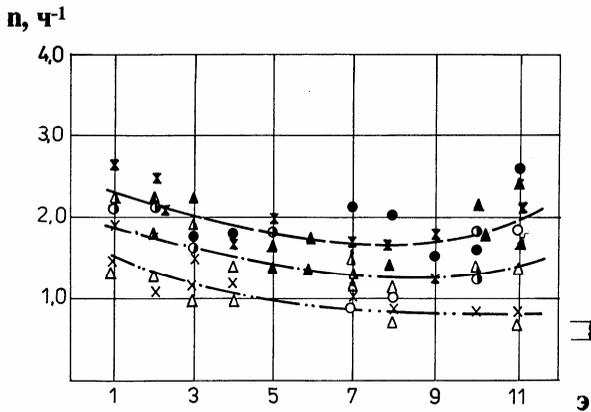


Рис. 3 – Изменение интенсивности воздухообмена в помещениях 11-этажного здания с неуплотненными окнами

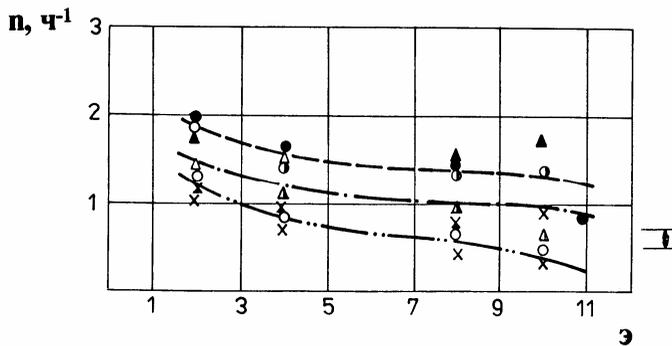


Рис. 4 – Изменение кратности воздухообмена в помещениях 11-этажного здания со стандартно уплотненными окнами

Применение окон с повышенной герметичностью ( $a=0,5\div 0,8 \text{ м}^3/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{дПа}^{0,7})$ ) обусловило значительное уменьшение прохождения воздуха через неплотности оконных рам и упорядочение этого процесса (рис.5). Однако кратность воздухообмена при этом значительно ниже оптимального уровня, особенно в помещениях верхних этажей, что отрицательно сказывается на их микроклиматических условиях. Необходимо также заметить, что интенсивность воздухообмена в помещениях с герметичными оконными рамами почти не зависит от погодных условий.

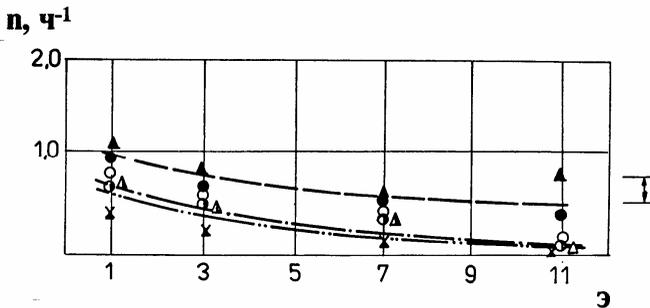


Рис. 5 – Изменение кратности воздухообмена в помещениях 11-этажного здания с окнами повышенной герметичности

Таким образом, исследования показали, что в зависимости от степени герметичности окон и погодных условий в помещениях нижних и верхних этажей наблюдается чрезмерно интенсивный воздухообмен, нежелательный с точки зрения энергосбережения, или слишком малый, неспособный обеспечить нормальные микроклиматические условия. Это указывает на то, что процесс воздухообмена при естественной вентиляции невозможно урегулировать только путем ограничения коэффициента воздухопроницаемости сквозь наружные ограждения. Необходимо искать новые пути управления процессом воздухообмена с применением регуляторов подачи воздуха или систем приточной вентиляции, особенно в помещениях с высокогерметичными окнами.

1. Piotrowski J. Air Exchange in Rooms with Tight Window Joinery. Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, 1997, Vol. 3, p. 345-346.

2. Technical Note AIVC. Nr 46. University of Warwick Science Park, Coventry, 1995.

3. Piotrowski J., Faryniak L. The Application of Chromatography Method in the Research into Infiltration Heat Losses. Institute of Heating and Ventilating Warsaw University of Technology, Warsaw, 1994, p. 111-114.

Получено 24.12.2002