

УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Сочетанное влияние химических веществ, входящих в состав токсичных выбросов различных видов транспорта в агломерациях, может быть учтено при проведении специальной оценки условий труда и производственного контроля за счет введения в расчетную часть протоколов измерений повышающего коэффициента.

Ключевые слова: углекислый газ, атмосферный воздух, воздух рабочей зоны, гигиеническое нормирование, сочетанный эффект



В.А. Аксёнов



В.Е. Бурак

Атмосферный воздух, которым мы дышим, на 99,99% состоит из азота, кислорода, аргона и углекислого газа. Содержание углекислого газа находится в пределах 0,04% по массе и составляет около 206000 млрд т [1].

За весь период существования человечества (70000–80000 лет), химический состав атмосферы существенно не менялся, а локальные и временные изменения не привели к каким-либо значительным изменениям в геномике и вид *Homo sapiens* сформировался как стенокарбонный (от греч. *stenos* — узкий, ограниченный и лат. *Carbon Dioxide* — углерода диоксид), т.е. обитающий в узком диапазоне колебаний содержания в атмосферном воздухе углекислого газа.

Индустриализация производственной деятельности в последние десятилетия привела к изменению состава атмосферного воздуха и, в частности, концентрации в нем углекислого газа.

Проявляя обеспокоенность за здоровье граждан, уполномоченные органы управления устанавливают предельно-допустимые нормативы, исходя из представлений о негативных последствиях для организма человека и экономических возможностей государства.

В Российской Федерации основными нормативными документами, определяющими предельно допустимое загрязнение воздушной среды, являются ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Аксёнов Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технология транспортного машиностроения, ресурсосберегающие технологии на транспорте. Автор более 200 научных работ, в том числе четырех монографий, одного учебника и 14 учебных пособий.

Бурак Василий Евгеньевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: анализ воздействия вредных производственных факторов на работника и окружающую среду. Автор более 200 научных работ, в том числе двух монографий.

Сорокина Екатерина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: условия труда работников массовых профессий городских агломераций, профилактика травматизма, микротравмирование, профессиональные заболевания. Автор более 40 научных работ, в том числе трех учебных пособий и двух монографий.

городских и сельских поселений» [2] и ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [3].

Учитывая постепенное увеличение содержания в воздухе углекислого газа, считаем актуальным исследовать вопросы, связанные с его нормированием, прежде всего в мегаполисах и крупных городских агломерациях.

Цель исследований

Обеспечение благоприятных условий труда и жизнедеятельности в условиях сочетанного действия фоновое загрязнения территорий углекислым газом и выбросами различных видов транспорта.

Задачи

1. Исследовать нормирование содержания углекислого газа в атмосферном воздухе и воздухе рабочей зоны.

2. Предложить возможность учесть фоновое загрязнение углекислым газом в транспортных системах городских агломераций при проведении специальной оценки условий труда и производственного контроля.

Результаты исследований

Углекислый газ (диоксид углерода, CO_2) далеко не самое опасное химическое вещество в атмосферном воздухе, относится к 4 классу опасности, но, среди так называемых парниковых газов, оно самое значимое по объему и массе (табл. 1). Среди выбросов парниковых газов в Российской Федерации за 2018 г. углекислый газ составил по массе 76,2%.

Анализ ГН 2.1.6.3492-17 показал, что в Российской Федерации предельно-допустимое содержание углекислого газа в воздухе городских и сельских поселений не установлено [2].

В ГОСТ Р ЕН 13779-2007, в качестве справочных материалов, приведено только среднегодовое значение для сельской местности, в которой отсутствуют источники загрязнения наружного воздуха – 350 ppm [5].

Поскольку нормирование на законодательном уровне отсутствует, постоянное мониторинговое наблюдение за содержанием углекислого газа в воздухе городов Российской Федерации, не проводится. Однако, в целом по стране и на Земле, его концентрацию фиксирует сеть лабораторий в рамках Глобальной системы экологического мониторинга окружающей среды. В интернете, в режиме реального времени, можно посмотреть карту распределения углекислого газа по всем континентам (рис. 1) [7].

Наибольшие концентрации отмечены в городах с развитой промышленностью и интенсивным транспортным движением. Так, например, в крупных городах и мегаполисах, содержание углекислого газа достигает, в безветренную погоду в часы пик, 800–2000 ppm, что в 2,3–5,7 раз превышает его содержание в сельской местности.

Перемещение воздушных масс снижает максимальные концентрации в местах наибольшего скопления транспорта и создает определенное фоновое распределение углекислого газа по всей территории.

Его величина прямо зависит от концентрации загрязняющего вещества в источнике (прежде всего, это крупные автомагистрали и развязки), плотности

Таблица 1

Совокупные выбросы парниковых газов (без учета землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства), млн т CO_2 -эквивалента в год [4]

Показатель	Годы					
	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Углекислый газ (CO_2)	1547,4	1612,9	1622,9	1618,3	1646,2	1691,4
Метан	346,4	351,9	363,6	366,9	383,9	396,0
Оксид азота	73,6	75,0	81,1	84,6	86,3	85,9
Гидрофторуглероды	19,6	13,4	22,3	23,7	34,4	42,8
Перфторуглероды	6,3	3,6	3,5	3,7	3,2	2,7
Гексафторид серы	1,5	1,0	1,1	1,0	1,4	1,3
Всего, без CO_2	101,2	93,0	108,0	113,0	125,3	132,7
Всего	1995,1	2057,9	2094,0	2098,1	2155,3	2220,1

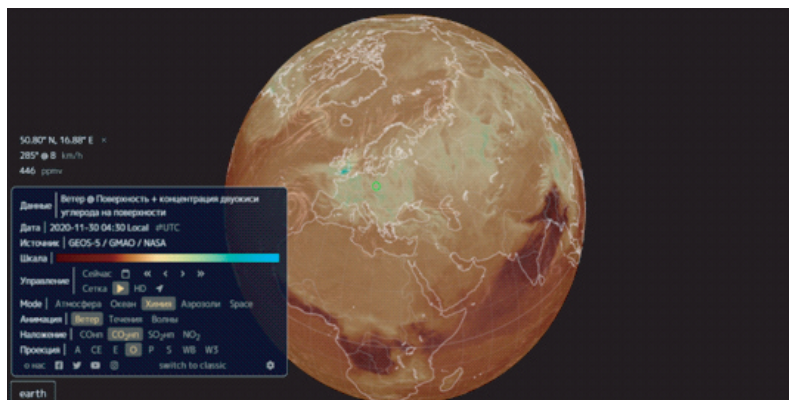


Рис. 1. Содержание углекислого газа в приземном слое воздуха на 30.11.2020 г.

городской застройки и количества дней с безветренной и маловетреной погодой со скоростью движения воздуха до 1 м/с. В Российской Федерации количество таких дней в году, в среднем по 11 городам-миллионникам, весьма значительно и составляет 45,9%, что выше, чем в городах с населением 300–500 тыс. человек и меньшей плотностью застройки на 25–40%.

Организм человека обладает определенной толерантностью к изменению содержания в воздухе углекислого газа в довольно широких пределах 400–800 ppm. Но, уже в ситуации, когда его количество превышает 800–1000 ppm, неизбежно наблюдается повышенная утомляемость, головные боли, пониженная работоспособность, что является серьезной предпосылкой производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Необычная ситуация складывается при определении класса (подкласса) вредности в специальной оценке условий труда и при проведении производственного контроля. Результатами измерений концентрации углекислого газа вообще приходится пренебрегать, поскольку предельно-допустимые концентрации, установленные в ГН 2.2.5.3532-18 настолько велики, что фактически измеренные концентрации никогда не достигают установленных величин — ПДК_{сс} (9000 мг/м³) и ПДК_{мр} (27000 мг/м³) [3].

Углекислый газ не относится к веществам однократного действия, к которым применим эффект суммации и которые, хоть как-то, можно было бы учесть.

Вместе с тем, углекислый газ усугубляет неблагоприятное действие токсичных выбросов различных видов транспорта, которые весьма значительны. Так, в Москве загрязненность воздуха вблизи автомагистралей в 2017–2019 гг. превышала концентрацию загрязняющих веществ на территории жилой застройки в 1,3–1,5 раз.

В качестве примера на рис. 2 приведена динамика средней концентрации оксида углерода и оксида азота с 2000 по 2019 гг.

В течение года наблюдаются значительные колебания концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (табл. 2).

При этом выбросы оксидов углерода от автомобильного транспорта составили в 2018 г. 95,7%, от железнодорожного транспорта 1,5% и от остальных видов транспорта — 3,8%.

Совместное действие химических веществ, входящих в состав выхлопных газов, характеризуется синергическим эффектом, вне зависимости от их концентрации и степени превышения относительно ПДК в данный момент времени. Так, известно, что оксид углерода и оксид азота взаимоусиливают негативное действие на живой организм. Это же явление характерно для оксида углерода и диоксида серы; оксида углерода, оксидов азота, бензола и т.д. [12].

Отсутствие реального нормирования не означает отсутствие негативного, в т.ч. сочетанного, воздействия на работника химических веществ, включая углекислый газ.

Совокупность фоновой и специфической (идентифицированной) химической загрязненности как окружающей среды, так и воздуха рабочей зоны, снижает жизнеспособность любых генотипов и повышает вероятность смертности, что хорошо видно из формулы Гомперца-Мейкема [8–10]:

$$m(t) = A + Ro \exp(at),$$

где $m(t)$ — вероятность смертности, людей возраста t ;

$Ro \exp(at)$ — возрастная компонента смертности, отражающая экспоненциальный рост смертности с возрастом;

A — константа, отражающая зависимость интенсивности смертности от внешних условий (фоновая

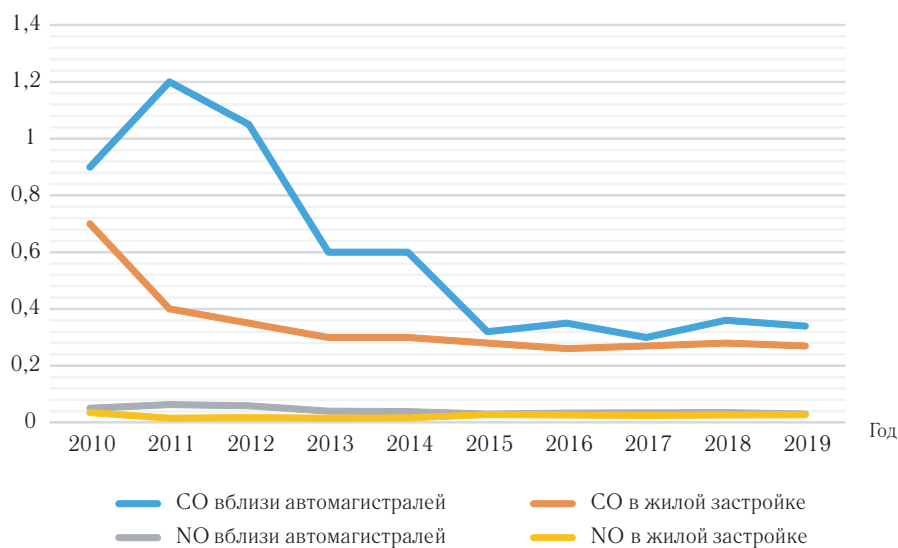


Рис. 2. Средняя концентрация оксида углерода и оксида азота в г. Москве в 2000–2019 гг.

Таблица 2

**Диапазоны среднегодовых колебаний основных загрязняющих веществ
в атмосферном воздухе г. Москвы**

№ п/п	Загрязняющее вещество	Диапазоны среднегодовых колебаний, в долях ПДКсс	
		2018 г.	2019 г.
1	Оксид углерода	0,06–0,26	0,05–0,23
2	Оксид азота	0,08–0,9	0,1–0,6
3	Диоксид серы	0,04–0,12	0,02–0,14
4	Бензол	0,02–0,11	0,05–0,07
5	Диоксид азота	0,26–1,71	0,38–1,47
6	PM10	0,24–0,82	0,52–1,21

компонента смертности), одинаковая для всех возрастных групп;

R_0 — начальный уровень смертности;

a — показатель, отражающий скорость нарастания смертности с возрастом.

Суть формулы состоит в том, что с возрастом жизнеспособность падает, а неблагоприятные внешние условия, в т.ч. фоновое загрязнение атмосферного воздуха, усугубляют этот процесс.

По результатам специальной оценки условий труда в Российской Федерации за 2014–2019 гг. избыточное содержание в воздухе рабочей зоны химических веществ занимает четвертое место в установлении вредного класса воздействия на здоровье работников, а по результатам производственного контроля — второе [11]. Количество фиксируемых химических веществ исчисляется сотнями наименований. Замеры

содержания в воздухе рабочей зоны углекислого газа в Российской Федерации осуществляются в мизерном количестве — до 0,01 % от всех измерений концентрации химических веществ. В итоге мы не знаем истинного масштаба проблемы.

С учетом того, что ПДК устанавливаются для каждого отдельно взятого загрязняющего вещества, без учета сочетанного воздействия с другими веществами, реальное негативное воздействие в совокупности существенно выше, чем устанавливается в результате замеров испытательными лабораториями.

Надо полагать, что в крупных городских агломерациях и мегаполисах с высоким фоновым загрязнением атмосферного воздуха углекислым газом, как и прочими парниковыми газами, жизнеспособность организма снижается ускоренными темпами, по

сравнению с аналогичными по химическому загрязнению территориями, с более низким фоновым загрязнением.

Не учитывать фоновое загрязнение окружающей среды в оценке условий труда нельзя, поскольку работникам приходится не только дышать загрязненным воздухом, но, и выполнять производственные задания, порой сопряженные с тяжелым физическим трудом, без компенсации за наличие вредных и опасных производственных факторов.

В связи с этим предлагается, как первая попытка учета сочетанного действия повышенной концентрации углекислого газа сверх 350 ppm, ввести в расчетную часть протоколов измерений для условий транспортных систем городских агломераций повышающий коэффициент, равный константе A формулы Гомперца-Мейкема.

Выводы

1. ПДК углекислого газа для атмосферного воздуха в Российской Федерации не разработаны. ПДК_{сс} и ПДК_{мр} для воздуха рабочей зоны представляются чрезмерно завышенными.

2. Фоновое загрязнение воздуха углекислым газом и иными вредными ингредиентами выхлопных газов в транспортных системах городских агломераций может и должно быть учтено при проведении специальной оценки условий труда и производственного контроля за счет введения в расчетную часть протоколов измерений повышающего коэффициента. 

Литература

1. Ермолаев, В.С. Парниковый эффект: диоксид углерода и антропогенный фактор / В.С. Ермолаев, М.В. Иночкин, И.П. Пузык, М.В. Пузык // Общество. Среда. Развитие. — 2007. — №2(3). — С. 77–82.
2. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (вместе с «ГН 2.1.6.3492-17. Гигиенические нормативы...»)[Электронный ресурс]: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22.12.2017 №165 (ред. от 31.05.2018) <http://www.consultant.ru>.
3. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (вместе с «ГН 2.2.5.3532-18. Гигиенические нормативы...»)[Электронный ресурс]: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 13.02.2018 №25 <http://www.consultant.ru>.
4. Совокупные выбросы парниковых газов <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.
5. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. Национальный стандарт Российской Федерации. [Электронный ресурс]: утв. Приказом Ростехрегулирования от 27.12.2007 №616-ст. <http://www.consultant.ru>.
6. Сайт Правительства Москвы http://www.dpioos.ru/eco/ru/air_today/n_89.
7. Глобальная карта ветров, погодных условий и морских течений <https://earth.nullschool.net/ru/#current/chem/surface/level/overlay=co2sc/orthographic=-328.75,44.88,414/loc=16.881,50.795/>
8. Крутько, В.Н. Методологические подходы к количественной диагностике старения человека / В.Н. Крутько, В.И. Донцов // Вестник восстановительной медицины. — 2011. — №6. — С. 55–59.
9. Донцов, В.И. Снижение скорости старения человека со второй половины 20-го века / В.И. Донцов, В.Н. Крутько, О.В. Митрохин // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. — 2020. — Т.491, №1. — С. 146–150.
10. Стожаров, А.Н. Медицинская экология : учеб. пособие / А.Н. Стожаров. — Минск: Выш. шк., 2007. — 368 с.
11. Аксёнов, В.А. Оценка влияния химической компоненты воздуха рабочей зоны на профессиональную заболеваемость работников транспорта / В.А. Аксёнов, А.М. Завьялов, В.Е. Бурак, Е.А. Сорокина // Наука и техника транспорта. — 2019. — №4. — С. 74–79.
12. Заболотских, В.В. Синергические эффекты при одновременном воздействии физических и химических факторов / В.В. Заболотских, А.В. Васильев, Ю.П. Терещенко // Известия Самарского научного центра Рос. академии наук. — 2016. — Т2, №5 (2). — С. 290–295.