

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Литвинова Наталья Анатольевна

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАРУЖНОГО
ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИТОЧНЫХ УСТРОЙСТВ
СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ**

Специальность 2.1.3	Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
Специальность 2.1.10	Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор ВолГТУ

Азаров В.Н.

Тюмень – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

	ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	7
	ВВЕДЕНИЕ	9
ГЛАВА 1	ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ВЫБОР СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ СИСТЕМОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ.....	24
1.1	Причины поступления газообразных загрязнителей в помещения зданий городских территорий.....	24
1.2	Существующие методики расчёта рассеивания газообразных загрязнителей от точечных источников.....	25
1.3	Использование уравнения переноса газового потока Бюргерса для оценки концентраций загрязнителей от передвижных источников.....	29
1.4	Необходимость установления закономерностей вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в наружном воздухе зданий с учётом застройки.....	30
1.5	Методы и способы очистки приточного воздуха помещений зданий в условиях повышенного загрязнения атмосферы.....	32
1.5.1	Методы очистки приточного воздуха от оксида углерода (II)...	32
1.5.2	Методы очистки приточного воздуха от органических газообразных загрязнителей.....	46
1.6	Анализ существующих конструкций приточных устройств и способов защиты качества воздуха помещений средствами вентиляции зданий от наружных источников выброса.....	48
	Выводы по главе 1.....	53
ГЛАВА 2	ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ С УЧЁТОМ ТИПА ЛОКАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА	55
2.1	Методика проведения экспериментальных исследований качества наружного воздуха зданий с учётом типа локальной застройки.....	55
2.2	Теоретические исследования влияния ветровых нагрузок при обтекании зданий воздушным потоком по высоте от поверхности земли на качество приточного воздуха	61
2.3	Экспериментальные исследования качества приточного воздуха по высоте зданий от точечных источников.....	66
2.4	Разработка методики прогнозирования вертикального	

	распределения безразмерных концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе с учётом типа локальной застройки от точечных источников.....	74
2.4.1	Эпюры вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе при различных типах локальной застройки от точечных источников.....	76
2.4.2	Построение поверхностей изменения концентраций загрязнителей для прогнозирования качества приточного воздуха зданий от точечных источников.....	80
2.5	Экспериментальные исследования качества приточного воздуха по высоте зданий от передвижных источников (автомагистралей).....	84
2.6	Разработка методики прогнозирования вертикального распределения безразмерных концентраций в приточном воздухе газообразных загрязнителей от автотранспорта с учётом типа локальной застройки.....	90
2.6.1	Эпюры вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе при различных типах локальной застройки от автотранспорта.....	95
2.6.2	Построение поверхностей изменения концентраций загрязнителей для прогнозирования качества приточного воздуха зданий от автомагистралей.....	105
2.7	Сравнение результатов предлагаемой методики расчёта с общепринятыми методиками расчёта вертикального распределения концентраций загрязнителей в приточном воздухе	111
	Выводы по главе 2.....	118
ГЛАВА 3	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПРИТОЧНОМ ВОЗДУХЕ НА КАЧЕСТВО И ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЗДАНИИ	122
3.1	Экспериментальные исследования влияния качества приточного воздуха на качество воздуха в помещении.....	122
3.2	Экспериментальные исследования влияния температурного фактора на концентрацию загрязнителей в помещении.....	138
3.3	Экспериментальные исследования влияния скорости движения приточного воздуха на концентрацию загрязнителей в помещении.....	140
3.4	Экспериментальные исследования влияния влажности приточного воздуха на концентрацию загрязнителей в	

	помещении.....	141
3.5	Зависимости концентраций загрязняющих веществ в помещении от нескольких факторов наружного воздуха	142
	Выводы по главе 3.....	145
ГЛАВА 4	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ОЧИСТКИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ОТ ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ЗДАНИЯХ	147
4.1	Методика экспериментальных исследований вариантов очистки приточного воздуха по высоте зданий	147
4.1.1	Разработка конструкции опытного образца приточных устройств для очистки воздуха.....	149
4.1.2	Описание экспериментальных исследований и вариантов очистки приточного воздуха в помещениях.....	149
4.1.3	Материалы, предназначенные для исследования качества очистки атмосферного воздуха.....	151
4.1.4	Средства измерения для проведения исследований на опытном образце.....	155
4.2	Экспериментальные исследования по оценке влияния сорбентов и катализатора на степень очистки приточного воздуха в помещения.....	159
4.3	Экспериментальное исследование снижения концентраций загрязнителей в приточном воздухе от продолжительности очистки на сорбционных и каталитическом фильтрах.....	163
4.3.1	Экспериментальные исследования расхода приточного воздуха от сопротивления фильтров по мере загрязнения.....	173
4.4	Экспериментальные исследования влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки приточного воздуха в помещения совместно с сорбентами.....	175
4.5	Экспериментальные исследования влияния метеорологических факторов наружного воздуха на процессы очистки приточного воздуха помещений.....	194
4.5.1	Исследования по влиянию температурного фактора.....	194
4.5.2	Исследования влияния скорости движения воздуха.....	198
4.5.3	Исследования по влиянию влажности воздуха.....	201
4.5.4	Зависимости изменения концентраций загрязняющих веществ внутри помещений от нескольких факторов при наиболее эффективном варианте очистки приточного воздуха в помещении.....	208
	Выводы по главе 4.....	215

ГЛАВА 5	РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ КЛАПАНОВ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С ОЧИСТКОЙ ВОЗДУХА И СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПРИТОЧНОМ ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ.....	223
5.1	Описание технических решений конструкции клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха...	223
5.2	Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха и технических характеристик загрузок фильтров	227
5.2.1	Расчёт параметров конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха.....	229
5.2.2	Расчёт технических характеристик загрузок фильтров клапанов системы приточной вентиляции	242
5.2.3	Разработка способа очистки приточного воздуха помещений от газообразных загрязнителей зданий.....	250
5.3	Построение математических моделей изотерм адсорбции газообразных загрязнителей на твердых сорбентах загрузок фильтров приточных устройств при различных температурах наружного воздуха	262
	Выводы по главе 5.....	294
ГЛАВА 6	ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ	296
6.1	Результаты опытных испытаний температурно-влажностного, скоростного режима в помещении при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в тёплый и холодный периоды года.....	296
6.2	Результаты опытных испытаний аэродинамических характеристик клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха.....	304
6.3	Расчёт параметров конвективной неизотермической приточной струи клапанов с очисткой воздуха.....	306
6.4	Расчёт температуры точки росы в помещении при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха.....	307
6.5	Результаты измерений температуры поверхности ограждающих конструкций внутри помещений при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха.....	307
6.6	Описание разработанной программы ЭВМ для сводного расчёта вертикального распределения безразмерных	

	концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий с учётом типа локальной застройки.....	310
6.7	Пример расчёта по разработанной программе ЭВМ для прогнозирования концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий в присутствии точечных источников.....	327
6.8	Пример расчёта по разработанной программе ЭВМ для прогнозирования концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий в присутствии передвижных источников	334
6.9	Внедрение способа очистки приточного воздуха и конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в многоэтажное строительство.....	345
6.10	Описание программы для ЭВМ по расчёту и обоснованию технических характеристик загрузок фильтра и расчёту параметров приточных клапанов для зданий в условиях повышенного загрязнения атмосферы.....	348
6.11	Технико-экономическое обоснование улучшения качества приточного воздуха в зданиях в условиях повышенного загрязнения атмосферы.....	357
	Выводы по главе 6.....	367
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	373
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	380
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результаты экспериментальных исследований. Среднегодовые концентрации загрязнителей в приточном воздухе зданий с 2006-2021 гг.....	428
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Патентная документация.....	448
	ПРИЛОЖЕНИЕ В. Документация, подтверждающая практическое внедрение результатов исследований.....	454

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

Сокращения:

- УФ лампа – ультрафиолетовая лампа;
 УФ – ультрафиолетовое излучение;
 TiO₂ – пластина диоксида титана;
 МРР – методика расчёта рассеивания загрязнителей.

Обозначения:

- $F_{кр}$ – критерий Фишера;
 v_0 – скорость ветра на квартал, м/с;
 G_i – масса выброса загрязняющего вещества, мг/ч;
 l_{ix} – длина квартала, м;
 $L_{зданияу}$ – длина здания, м;
 α – угол направления ветра к застройке, градусы;
 T'_0 – температура выброса, °С;
 γ и γ_a – фактический и адиабатический вертикальные градиенты температуры до высоты застройки;
 g – ускорение силы тяжести, м/с²;
 C_{ds} и C_{dh} – коэффициенты сопротивления поверхности и застройки;
 P – коэффициент плотности застройки;
 b – ширина здания, м;
 η – проницаемость территории;
 $C_{вн}$ – концентрация газообразного загрязнителя внутри здания, мг/м³;
 T – температура воздуха, °С;
 V – скорость воздуха, м/с;
 φ – относительная влажность воздуха, %;
 $\frac{c_i}{c_{max}}$ – отношение концентрации загрязнителя к его максимальной концентрации по высоте здания в наружном воздухе;

a – коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет изменения примеси;

U – скорость перемещения примеси, м/с;

I – интенсивность движения автотранспорта магистрали, авт./ч;

$H_{и}$ – высота источника, м;

H – высота здания, м;

R_i – расстояние от источника до наружной стены здания, м;

R_{max} – расстояние, на котором достигается максимально-приземная концентрация, м;

h_i – высота этажа здания, м;

c_i – концентрация загрязнителя на высоте h_i здания, мг/м³;

c_{max} – максимальная концентрация по высоте здания, мг/м³;

$V_{м,1}$; $V_{м2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах кипения, см³/моль;

M_1 ; M_2 – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль;

p – атмосферное давление, атм.;

Q – расход воздуха, м³/ч;

t – продолжительность очистки воздуха, ч;

c_0 – начальная концентрация загрязняющего вещества, мг/м³;

X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.;

X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.;

ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³;

D – диаметр приточного клапана, м;

ξ – коэффициент сопротивления воздуха;

$G(t)$ – масса сорбента, мг.

Введение

Актуальность темы исследования. В настоящее время в современном строительстве многоэтажных зданий используются клапаны естественной вентиляции по всей высоте здания для увеличения воздухообмена и дополнительного проветривания помещений. При этом возникает проблема подачи приточного воздуха, отвечающего нормативным требованиям качества по всей высоте от поверхности земли и необходимость в местах размещения воздухозаборных устройств его эффективной очистки для зданий, расположенных в городской среде с повышенным загрязнением атмосферного воздуха от внешних источников выброса. Это связано с тем, что наружный воздух многоэтажных жилых, административных зданий крупных городов сильно загрязнен различными газообразными веществами от автотранспорта, котельных малой мощности, в том числе на границах санитарно-защитных зон от точечных источников небольшой высоты выброса над поверхностью земли.

При расчете параметров приточного воздуха зданий и обосновании воздушного режима помещений учитывать степень загрязнения воздушной среды по всей высоте здания достаточно сложно. Исследования вертикального распределения концентраций дисперсных частиц (пыли) в атмосфере проведены многими учёными. Необходимо принимать предварительные проектные решения площадок под строительство зданий с учётом структуры застройки кварталов, определяемой сочетанием градостроительных типологий застройки, получить исходные данные для расчёта параметров приточного воздуха по всей высоте здания для проектирования приточных воздухозаборных устройств, в том числе приточных клапанов систем вентиляции.

В связи с этим актуальным является разработка теоретически и экспериментально обоснованных методов расчёта параметров приточных устройств в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха на основе методик расчёта вертикального распределения концентраций загрязняющих газообразных веществ по высоте зданий с учётом типа локальной застройки

отдельных районов города. Это позволит избежать длительного выполнения расчетов и трудоемких экспериментальных исследований для исходных параметров приточного воздуха, мониторинга загрязнения наружного воздуха по высоте зданий и улучшит качество воздушной среды многоэтажных зданий, которые находятся в эксплуатации, а также вновь проектируемым объектам строительства на территории РФ.

Актуальность работы обусловлена национальным проектом, который реализуется с 2018 года Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ в рамках паспорта проекта «Жильё и городская среда» (утв. от 24.12.2018 г. N 16), затрагивающего вопросы формирования комфортной и безопасной городской среды городов РФ, повышение индекса качества городской среды на 30 %, где первыми критериями являются безопасность, комфорт, экологичность.

Таким образом, разработка и совершенствование приточных устройств системы вентиляции, решение технологических задач приточной вентиляции в зависимости от уровня вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в наружном воздухе по высоте зданий от передвижных и точечных источников выброса с учётом типа локальной застройки, перемещения масс, исследований по высоте теплового, воздушного, влажностного режимов помещений зданий является одним из важнейших факторов обеспечения экологической безопасности воздушной среды в зонах возведения строительных комплексов на границах санитарно-защитных зон промышленных предприятий, вблизи оживлённых магистралей, создания благоприятных условий жизнедеятельности населения и моделирование состояния атмосферного воздуха городской среды, поступающего в здания на территории РФ.

Соответствие паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту научных специальностей 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

(технические науки), п. 2, 4, 5. и 2.1.10 Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки), п. 3, 6:

- научная специальность 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки), в части п. 2. «Технологические задачи теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разработка методов энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений. Очистка и расчет рассеивания загрязняющих веществ от вентиляционных выбросов»; п. 4. «Разработка математических моделей, методов, алгоритмов и компьютерных программ, использование численных методов, с проверкой их адекватности, для расчёта, конструирования и проектирования систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, повышения их надежности и эффективности»; п. 5. «Разработка и развитие экспериментальных методов исследований, анализа и обработки экспериментальных данных, процессов в системах теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума, зданий и сооружений»;

- научная специальность 2.1.10 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства (технические науки), в части п. 3. «Строительная деятельность как экологический средообразующий фактор, формирующий безопасную среду жизнедеятельности человека. Развитие существующих и разработка новых методов обеспечения экологической безопасности различных объектов строительства и городского хозяйства в современных условиях техногенеза», п. 6 «Создание и развитие систем экологического мониторинга состояния городской среды, в том числе в зонах возведения и функционирования технически сложных и уникальных объектов, строительных

комплексов и сооружений, включая чрезвычайные ситуации, возникающие в результате природных катастроф, техногенных аварий и разрушений».

Объект исследования – воздушная среда снаружи и внутри зданий, расположенных вблизи наружных источников выброса.

Предмет исследования – вертикальное загрязнение наружного и внутреннего воздуха зданий в городской среде газообразными загрязнителями в зависимости от температурно-влажностных параметров, скоростного режима воздушной среды.

Для решения данных задач в качестве загрязнителей выбраны оксид углерода (II) от теплоэнергетических объектов, оксид углерода (II) и органические газообразные загрязнители: углеводороды алифатические (C1-C5), формальдегид, фенол от автотранспорта.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в изучение способов очистки приточного воздуха с помощью системы вентиляции для зданий городской среды внесли работы: Власенко В.М., Дацюк Т.А., Кривошеина А.Д., Соловьева С.А., Турутина Н.В., Белоклейцева Г.М., Ильина В.Г., Ливчак В. И. Провадкина Г.Г., Малетина А.А., Ерохина С.Н., Симаненкова С.И., Гладышева Н.Ф., Золотушкина А.А., Сержантова В.Г., Кумпаненко И.В., Лосева В.В., Сазонов Э.В., Шеляпина И.П., Гагарина В.Г., Аверкина А.Г., Васильева Н.П., Романчук Э.В., Замараева Б.К., Дейкун М.М., Ермакова А.И., Довидчук А.Н.; Клапишевского А.С., Цьомык А.М. Баткалова А.Я., Куренкова А.Ю., Могутова В.А., Пяткина С.В.; Трубицына Д.А., Волкова Д.С, Севрюгина С.А., Петрова Е.В, Филиппова Т.Н. , Brevsse, P. A., Challoner, G., Charles O., Francisco PW, Jacobs DE, Targos L, Dixon SL, Breysse J, Rose W, Jones, N. L. Longo, L.D. и другие.

Проблемой изучения качества атмосферного воздуха в городской среде занимались такие учёные как К.М. Антропов, В.Н. Азаров, Э.Ю. Безуглая, Е.А. Владимиров, О.В. Тасейко, Ю.Г. Грачев, М.С. Мягков, Д.Т. Гримсруд, Д. Т. Губернский, Ю. Д. Диденко, В. Г. Зайнишев, А.В. Лобачева, У.И. Мусина, В.Ф. Сидоренко, Т.В. Донцова, Г.В. Шелейховский, М.А. Шерман, Е.Г. Малявина,

А.В. Кузьмичев, А.А. Кузмичев, И.В. Кумпаненко, В.В. Лосев, И.П. Шеляпин, Н.П. Васильев, Э.В. Романчук, Б.К. Замараев, М.М. Дейкун, А.И. Ермаков, А.Н. Довидчук, Д.Е. Хэдлиш, С.А. Чернявский, Sun X.Y., Dai Y.J., Ge T.S., Zhao Y., Wang R.Z., Ballesta P.P., Field R.A., Connolly R., Cao N., Baeza Caracena A., De Saeger E., Chan L.Y., Liu Y.M., Gupta K.N., Rao N.J., Agarwal G.K. и др.

При проектировании устройств и средств очистки приточного воздуха поступающего в многоэтажные здания на сегодняшний день возникает нерешенный вопрос об изучении влияния вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей от наружных источников на выбор и научное обоснование параметров конструкции приточных устройств для защиты качества приточного воздуха системами вентиляции на разной высоте здания, методов расчёта параметров приточных клапанов с очисткой воздуха с учётом типа локальной застройки и степени загрязнения наружного воздуха по высоте зданий, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное обоснование влияния вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей наружного воздуха для проектирования эффективных и безопасных конструкций приточных устройств вентиляции по высоте зданий, создании основ теории их расчёта и внедрения в практику проектирования систем приточной вентиляции для многоэтажного строительства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать опыт исследований по оценке влияния закономерностей вертикального распределения концентраций загрязняющих веществ в наружном воздухе по высоте зданий на выбор способов и защитных средств приточных устройств систем вентиляции от газообразных загрязнителей в городской среде.

2. Теоретически и экспериментально обосновать методики расчёта для прогнозирования вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей от точечных и передвижных источников выброса для учёта степени загрязнения приточного воздуха зданий при разных градостроительных типологиях застройки, изменяемых по величине и по направлению скоростях ветра по высоте зданий внутри застройки.

3. Экспериментально исследовать влияние вертикального распределения концентраций загрязнителей, скорости, температуры, влажности наружного воздуха по высоте зданий на качество воздуха и микроклиматические параметры в помещениях.

4. Провести экспериментальные исследования вариантов очистки приточного воздуха зданий от газообразных загрязнителей с помощью разработанной конструкции устройства клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха помещений по высоте в наружной стене здания; экспериментально исследовать влияние температуры, влажности и скорости наружного воздуха по высоте зданий на процессы очистки приточного воздуха.

5. Теоретически и экспериментально обосновать инженерно-технические методы и способы снижения концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий: конструкцию устройства для очистки приточного воздуха зданий; метод расчета параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха; способ очистки приточного воздуха зданий от газообразных загрязнителей при различных температурно-влажностных и скоростных параметрах воздушной среды.

6. Внедрить в практику проектирования приточных устройств систем вентиляции зданий разработанную конструкцию клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, способ очистки приточного воздуха, метод и алгоритмы расчета параметров устройства с использованием разработанных методик расчета степени вертикального загрязнения воздуха по высоте зданий, с подтверждением эффективности предложенных технических решений на основе опытных испытаний, разработанного программного обеспечения.

Научная новизна работы состоит в том, что:

- впервые установлена зависимость величины интенсивности УФ-излучения с длиной волны 365 нм (6-12 Вт) от расстояния от УФ-ламп до пористой пластины диоксида титана TiO_2 совместно с послойно расположенными сорбентами (шунгит, цеолит) для повышения эффективности очистки приточного воздуха помещений от концентраций загрязнителей: оксида углерода (II), алифатических углеводородов (C1-C5), фенола, формальдегида в клапанах приточной вентиляции зданий;

- теоретически и экспериментально установлена закономерность влияния очередности послойного расположения сорбентов (шунгита, цеолита, силикагеля) и их пропорциональные соотношения масс, для сорбентов определенного фракционного состава в слоях при наличии катализатора (диоксида марганца) на эффективность очистки приточного воздуха помещений зданий от оксида углерода (II), алифатических углеводородов (C1-C5), фенола, формальдегида;

- впервые теоретически и экспериментально разработан метод расчёта параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, позволяющий при расходе воздуха от 55 до 300 м³/ч подобрать технические и физико-химические характеристики загрузок фильтров по высоте зданий;

- теоретически и экспериментально разработан алгоритм расчёта для прогнозирования параметров приточного воздуха, качества воздуха внутри помещений по высоте зданий в режиме проветривания помещений в зависимости от вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей, вертикального распределения ветровых нагрузок, температуры и влажности наружного воздуха;

- теоретически и экспериментально обоснована методика расчёта для прогнозирования вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) по высоте зданий в наружном воздухе от точечных источников выброса, учитывающая вертикальные изменяющиеся по направлению и величине ветровые нагрузки зданий, типологию локальной застройки для выбора мест

воздухозаборных устройств, в которых требуется очистка приточного воздуха, обоснования технологических режимов систем приточной вентиляции;

- теоретически и экспериментально обоснована методика расчёта для прогнозирования вертикального распределения концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических по высоте зданий в наружном воздухе от передвижных источников (автомагистралей), учитывающая вертикальные изменяющиеся по направлению и величине ветровые нагрузки зданий, типологию локальной застройки для выбора мест воздухозаборных устройств, в которых требуется очистка приточного воздуха;

- впервые экспериментально доказана закономерность изменения величины концентраций газообразных загрязнителей передвижных источников в приточном воздухе по высоте здания от градостроительных типологий локальной застройки, вертикального распределения ветровых нагрузок наружного воздуха, времени суток, интенсивности движения магистрали, что даёт возможность проводить мониторинг качества воздуха по высоте зданий для воздухозаборных устройств.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем:

- теоретически и экспериментально обоснована методология определения параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, позволяющая определить при расходах приточного воздуха от 55 до 300 м³/ч технические и физико-химические характеристики загрузок фильтров устройств для различного времени их использования по высоте зданий;

- теоретически и экспериментально обоснована методология прогнозирования вертикального загрязнения газообразными загрязнителями в наружном воздухе по высоте здания в зависимости от вертикального распределения изменяющихся по величине и направлению скоростей ветра наружного воздуха, распределения максимальной концентрации загрязнителей по высоте здания, типа локальной застройки. Это позволит прогнозировать исходные параметры приточного воздуха и проводить мониторинг качества

воздуха по высоте зданий, обосновать необходимость очистки приточного воздуха в местах расположения воздухозаборных устройств на разных высотах для зданий в эксплуатации, при проектировании новых объектов строительства;

- конкретизирован срок службы загрузок фильтров разработанных клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха: сорбентов (шунгит, цеолит, активированный уголь, силикагель) и катализатора (диоксида марганца) на основе полученных эмпирических зависимостей концентраций загрязняющих веществ от времени их очистки;

- построены эпюры и поверхности закономерностей изменения концентраций газообразных загрязнителей от источников выброса (точечных и передвижных) в наружном воздухе по высоте здания, позволяющие поставить долгосрочный прогноз степени вертикального загрязнения зданий в местах возможных воздухозаборов;

- получены поправочные коэффициенты концентраций газообразных загрязнителей, позволяющие учитывать тип локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, смешанная) при расчетах параметров приточного воздуха от точечных и передвижных источников;

- получен долгосрочный прогноз концентраций газообразных загрязнителей внутри проектируемых объектов строительства в режиме проветривания помещений по высоте зданий на основе теоретических и эмпирических зависимостей концентраций загрязнителей от параметров температуры, влажности и скорости движения наружного воздуха;

- разработана конструкция устройства клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в местах размещения воздухозаборных устройств от газообразных загрязнителей: оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида в наружном воздухе по высоте здания (патент на изобретение № 2 744623). Конструкцию клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха можно использовать в строительных организациях при проектировании жилых, административных зданий в местах воздухозаборов по высоте зданий вблизи наружных источников выброса;

- разработан эффективный способ очистки приточного воздуха зданий от оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида, поступающих в помещения от наружных источников выброса, позволяющий повысить в приточных устройствах систем вентиляции качество очистки приточного воздуха до ПДК загрязнителей внутри помещений зданий с эффективностью до 91,18-99,88% (патент на изобретение №2 747863);

- разработаны программы для ЭВМ: расчета и обоснования технических характеристик загрузок фильтров клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха (№2020660657, 09.09.2020); прогноза (расчёта) концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий от точечных или передвижных источников выброса (№2020618133, 20.07.2020); прогноза загрязнения внутри помещений по времени суток от автотранспорта (№ 2022610810 от 29.12.2021); сводного расчёта вертикального распределения безразмерных концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с учётом типа локальной застройки (№2021664849 от 14.09.2021).

Методология и методы диссертационного исследования: комплекс существующих базовых экспериментальных методов по отбору проб воздушной среды внутреннего и наружного воздуха; метод электрохимический; вероятностно-статистические методы обработки результатов экспериментальных исследований наружного и внутреннего воздуха зданий; аналитические зависимости процессов вертикального загрязнения воздушной среды зданий городской среды от факторов наружного воздуха зданий получены с использованием уравнения массопереноса газообразных веществ в течение времени, по уравнению турбулентной диффузии (общему уравнению Гаусса); уравнению газовой динамики по Бюргерсу; математическое моделирование процесса сорбции в конструкции разработанного устройства на границах раздела фаз газ-твёрдое вещество (сорбент) по Фрейндлиху.

Положения, выносимые на защиту:

- зависимость величины интенсивности УФ-А-излучения с длиной волны 365 нм (6-12 Вт) от расстояния от УФ-ламп до пористой пластины диоксида

титана TiO_2 совместно с послойно расположенными сорбентами (шунгитом, цеолитом) для повышения эффективности очистки приточного воздуха помещений до 90,61-97 % от концентраций загрязнителей: оксида углерода (II), алифатических углеводородов (C1-C5), фенола, формальдегида в клапанах приточной вентиляции зданий;

- закономерность влияния очередности послойного расположения сорбентов (шунгита, цеолита, силикагеля) и их пропорциональные соотношения масс, для сорбентов определенного фракционного состава в слоях при наличии катализатора (диоксида марганца) для повышения качества очистки приточного воздуха помещений зданий до 91,18-99,88% от оксида углерода (II), алифатических углеводородов (C1-C5), фенола, формальдегида;

- метод расчёта параметров клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха позволяет при расходах приточного воздуха от 55 до 300 м³/ч подобрать технические и физико-химические характеристики загрузки фильтров устройств с сорбентами (шунгита, цеолита, активированного угля, силикагеля);

- алгоритм расчёта прогнозирования качества наружного и внутреннего воздуха зданий в режиме проветривания помещений определяет параметры приточного воздуха и величину концентраций газообразных загрязнителей в зданиях городской среды в зависимости от вертикального распределения их концентраций по высоте здания в наружном воздухе с учётом типа локальной застройки, метеорологических факторов наружного воздуха;

- техническое решение конструкции клапанов приточной принудительной вентиляции для эффективной очистки воздуха по высоте зданий в местах размещения воздухозаборных устройств с учётом закономерностей вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в наружном воздухе;

- методика расчёта для прогнозирования вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) по высоте зданий в наружном воздухе от точечных источников выброса, позволяющая учитывать вертикальные поля

изменяемых по величине и направлению скоростей ветра, тип локальной застройки, определить место воздухозаборных устройств, в которых требуется очистка приточного воздуха, обосновать технологические режимы систем приточной вентиляции;

- методика расчёта для прогнозирования вертикального распределения концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических по высоте зданий от автомагистралей учитывает вертикальные поля изменяемых по величине и направлению скоростей ветра наружного воздуха, тип локальной застройки; расстояние от магистрали до зданий; величины интенсивности движения автотранспорта, позволяет прогнозировать качество и параметры приточного воздуха в местах воздухозаборов;

- закономерность изменения величины концентраций газообразных загрязнителей передвижных источников в приточном воздухе по высоте здания от градостроительных типологий локальной застройки, вертикального распределения ветровых нагрузок наружного воздуха, времени суток, интенсивности движения магистрали для воздухозаборных устройств.

Личный вклад автора заключается в проведении многолетних экспериментальных исследований в течение 2006-2021 гг.. Личный вклад соискателя состоял в постановке целей и задач исследований, организации и проведении экспериментов (проведено более тысячи замеров проб воздуха, температурно-влажностных и скоростных параметров внутри и снаружи по высоте зданий), разработке опытного образца клапанов приточной вентиляции для теоретического и экспериментального исследования загрязнения воздушной среды зданий, в способе очистки приточного воздуха от газообразных загрязнителей, методах расчёта параметров приточных устройств с очисткой воздуха по высоте зданий, интерпретации и обобщении результатов экспериментальных исследований. Все методы и алгоритмы расчёта реализованы в разработанных автором компьютерных программах, имеющих государственную регистрацию.

Степень достоверности результатов исследования, представленных в работе основных научных положений, сформулированных выводов и разработанных рекомендаций обоснована применением фундаментальных основ теории массопереноса, уравнения турбулентной диффузии, сорбции загрязняющих газообразных веществ в воздушной среде, современного сертифицированного оборудования, а также использованием методик проведения научных исследований с доверительной вероятностью 0,95, получением прогнозируемых результатов в практической реализации.

Апробация. Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение на Международных и Всероссийских научно-практических конференциях, наиболее значимые из них: Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы регионов» (г. Москва, 2010 г.), Международная конференция «Инновационное развитие современной науки» (г. Уфа, 2015 г.), Международная конференция «Современные тенденции в фундаментальных и прикладных исследованиях» (г. Рязань, 2015 г.), Международная научно-практическая конференция «Безопасность в техносфере» (г. Бристоль, Великобритания, 2017 г.), Международная конференция «Проблемы техносферной безопасности» (г. Барнаул, 2018), Международная конференции «Новые технологии - нефтегазовому региону» (г. Тюмень, 2018-2019 гг.), Международная конференция «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» (г. Челябинск, 2019 г.), Международная научно-практическая конференция (г. Москва, 2020 г), Международный фестиваль Архитектуры «Экобрег» (г. Волгоград, 2022 г.). По результатам работы получены награды: диплом и медаль лауреата Всероссийского конкурса «Инженер года – 2016» (исследования), г. Москва, 2017 г., диплом победителя регионального конкурса проектов по номинации «ЧИСТЫЙ ГОРОД» Управления по экологии департамента городского хозяйства администрации г. Тюмени, 2017 г., диплом Международной премии «ECOWORD», 30 ноября, 2017 г., Золотой сертификат 2019 г. Международного конкурса фонда им. В.И. Вернадского, г. Москва,

медаль и областная премия им. В.И Муравленко, выданная Тюменской областной думой, губернатором Тюменской области «За реализацию целевых природоохранных программ и мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности и оздоровление окружающей среды» (Постановление областной Думы от 01.08.2019 г, протокол № 9).

Результаты работы внедрены: при проектировании приточной вентиляции в административных зданиях ООО «Уралмаш НГО Холдинг», ПАО «Сибур ТюменьГаз», жилых многоэтажных зданиях ОАО «Тюменская домостроительная компания» используется разработанная конструкция клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, способ очистки приточного воздуха от газообразных загрязнителей, поступающих в здания. Техничко-экономический эффект от внедрения результатов работы обусловлен повышением качества очистки приточного воздуха при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий. В ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Тюменской области», отделе санитарно-гигиенических исследований (испытательной лаборатории) Роспотребнадзора, ООО «Уралмаш НГО Холдинг», ПАО «Сибур ТюменьГаз» внедрены: программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию, апробированы для прогноза концентраций загрязнителей в наружном воздухе по высоте зданий и обоснования мест воздухозаборов с необходимой очисткой воздуха, мониторинга качества атмосферного воздуха городской среды; разработанные рекомендации используются Управлением по экологии департамента городского хозяйства администрации г. Тюмени. Результаты диссертационной работы включены в план мероприятий согласно Закону «О стратегическом планировании социально-экономического развития Тюменской области» от 06.12.2017 N 94, от 23.03.2018 N 28), что подтверждается присуждением Областной премии им. В.И. Муравленко «За реализацию целевых природоохранных комплексных программ и мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности окружающей среды» (01.08.2019 г, протокол № 9).

Публикации. По материалам диссертации опубликована **81** научная работа, в том числе **6** статей опубликованы в изданиях, входящих в наукометрические базы цитирования: Scopus - **5**, WoS – **1**; **25** статей – в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ, **5** монографий, **6** объектов интеллектуальной собственности: **2** патента на изобретения, **4** авторских свидетельства государственной регистрации на программы для ЭВМ; **39** статей, опубликованных в сборниках Международных и Всероссийских научно-практических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа включает введение, **6** глав, выводы, список литературы и приложения. Общий объём работы составляет **460** страниц, включая **379** страниц основного машинописного текста, включающего **131** таблиц и **145** рисунков, список литературы, состоящий из **450** наименований и изложенный на **47** страницах, а также **3** приложений, изложенных на **32** страницах.

Глава 1. ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ВЫБОР СПОСОБОВ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ СИСТЕМОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ

1.1. Причины поступления газообразных загрязнителей в помещения зданий городских территорий

В природе происходит естественное обновление среды: пыль, токсические газообразные соединения разрушается. В здании практически все способствует их сохранению, накоплению [4,7,8].

Атмосфера у зданий территорий города очень загрязнена разнообразными загрязнителями от транспорта, в том числе котельными небольшой мощности. В мегаполисах сформировалась стабильная тенденция роста передвижных источников [11,12,33,54]. Подобные источники неблагоприятны для качества внутреннего воздуха помещений высотных строений близлежащих территорий. Таким образом, одним из важнейших факторов для формирования качества воздушной среды зданий является уровень загрязнения наружного воздуха внешними источниками выбросов [1,10,52,77,103,104,105,217,232,301,385].

С использованием в настоящее время воздухонепроницаемых строительных материалов и окон с двойным остеклением, устройства и средства защиты качества воздуха зданий в условиях загрязненного атмосферного воздуха от внешних источников приобретают все большее значение. Во многих зданиях городов на территории страны используется естественная вытяжная вентиляция, не позволяющая контролировать уровень загрязнения воздуха в помещениях. Эту проблему изучали такие исследователи, как Г.В. Шелейховский, М.А. Шерман, Е.Г. Малявина, А.В. Кузьмичев и другие [102, 125]. В городских условиях использование устройств защиты качества внутреннего воздуха приведет к ухудшению качества воздуха

высотных зданий, если не учитывать вертикальное распределение концентраций вредных веществ по высоте всего здания [52,77,105,203,108,109,110,111,115,190,124,125,127,207].

В настоящее время количество зданий, оснащенных устройствами и средствами для увеличения воздухообмена внутри помещений, увеличивается, что также приводит к загрязнению воздуха внутри помещений. В этих устройствах и средствах местного и дополнительного забора воздуха здания не предусмотрена очистка от газообразных примесей, а предусмотрен только фильтр от механических примесей, в некоторых случаях предусмотрена только очистка активированным углем в наружной стене здания, при этом тщательное обоснование массы сорбента, высоты его слоев, как долго продлится активность сорбента не проводится, не учитывается концентрация газообразных веществ по высоте строений, тип местной застройки и т.д. [118,122,134,138,142,146,158,166,199,203].

1.2. Существующие методики расчёта рассеивания газообразных загрязнителей от точечных источников

В атмосфере практически каждого промышленного города наблюдается повышенная концентрация загрязняющих веществ, поэтому существует необходимость решения проблемы моделирования и оценки рассеивания загрязняющих частиц в атмосфере от стационарных точечных источников для уменьшения и предотвращения поступления загрязняющих веществ в здания городских районов [8,30,54,63,256,313,314,344,365,411].

Разница между загрязнением, производимым мобильными и стационарными источниками, очень значительна при анализе процессов загрязнения городского воздуха [8,30,54,63,256].

Стационарный источник выброса (точечный источник загрязнения) - это источник, который выбрасывает загрязнители воздуха из установленного отверстия и сосредоточенный в одном месте [30,54,63,256].

Газообразные выбросы промышленных предприятий образуют в атмосферном воздухе аэродисперсные загрязнители, при воздействии турбулентного движения остаются в атмосфере достаточно долго. Спектр загрязняющих веществ зависит от времени жизни конкретного загрязнителя в воздухе, метеорологических условий, направления потоков в атмосфере, осадков, скорости и др. [30,54,63,256].

Загрязнение воздушной среды автомобильным транспортом происходит на небольшой высоте и в основном носит местный характер в отличие от стационарных источников загрязнения [75,116,171].

Наиболее распространенными токсичными веществами, которые загрязняют воздух снаружи вблизи застройки являются: диоксид серы, фенол, монооксид углерода, сажа, оксиды и диоксиды азота, фтористый водород, аммиак, формальдегид и неорганическая пыль [75,116,171].

На сегодняшний день используются разные методы оценки и прогноза степени загрязнения воздушной среды у зданий.

Методы статистические. Связь между состоянием воздушной среды и метеорологическими параметрами, которая определена количественно, изучают статистические методики. Для прогнозирования они являются общими. Всего выделяют три подхода статистических [30,54,256].

Дерево регресса и классификации (CART). Методика основана на использовании программного обеспечения для идентификации переменных, которые тесно связаны с уровнями загрязнения воздушной среды. В первую очередь это метеорологические переменные. Затем эти переменные используются для прогноза уровней загрязнения, которые базируются на данных о текущем состоянии воздушной среды и прогноза метеорологических условий [344].

Анализ регрессионный. Связь между метеорологическими и аэрометрическими переменными и степени загрязнения, которая определена с помощью анализа наборов данных, которые используют статистические

стандартные пакеты анализа. Многофакторное линейное уравнение регресса используется для прогноза степени загрязнения [256].

3-D модели трехмерные. Методики представленные выше имеют много преимуществ, но у них есть один общий минус. Методики предполагают определенную стабильность протекающих процессов и определяют состояние воздуха. Изменение количества выбросов и различные климатические погодные изменения снижают эффективность данных методик. Важно использовать подход детерминированный в прогнозе качества воздуха. 3-D модели состояния воздуха математически представляют все важнейшие процессы, влияющие на уровень загрязнения воздушной среды. Эти модели состоят из подмоделей, взаимодействующие при моделировании загрязнения выброса, переноса и преобразования загрязнения воздуха [256,344].

Примеры подмоделей и модели выбросов. Моделирует пространственное распределение выбросов во времени концентрации загрязняющего вещества и предшествующих выбросов, которые вызваны естественными и антропогенными источниками [30,54,313].

Гауссовой модели алгоритм. Алгоритм является самым распространенным в моделировании анализа загрязнения воздушной среды. В этой модели выделено предположение того, что загрязнитель будет рассеиваться в воздухе по нормальному закону распределения [104, 313].

Гауссовское уравнение обобщенное [104]:

$$\frac{dC}{dt} + U \frac{dC}{dx} = \frac{d}{dy} \left(k_y \frac{dC}{dy} \right) + \left(k_z \frac{dC}{dz} \right) + S, \quad (1.1)$$

где x - координата от источника вдоль ветра; y - координата от источника перпендикулярно направлению ветра; z - координата вертикальная, которая отсчитывается от почвы; $C(x,y,z)$ - концентрация средняя дисперсного вещества при (x, y, z) точки; K_y, K_z - распространение турбулентности по направлениям осей y, z ; U - скорость ветра средняя вдоль оси x .

При использовании этой модели произведены упрощения: концентрации загрязняющих веществ не воздействуют на: разреженный поток (пассивная

дисперсия); малозначительна молекулярная диффузия и продольная диффузия (диффузия вдоль направления ветра); турбулентные потоки являются линейными [104, 313].

Использование вышеприведенного уравнения (1.1) требует учёта определённых предположений [104, 313]:

- выброс постоянный, равномерный;
- постоянные дисперсии и направление ветра;
- по направлению ветра незначительная диффузия по сравнению с вертикальной диффузией и нормальным направлением по направлению ветра;
- почва относительно плоская, нормальные распределения по направлению ветра;
- нет поглощения загрязнителя;
- диффузия по вертикали или по нормали в направлении ветра подчиняются гауссовскому распределению;
- расширенная форма облака; использование среднеквадратичного отклонения предполагает: турбулентность облака однородна по всему объёму [104, 313].

Гауссовскую модель используют для прогноза дисперсии плавучих и постоянных выбросов загрязнения воздуха, которые начинаются от поверхности земли, источников, которые расположены над землей [104].

Гауссовская модель применяется для прогноза дисперсии прерывистых выбросов загрязнения [104,313].

Модели рассеивания описываются факторами турбулентной диффузии в атмосфере и представляются следующей классификацией:

Модели Эйлера, которые позволяют численно решать уравнения атмосферной диффузии. Модели Эйлера не подходят для условий городской застройки [104].

Модели Гауссовы: распределение концентраций обладает как гауссовское в вертикальном и горизонтальном направлениях [104, 313].

Модели Лагранжевы, в них отслеживаются факторы в движущихся воздушных массах, расходуются условные частицы для прогноза процессов рассеивания [103,313];

К моделям загрязнения воздушной среды можно отнести модели полуэмпирические, которые базируются на эмпирических параметрах; модели стохастические с использованием эмпирических относительных показателей; модели рецепторные.

Таким образом, из-за большого количества подходов к моделированию и совокупной классификации моделей рассеивания загрязнителей от точечных источников необходимо решить сложную, но необходимую задачу для прогнозирования величины концентраций загрязнителей в приточном воздухе [30,54,59,63,104,256,313,314,344].

1.3. Использование уравнения переноса газового потока Бюргера для оценки концентраций загрязнителей от передвижных источников

Известно уравнение Бюргера – в частных производных уравнение дифференциальное нелинейное [104,313]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = v \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1.2)$$

где $u(x, t)$ – неизвестная функция; $t \geq 0$; $v > 0$ – параметр.

Является модельным уравнением при исследовании волновых процессов в газовой динамике [104].

Если усложнить уравнение переноса, добавив в него диффузионное слагаемое D [104]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + c(u) \frac{\partial u}{\partial x} = D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1.3)$$

где $u(x, t)$ – неизвестная функция; $t \geq 0$; $v > 0$ – параметр.

Физически это уравнение является хорошей моделью автомобильной пробки [104].

Уравнение переноса описывает явления: перемещение загрязнителей в атмосфере под действием ветра (u – концентрация примеси; c – скорость ветра или допустим u – это поток машин, c – средняя скорость этого потока). Уравнение становится нелинейным и приобретает новые свойства [104, 313].

В связи с этим необходимо проведение численного эксперимента с использованием результатов натуральных исследований и получения полуэмпирических уравнений рассеивания концентраций по высоте у зданий от автотранспортных магистралей высокой интенсивности движения при наиболее неблагоприятной скорости и направлении ветра, разных типологиях местной застройке [30,63,101].

1.4. Необходимость установления закономерностей вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в наружном воздухе зданий с учётом застройки

Исследования вертикального распределения концентраций твердых дисперсных частиц (пыли) в атмосфере проведены многими учёными [1-3]. Но в настоящее время все ещё невозможно объективно принять проектные решения по выбору площадок под строительство с учетом сочетания градостроительных типологий застройки и вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий. Поднимающийся теплый городской воздух замещается воздушными массами, подтекающими с прилегающих территорий. Городской ветер появляется, как правило, в утренний период, когда начинает нагреваться воздушная среда городской территории, и удерживается до полудня – времени минимальной разности температур. Коэффициенты рассеивания над районами выше, чем над незастроенной поверхностью сравнительно спокойного рельефа, так как препятствия в виде зданий на пути потока создают вертикальные и горизонтальные вихри [17, 146], что увеличивает турбулентность воздушной среды. Характер образования воздушных потоков в условиях города очень сложен и зависит не только от плотности застройки, но и высоты зданий,

рельефа местности, ширины улиц, их расположения и других факторов [10, 17, 30,146].

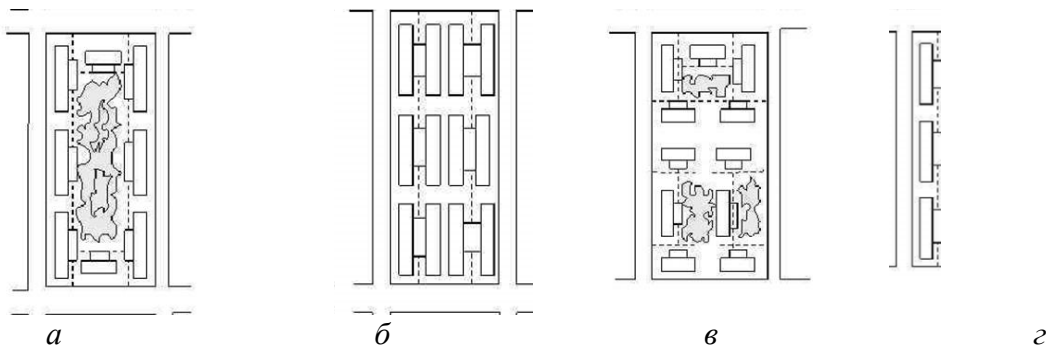


Рисунок 1.1 – Типы локальной застройки: а – периметральная; б – строчная; в – смешанная; г – торцевая

Ветер, встречая на своем пути преграды в виде зданий, оказывает на них давление. Это давление тем больше, чем выше скорость ветра. На одной стороне здания возникает повышенное давление – ветровой подпор, что приводит к скоплению вредных газообразных загрязнителей по наружной стене здания, а с противоположной стороны здания – пониженное давление [10, 17, 30,146].

В связи с этим в условиях города необходимо учитывать и характер взаимного влияния соседних высоких зданий в структуре локальной застройки на движение воздушных потоков над ними. Прежде всего – это относится к образованию зоны аэродинамической тени с наветренной и подветренной стороны от источника выброса, в частности, от автотранспорта [10, 17, 30,146]. На сегодняшний день возникает нерешенный вопрос об изучении влияния вертикального распределения концентраций загрязнителей на качество воздуха внутри здания на различной высоте этажа с учётом типа локальной застройки (рис.1.1), перетекания масс загрязняющих веществ из одного района в другой [10, 17, 30,146].

1.5. Методы и способы очистки приточного воздуха помещений зданий в условиях повышенного загрязнения атмосферы

1.5.1. Методы очистки приточного воздуха от оксида углерода (II)

Применяются на сегодняшний день 2 способа очистки воздуха: от пылевых дисперсных частиц с использованием противопылевых фильтров, от газообразных загрязнителей – с помощью химических и физических методов очистки воздуха. Оксид углерода (II) CO - это газообразное соединение, чтобы его захватить из воздуха необходимо использовать несколько способов. Наиболее доступным и относительно дешевым адсорбентом является уголь активированный, но оксид углерода (II) им не задерживается [162,163,165,170,173,252,255,301,346].

Ряд особенностей катализатора гопкалита не позволяет использовать для очистки воздуха помещений городской среды. Методы каталитические по очистке газов основаны на катализе гетерогенном. Эти методы необходимы для преобразования токсичных веществ в безвредные вещества. Процессы термокаталитические проходят в термокаталитических дожигателях выхлопных газов автомобильного транспорта. В них сжигаются токсичные загрязнители (угарный газ). Затем они окисляются на поверхности катализатора (к примеру платиновой сетки) при воздействии высокой температуры. В современных термокатализаторах полного окисления оксида углерода (II) не происходит. В закрытых помещениях продукты сгорания органического топлива работающего двигателя - это источник повышенной опасности, приводящий к отравлению [252,255,270,301,336,346,442,448].

Способ очистки фотокаталитический включает в себя изменение скорости химических реакций под действием солнечного света в присутствии фотокатализаторов. Фотокатализаторы при поглощении ими

квантов света вызывают превращения химические веществ, участвующих реакции, затем вступают с ними в химические взаимодействия и изменяют свой химический состав после каждого цикла взаимодействий. Сущность фотокатализа состоит в окислении СО на поверхности катализатора (диоксида титана) под действием диапазона А мягкого ультрафиолетового излучения. Максимум эффекта очистки воздуха достигается при длине волны 320 нм. При комнатной температуре химическая реакция протекает и продукты промежуточные реакции не накапливаются на поверхности фильтра: $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ [66,67,68,203].

Известно использование не только УФ – лампы для фотокаталитического окисления оксида титана, но и светодиодной ленты в фотокаталитическом воздухоочистителе трубчатом [66,67,68,203]. В конструкции [203] диоксид титана нанесен на внутреннюю поверхность полый трубки одинакового по всей ее длине сечения (рис. 1.2).

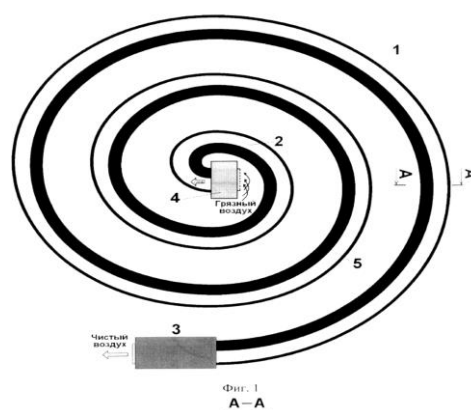


Рисунок 1.2 – Воздухоочиститель фотокаталитический: а – вид сверху; б – формы сечений корпуса: 1 – корпус спиралевидный; 2 – фотокатализатор; 3 – вентилятор-насос; 4 – фильтр пылевой; 5 – лента светодиодная; 6 – ультрафиолетовые светодиодные лампы [203]

Таким образом, коэффициент использования рабочей поверхности воздухоочистителя снижается. При размещении на ленте отдельных светодиодов на некотором расстоянии друг от друга возможно возникновение так называемых «мертвых зон», которые получают относительно малый поток УФ-лучей (рис. 1.1) [203, 37,170,288,293,341].

В настоящее время не изучено подробное использование данных методов, в частности, в системах приточной вентиляции фотокаталитического окисления вредных газообразных веществ (СО и ряда органических веществ (фенол, формальдегид, углеводороды алифатические) за счет диоксида титана и УФ-ламп для очистки воздуха помещений, в очищающих устройствах, расположенных в наружной стене здания, совместно с сорбентами (активированным углем, цеолитом, шунгитом). Не выяснено, какая интенсивность УФ-излучения будет более эффективна в приточных клапанах системы вентиляции при поступлении через них в реальных условиях атмосферного воздуха городской среды. Исследования проводились в реакторах, в лабораторных условиях, атмосферный воздух имеет различную влажность и различную температуру на входе в клапаны принудительной вентиляции в разные сезоны года. Не понятно, на сколько будет эффективно фотокаталитическое окисление в зимний период времени, что требует создания экспериментальной установки, для того чтобы рассмотреть и сравнить все методы в совокупности. В установках с очисткой воздуха используется тонкая пластина диоксида титана, но нет обоснования необходимой мощности ее УФ-излучения, не изучено влияние температурного фактора, влажности наружного воздуха и эффективность очистки при совместном использовании сорбентов (цеолита, шунгита, угля).

Использование сорбентов для очистки воздуха помещений

В решении проблем очистки воздуха от газообразных загрязнителей важную роль играют сорбенты. Это твёрдые тела или жидкости, избирательно сорбирующие из окружающей среды газы, пары или растворённые вещества. Важные твёрдые адсорбенты – оксид алюминия, активированные угли, ионообменные смолы, силикагель, цеолиты

[6,134,158,159,213,122,123,147].

Сорбенты для сорбции газовых примесей из газов в процессах адсорбции и абсорбции. Сорбенты полностью исключают процесс десорбции из-за перепада температур [159,213,122,123,147].

Уголь для воздушных фильтров

Активированный уголь AP-B – вещество с высокими сорбционными и небольшими удерживающими способностями, благодаря чему оно может улавливать пары органических растворителей и неорганических веществ [6].

SAAFOxidан сорбент: сорбирует диоксид серы, оксид азота, формальдегиды, уменьшает концентрацию альдегидов и органических кислот. Сорбент состоит в основном из глинозема (оксида алюминия), с добавлением перманганата калия и прочих загрязнений. Температура использования от - 20 °С до + 51 °С, при относительной влажности от 10% до 95% [6].

SAAFCarb сорбент: сорбирует дизельные пары (диоксид азота), углеводороды, органические соединения. Сорбент состоит преимущественно из активированного угля, с добавлением примесей. Температура использования от - 20 °С до + 51 °С, при относительной влажности от 10% до 95% [6].

SAAFCarb MA сорбент: предназначен для борьбы с коррозией и удаления окислых газов. Сорбент состоит из активированного угля и глинозема, с добавлением примесей. Температура эксплуатации от - 20 °С до + 51 °С, при влажности от 10% до 95% [6].

Известен сорбент [63], который получают смешиванием тонкоизмельченного 100 г портландцемента-500, 100 г опоки Астраханской области с 100 см³ 10%-ного водного раствора поваренной соли и формированием гранул размером от 0,5 см до 5 см в диаметре. Полученную массу после затвердевания помещают в проточную воду и выдерживают до

отрицательной реакции на хлорид-ионы. После высушивания гранулы помещают в 40%-ный водный раствор диэтанолamina на 1 час. Химический состав сорбент, масс. %: CaO - 40,0, SiO₂ - 35,0, Al₂O₃ - 15,0, NH(CH₂)₄OH₂ - 5,0, H₂O - 5,0. Изобретение обеспечивает получение сорбента для эффективной очистки воздуха рабочих зон промышленных предприятий, жилых помещений.

Проведены опыты [63] по очистке наружного воздуха от диоксида углерода, диоксида серы на сорбенте сероводорода. С целью изучения очистки воздуха в емкостях 5 дм создавали с помощью вакуумного насоса небольшое разрежение (остаточное давление $\sim 0,6 \cdot 10^5 \text{Н/м}^2$) и меди с серной кислотой (получали SO₂), по реакции сульфида натрия через специальный патрубок пропускали газы, которые получали по реакции с серной кислотой (получали H₂S) или по реакции карбоната кальция с соляной кислотой (получали CO₂).

Эффективность фильтра АК зависит от режима работы бризера: чем медленнее воздух проходит через фильтр, тем больше времени у молекул осесть на поверхности активированного угля. Эффективность АК фильтра на первой скорости (30 м³/ч) — выше 90%, в режиме Turbo (120 м³/ч) — выше 75%. Эффективность АК-XXL при 30 м³/ч — 99,9%, в режиме Turbo — выше 90%. Весь уличный воздух, поступающий в бризер проходит через несколько фильтров: фильтр грубой очистки, угольный фильтр и HEPA фильтр [63].

Известны экспериментальные исследования о сорбирующих способностях шунгитовой породы от выбросов в воздушную среду [134]. Проводились исследования зарубежными исследователями [134], но полного исследования его сорбции совместно с другими сорбентами не проводилось, не изучалась величина предела сорбции в зависимости от времени и его массы в приточных системах вентиляции [134,158,159,213].

Разновидностью углеродистых сорбентов является

шунгит. Шунгитовый углерод образует в породе матрицу, в которой равномерно распределены высокодисперстные силикаты со средним размером около 1 мкм.

Шунгит содержит углерод (около 34%), кварц (около 47%) и силикатные слюды (около 23%) [158,159,213].

Таблица 1.1 – Шунгит: месторождения Зажогинского (массовое содержание элементов, %) [158,159,213]

Компонент	Химическая формула	Содержание, %
Оксид кремния	SiO ₂	58
Оксид титана	TiO ₂	0,15
Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	3,9
Оксид железа (II)	FeO	2,5
Оксид магния	MgO	1,3
Оксид марганца	MnO	0,18
Оксид кальция	Ca	0,5
Сера	S	1,3
Углерод	C	31,0
Влажность	H ₂ O	1,8

Шунгиты классифицируют на: алюмосиликатной, кремнистой, карбонатовой. Шунгиты распознаются согласно составу доли шунгитового углерода. Шунгитовые породы с силикатной минеральной основой разделяются: малоуглеродистые (до 5%), среднеуглеродистые шунгитистые (от 6 - 26%), высокоуглеродистые (26 - 81%) [158,159,213], табл. 1.1.

Кристаллы разделенного, мелкомолотого шунгита имеют выраженные биполярные свойства. Итогом этого считается высокая степень адгезии, также умение шунгита перемешиваться почти с абсолютно всеми элементами [158,159,213].

У шунгитового углерода имеется несколько слоев фуллереноподобной глобулы (рис. 1.3-1.4). Фуллерены – конфигурация углерода, они существовали в земной коре [158,159,213].

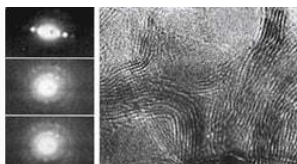
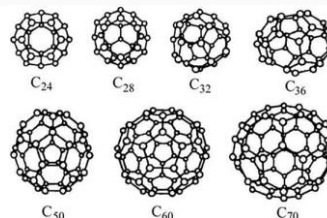


Рисунок 1.3 – Микрофотография шунгитового углерода: нанодифракционная (0,3 - 0,7 нм) [157, 159]



а



б

Рисунок 1.4 – Молекулярная структура фуллерена: а – C₆₀ [157,159]; б – разновидности фуллеренов [157,159]

У фуллеренов имеются реакционные центры, которые приводят к сложному изомерному составу продуктов их взаимодействия вместе с их участием. Это усложняет образование соединений на их основах [157,159].

Количество фуллеренов в шунгите невысокое: от 0,001%. Порода имеет значительную активность в окислительно-восстановительных процессах, обширным диапазоном абсорбционных, каталитических качеств. Вследствие данных свойств сорбент шунгит возможно применять в подготовке хозяйственной и питьевой воды, при различной производительности. Эффективным, а также технологично обоснованным считается использование в фильтрующих системах несколько сорбентов: шунгит вместе с активированным углём, либо вместе с цеолитом. Исследования сорбционной способности шунгита, а также активированного угля, с шунгитом, а также цеолитом с целью захвата газообразных органических, неорганических загрязнителей воздушной среды помещений не проводились [157,159,213].

Шунгит рассматривается как альтернатива сорбционных веществ, с помощью которого возможно легко, выгодно найти решение вопроса очистки не только питьевой воды, но и наружного воздуха зданий, в том

числе приточного воздуха помещений. Общие запасы российского шунгита значительны (43 миллионов тонн), цена низкая по сравнению с подобными сорбентами, что способствует его последующему применению в газоочистке приточного воздуха вблизи зданий [157,159,213].

Известен способ очистки воздуха от СО оксида углерода [182], который включает пропускание воздуха через слой твердого сорбента. Далее через слой катализатора происходит окисление оксида углерода на основе окислов марганца и меди. Этот способ отличается тем, что адсорбент, через который пропускают очищаемый воздух, сначала охлаждают, затем после прохождения катализатора воздух пропускают через подогреваемый адсорбент, после чего изменяют направление воздушного потока на противоположное. С одновременным охлаждением адсорбента на входе воздушного потока, подогревом адсорбента на выходе, данный адсорбент охлаждают и подогревают с помощью термоэлектрических элементов. Термоэлектрические элементы выполняют для изменения направления электрического тока в одно время с изменением направления потока воздуха. Может быть использовано для очистки приточной вентиляции помещений в случае забора воздуха в местах его высокого загрязнения выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания автотранспорта, также салонов и кабин наземного транспорта от оксида углерода [182].

Недостатком этого способа то, что адсорбент нужно подогревать с помощью термоэлектрических элементов, расположенных внутри устройства. Такой способ не повышает эффективность качества очистки приточного воздуха помещений от газообразных органических загрязнителей, требует затрат.

Известен способ очистки газовых выбросов и устройств для его осуществления (рис.1.5) [183]. Изобретение может быть использовано для нейтрализации продуктов сжигания производственных и бытовых отходов,

а также выхлопных газов дизельных или бензиновых двигателей.

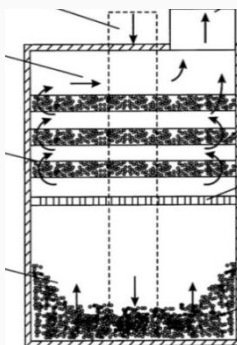


Рисунок 1.5 – Способ и устройство очистки газовых выбросов [183]

Способ очистки газовых выбросов, заключающийся в сорбции и совместном одновременном окислении-восстановлении газов путем последовательного пропускания их через по меньшей мере два слоя сорбентов. Способ отличается тем, что перед процессом окисления-восстановления газов осуществляют предварительную подготовку сорбента. В качестве сорбента используют смесь глауконита и шунгита, путем сорбирования ими из отходов гальванического производства окислов тяжелых металлов в течение не менее 3 ч, насыщенные сорбенты промывают водой от несорбированных окислов металлов, при этом в качестве первого слоя сорбента используют смесь природных глауконита и шунгита, а в качестве второго слоя используют смесь предварительно подготовленных глауконита и шунгита [183].

Недостатком данного способа является то, что необходимо предварительно подготовить сорбент, способ не является достаточно эффективным для очистки воздуха от газообразных органических загрязнителей от автотранспорта.

Известен способ очистки воздуха от токсичных газов, который фильтрует и чистит воздух от газообразных токсичных элементов [184]. Изобретение относится к сорбционно-каталитической очистке воздуха от загрязняющих веществ. Используется для систем очистки от токсичных элементов выхлопных газов автотранспорта. Предложенный способ

очистки воздуха от токсичных элементов, который включает пропускание очищаемого воздуха через фильтр, который улавливает твердые частицы и аэрозоли, через слой сорбента в фильтрующем модуле, через слой окислительно-восстановительного катализатора на базе окислов марганца и меди. Для очистки воздуха от концентраций, значительно превышающими ПДК, выступают окись углерода CO , оксиды азота NO и NO_2 , углеводороды и другие органические соединения, двуокись серы SO_2 , а также аэрозоли и частицы сажи и пыли [184].

Недостаток способа то, что данный способ очистки требует финансовых и энергетических издержек, фильтрующий модуль нагревают до температуры, превышающей температуру окружающего воздуха на величину $5-30^\circ$, неэффективный способ по газообразным загрязнителям, содержащихся в приточном воздухе [184].

Очень близким к разработанному способу очистки воздуха от газообразных веществ - способ очистки воздуха, который описан в исследовании в Казахстане по очистке выхлопных газов автотранспорта с помощью коксуской шунгитистой породы [134]. Способ заключается в пропускании загрязненного воздуха через шунгит. Объектом исследования являлись коксуские шунгиты 2-х типов: карбонатный (ТК) и сланцевый (ТС) различного фракционного состава ($1-2,5$ мм и $3,5-5,0$ мм)), которые представляют собой твердый сырьевой материал черного цвета без специфического запаха, добываемые на территории Казахстана и вырабатываемые ТОО «ГР «Коксу». Исследования выполнены на немодифицированных образцах шунгита различной степени дисперсности, которые обладают незначимой сорбционной способностью, но которые обладают особенными физико-химическими свойствами. Они позволяют результативно очищать газовые выбросы. Установка состояла из насоса-пробоотборника, индикатора, подсоединённого к адсорберу, наполненного шунгитом и тонким слоем колец Рашига, с помощью резинового шланга

малого диаметра. Для экспериментальных исследований были отобраны пробы выхлопных газов автомобилей, заправленных бензином марки Ecoforce A-92 АЗС«Helios». Для изучения способности шунгита удалять газы, при любом опыте засыпались свежие партии образцов шунгитов в различной последовательности. Выявлены соотношения материалов и последовательность их засыпки, оптимальные для достижения наибольшей степени очистки. Измерение процентного содержания газов (CO , CO_2 , H_2S , SO_2 , $\text{NO}+\text{NO}_2$) в структуре выхлопного газа, осуществлялось с помощью аспиратора и индикаторных трубок. Из выхлопной трубы производился отсос выброса с помощью аспиратора (не менее 10 откачиваний). Итоги исследований продемонстрировали, выяснено то, что активнее проявляет себя к анализируемым газам (оксиду углерода (II), диоксиду углерода (IV), диоксиду азота (IV), оксиду азота (II)) карбонатный шунгит. При смеси карбонатный + силикатный шунгит более активна фракция 3,5–5 мм. Эффект очистки воздуха, к примеру, от диоксида углерода в пределах 20,0–100 %. Кроме того, последовательность засыпки слоев, при которых получены самые высокие показатели – карбонатный, далее сланцевый [134].

Недостаток способа то, что эффективность сорбента шунгит от органических газообразных веществ не установлена при малых расходах очищаемого воздуха. Появляется необходимость поиска более оптимального способа снижения концентраций газообразных загрязнителей (оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида) в очищаемом воздухе, поступающего в здания зданий городских территорий [134].

Анализ литературных источников показал о возможности использования шунгитовой породы в качестве сорбента в приточных клапанах при организации системы вентиляции. Кроме того, исследования проводились только напрямую от выхлопной трубы легкого автомобиля на

территории в г. Алмата предприятия ТОО «ГР «Коксу». В настоящее время нет данных, какой необходима быть толщина слоя шунгита в приточном клапане при поступлении наружного воздуха загрязненного выхлопными газами в городской среде после их рассеивания в атмосфере, нет данных как оказывает влияние время сорбции, как оказывает влияние температура на механизм сорбции шунгитовой породы выбросов от автотранспорта размеров концентраций газообразных веществ, рассеянных в атмосфере для зданий, которые находятся на разных расстояниях от магистралей. Требуется исследовать эффективность очистки приточного воздуха вместе с наиболее распространенными сорбентами (активированным углем, цеолитом, силикагелем).

Использование силикагеля в качестве сорбента

Выполнен анализ научно-технической и патентной литературы по способам и оборудованию для сорбционной осушки воздуха, типам сорбирующих материалов и связующих для сорбентов [139,147,157,250].

Перспективным и независимым будет использование сорбентов в 2-х формах: гранулированной и листовой. Значимое внимание уделено выбору ядра для ГСМ-Г и материалов для создания составов связующих; листовой матрицы и гигроскопической добавки для ГСМ-Л. Перспективным представляет собой использование волокнистых органических материалов в качестве листовой ядра и разных полимеров в качестве связующих и гигроскопических добавок для сорбирующих смешанных материалов, которые получены за счет составляющих различной химической природы [118,119,120,147,250].

Разработан технологический механизм получения гранулированных смешанных сорбирующих материалов ГСМ-Г, которые состоят из частиц минерального силикагелевого сорбента диаметром 20 мкм, сформованного с использованием двух типов смешанных связующих: поливиниловый спирт и кремнезоль с соотношением 1:1 по сухим веществам;

поливиниловый спирт и фторопласт с соотношением 4:1 по сухим веществам [118,119,120,147,250].

Установлена вероятность многократного использования: не менее 100 циклов сорбции-десорбции. Выявлена высокая сорбционная емкость ПАК (300%) и низкая быстрота сорбции паров воды из воздуха (6% за первые 180 мин сорбции). Для повышения быстроты сорбции за счет образования пористой системы сорбента, на основании анализа физических, сорбционных и кинетических свойств, в качестве листовой ядра выбран материал из волокон полипарафенилен 1,3,4-оксадиазола (арселоп-1). Разработан технологический механизм получения листового объединённого сорбирующего материала ГСМ-Л из полиакрилата калия, синтезированного из акриловой кислоты и 20% раствора гидроксида калия в соотношении 1:1, нанесенного на органический волокнистый материал на базе полипарафенилен-1,3,4-оксадиазола. Сорбционная способность объединённого материала достигает 55% [139,147].

Мало изучена сорбция сорбента силикагелевого к газообразным веществам неорганическим, содержащимся в воздухе городской среды, проникающего во внутрь помещения по всей его высоте.

Использование катализаторов для очистки воздушной среды от оксида углерода (II)

Для очистки воздуха от СО можно использовать гопталит. Но его использование для очистки наружного воздуха помещений от СО в воздухоочистителях не всегда результативно.

Принцип процесса гопкалитового патрона базируется на каталитическом окислении оксида углерода (II) до диоксида углерода.

Гопкалитовый патрон не обогащает вдыхаемый воздух кислородом, поданному его можно применять в атмосфере, содержащей не менее 17% кислорода (по объему). Гопталит не защищает от органических веществ и дыма [162,163,165].

Его недостаток то, что идет разогрев поступающего в помещение воздуха, нагретого до температуры 65—70 °С, что указывает на наличие в атмосфере существенного количества оксида углерода (II).

Ограничено его использование для очистки воздуха помещений. Гопкалитовый патрон разрешается применять при температуре не ниже 6 °С, при меньшей температуре его защитные свойства утрачиваются. Гопталиты традиционно эффективны в процессах, которые протекают при комнатной температуре.

Диоксид MnO_2 (пиролюзит) - самое распространенное соединение Mn в природе, очень стабильна - модификация минерал пиролюзит. MnO_2 , который получается взаимодействием водных растворов Mn_8O_4 и $KMnO_4$ – окислитель [14].

Изобретение относится к получению контакта для очистки воздуха от монооксида углерода. С целью увеличения активности контакта и уменьшения тепловыделения при очистке он содержит следующие элементы в мас. %: диоксид марганца 14 - 18; деалюминированный на 25 - 27 мас. % морденит остальное [97].

Изобретение относится к способу получения контактов, в частности для очистки воздуха закрытых помещений от примесей токсичных веществ, оксида углерода двухвалентного. Цель изобретения - увеличение активности контакта и снижение тепловыделения при очистке за счет содержания в качестве цеолита деалюминированного до морденита при определенном соотношении элементов, за счет использования при получении контакта водного раствора нитрата марганца и нанесения диоксида марганца на деалюминированный морденит с помощью пропитки при конкретных условиях [97].

Для осуществления эксперимента в лабораторных условиях собрана установка [58]. В лабораторных условиях оксид углерода двухвалентный получали разложением муравьиной кислоты при нагревании с достаточно

сильным водоотнимающим реагентом H_2SO_4 (конц.). Монооксид углерода затем пропускали через катализатор, при этом часть монооксида углерода окислялась до диоксида, а другая часть совместно с диоксидом углерода поглощалась [58].

1.5.2. Методы очистки приточного воздуха от органических газообразных загрязнителей

Фотокаталитическое окисление газообразных органических и неорганических веществ в воздухе

Известен метод очистки воздуха - платинирование диоксида титана фотокаталитическим методом. Данный метод ведет к осаждению платины при различной степени окисления в зависимости от pH раствора и присутствия или отсутствия уксусной кислоты. Частицы платины распределены по поверхности частиц диоксида титана неравномерно и имеют размеры 0,8-8 нм при размерах частиц диоксида титана 50-350 нм [37,170,238,288,293,341,342].

Максимальной фотокаталитической активностью в окислении оксида углерода (II) $CO - Pt(OH)_2/TiO_2$.

Фотокатализаторы состоят из оксидов железа, марганца, ванадия и кадмия.

Образец $ZnFe_2O_4$ был испытан в проточно-циркуляционной установке в окислении CO и ацетона. При концентрации CO 500 ppm, концентрация паров воды вблизи 2400 ppm, квантовый выход окисления CO составил вблизи 0,06%. При испытаниях окисления ацетона квантовая эффективность стала менее 0,1% [37,170].

Известно, что образцы оксидов железа испытаны в проточно-циркуляционной установке и в статическом реакторе. Аморфный оксид марганца испытан в статическом реакторе под полным светом лампы ДРШ-

1000 при окислении этанола. Реакция не зарегистрирована. Испытания в окислении паров ацетона под светом ДКсШ-1000, пропущенные через фильтр, показали небольшую активность, обусловленную скорее всего термической реакцией. Интенсивность света была очень высокой и достаточной для нагрева черной металлической пластины до 60°C [37,288].

Аналогичную активность проявил оксид марганца аморфный, нанесённый на силикагель. Освещение светом ДКсЭл-1000, пропущенным через светофильтр 540 нм, не привело к выделению углекислого газа. Освещение той же лампой через светофильтр, $\lambda < 400$ нм привело к окислению ацетона вследствие термической реакции [37,288].

Оксид ванадия не проявил активности при окислении паров ацетона в проточно-циркуляционной установке даже при освещении полным светом лампы ДКсЭл-1000.

Образцы нанесенного оксида кадмия испытывались в окислении ацетона в статическом реакторе под светом лампы ДРШ-1000. Оксид кадмия как нанесенный на силикагель, так и на гамма-оксид алюминия не проявил фотокаталитической активности.

В работе [37] применялся влажный воздух, так как было важно получить результаты, имеющие отношение к очистке воздуха с помощью фотокаталитического окисления в условиях атмосферы.

Известно, что квантовая эффективность окисления СО практически не зависит от концентрации CO_2 , в пределах концентраций 40-140 ppm, вероятно связано с низкой адсорбционной способностью углекислого газа [37].

Квантовая эффективность окисления СО повышается на практике линейно с температурой в пределах 38-161 °С. Реакция окисления СО не наблюдалась в освещении УФ светом даже при 161 °С. Наблюдаемая энергия активации реакции представляет вблизи 11 кДж/моль. Наблюдаемый подъём быстроты окисления с температурой связан с

адсорбцией воды и угарного газа на активных центрах фотокатализатора TiO_2 .

Квантовой эффективность окисления CO практически не находится в зависимости от интенсивности УФ света в диапазоне от 24 до 218 мВт/см². Таким образом, удельный вес фотогенерированных свободных носителей заряда участвуют в окислении адсорбированного CO . Можно говорить о малой роли такого процесса в данных экспериментальных условиях [36,37].

Проведен анализ трудов популярных российских ученых: Ю.М. Артемьева, А.Г. Возмилова, Л.И. Гаврилова, А.С. Гузенберга, А.Б. Исаева, В.Н. А.Н. Морозова, Пармона, Е.Н. Савинова, А.М. Сайкина, В.И. Слепцова, В.П. Хохрякова В.Д. Черчинцева и других авторов [66,67,203], которые исследовали очистку воздуха от вредных примесей в относительно герметичных помещениях, рассмотрены и проанализированы преимущества и недостатки способов очистки воздуха, в том числе от оксид углерода (II) [66,67]. В жилых помещениях с огромной площадью воздухоочиститель будет не эффективен и мощность светодиодных ламп будет недостаточной для окисления газообразных веществ от внешних источников выбросов.

1.6. Анализ существующих конструкций приточных устройств и способов защиты качества воздуха помещений средствами вентиляции зданий от наружных источников выброса

Одним из главных факторов комфорта в помещениях от внешних источников загрязнения атмосферы является чистый воздух и оптимальная температура [152,264,278,327,344,353,382,404].

Современное строительство предусматривает использование высокоэффективных, энергосберегающих материалов, которые приводят к высокому уровню герметичности зданий и помещений

[32,88,152,264,278,327,344,353,382,404].

Для того чтоб решить проблемы с чистым воздухом, в помещении обустраивают устройства и средства для увеличения воздухообмена, в частности – для естественной или принудительной вентиляции используют так называемые приточные клапаны [32,85,86,88,152].

Задачей приточных устройств в наружной стене здания является обеспечение помещения свежим воздухом, поступающим с улицы. Согласно установленным нормам в час требуется около 30 м³ воздуха. Для того, чтобы обеспечить такое количество, можно и просто проветривать помещение, открывая окно [32,85,86,88,152].

С другой стороны вместе с поступающим воздухом через приточные устройства и в режиме проветривания в помещения зданий могут проникать вредные газообразные органические и неорганические вещества от внешних источников выбросов в городе.

Недостатки конструкций существующих устройств для защиты качества воздуха помещений

Клапан инфильтрации воздуха КИВ-М [85], который включает канал (патрубок), пористый утеплитель, который расположен в патрубке, внутренний вставыш, крепеж, внутренний оголовок, который состоит из регулируемой заслонки, фильтра, декоративной крышки с отверстиями для прохода воздуха, а также наружную решетку. Недостаток клапана, при регулируемом притоке воздуха в помещение отсутствие фильтрации от газообразных примесей: оксид углерода (II), фенол, формальдегид, углеводороды алифатические и др.

Известен клапан приточной вентиляции [87]. Клапан приточной вентиляции включает короб, плотно огибающий раму окна. Та часть короба, что выходит снаружи здания, имеет входное отверстие, в которое определяется фильтр и заборная решетка. Вторая, которая огибает раму окна, часть короба выходит внутрь здания и имеет выходное отверстие.

Недостатком клапана является то, что его конструкция не помогает улучшать уровень качества воздуха внутри помещения, не предусмотрена очистка поступающего воздуха от газообразных примесей в районах с высокой степенью загрязнения воздуха, установка клапана может привести к еще большему загрязнению воздуха внутри помещения от внешних источников выброса в городской среде.

Известно устройство приточной вентиляции [196]. Устройство содержит воздухозаборный патрубок, устанавливаемый в отверстие стены помещения и закрытый с наружного торца решеткой для воздухозабора. Устройство снабжено регулируемой заслонкой и фильтром. Проблемы этого устройства – не рациональный фильтр устройства от газообразных примесей в районах с высокой степенью загрязнения атмосферы.

Известен приточный вентиляционный клапан [152], который предназначен для комфортного проветривания помещений с недостаточным притоком воздуха и который может быть использован в закрытых жилых, административных, общественных, складских, производственных и иных помещениях. Содержит воздуховод из теплошумоизолирующего материала, с расположенным на одном из его концов корпусом с установленным на его внешней стороне с возможностью поворота регулятором воздушного потока, выполненным с окном на боковой поверхности. Корпус выполнен с размещенными по бокам щелями и каналом-воздуховодом с внутренней стороны с обеспечением возможности его совмещения с окном регулятора при повороте регулятора для регуляции величины воздушного потока. Проблемы – невозможность очистки поступающего через клапан воздуха от газообразных примесей. Увеличение воздухообмена в помещении может привести к высокому уровню загрязнения воздуха при установке этого приточного вентиляционного клапана в помещениях, которые находятся в районах с высокой степенью загрязнения наружного воздуха.

Известен клапан приточной вентиляции для бытовых и вспомогательных помещений и установки в наружной стене здания, в частности, для организации вентиляции, который содержит в трубе воздушный канал, теплошумоизоляцию. В воздушном канале расположены 2 воздушные камеры разной длины и различного диаметра, где одна из камер имеет перегородку, а другая в качестве теплошумоизоляции имеет звукопоглощающую вставку (рис. 1.6).

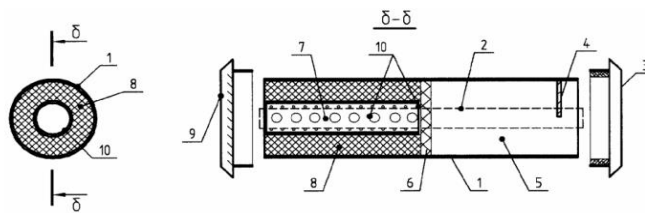


Рисунок 1.6 – Клапан приточной вентиляции для бытовых и вспомогательных помещений: 1 - пластиковая труба, 2 - воздушный канал, 3 - наружная решетка, 4 - перегородка, 5 - воздушная камера, 6 - фильтр, 7 - воздушная камера, 8 - теплошумоизоляционная вставка, 9 - внутренняя жалюзийная решетка [86]

Недостатком данного клапана приточной вентиляции помещений является отсутствие очистки приточного наружного воздуха в помещении от газообразных загрязнителей автотранспорта и точечных источников.

Известно вентиляционное устройство [25]. Данное вентиляционное устройство состоит из воздуховода, выполненного с возможностью установки в сквозном канале, образованном в стене помещения, защитной решетки, выполненной с возможностью установки на одном из концов указанного канала, регулятор воздушного потока, выполненный с возможностью установки на конце сквозного канала со стороны указанного помещения и содержащий регулируемый ограничитель потока, съемный воздухоочистной и теплошумоизолирующую вставку. Вентиляционное устройство обеспечивают воздухообмен в помещениях, защиту от пыли, насекомых, а также снижение уровня воздушного и транспортного шумов, но не очищает воздух от газообразных веществ.

Известен воздухообменный клапан согласно патенту на полезную модель [32]. Клапан состоит из пластиковой трубы с единым воздушным каналом для подачи наружного воздуха в помещение. В канале размещена теплошумоизоляция в виде рукава. Снаружи канал снабжен защитным элементом в виде наружной решетки с мелкой сеткой, который предназначен для защиты от насекомых, тополиного пуха и пр. Внутри помещения воздушный канал закрыт оголовком, который включает заслонку с уплотнительным концом, фильтр и узел регулировки поступающего воздуха. Недостаток воздухообменного клапана - очистка приточного воздуха только от механических загрязнений и мелкодисперсных вредных веществ наружного воздуха.

Известен стенной проветриватель согласно патенту на полезную модель [185]. Разная геометрия вентиляционной щели обеспечивает необходимое распределение потока воздуха, который выходит через вентиляционную щель.

Основным недостатком является то, что вентиляционная щель может привести к загрязнению воздуха помещения газообразными органическими и неорганическими веществами при расположении стенного проветривателя в зданиях в районах с оживленными транспортными магистралями.

Прибор для принудительного проветривания помещений, который монтирует в форточку или в проем во внешней стене здания. Прибор включает: вентилятор, который обеспечивает поступление воздуха внутрь здания, фильтр, который служит для очистки приточного воздуха от вредных загрязняющих веществ, аэрозольных частиц, через который и осуществляется проветривание здания, спиральный электрический нагревательный элемент, который служит для подогрева приточного воздуха, поступающего в помещение при проветривании в холодное время года [151].

Прибор функционирует: при включении проветривания, активатор открывает створки клапана, затем вентилятор начинает всасывать воздух и, прогоняя его через электрический нагревательный элемент и сменный фильтр кассетного типа, подает в помещение, через которые открыты створки клапана [151]. Главным недостатком устройств по очистке воздуха то, такие приборы не могут обеспечить высокий уровень качества очистки воздуха от газообразных неорганических и органических веществ.

Выводы по главе 1

При анализе работ отечественных и зарубежных учёных сделаны следующие выводы:

1. Необходим долгосрочный прогноз вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте всего здания от точечных источников и автотранспорта при проектировании приточных устройств системы вентиляции зданий и для зданий, находящихся в эксплуатации для различного типа локальной застройки.

2. Использование существующих моделей рассеивания газообразных загрязнителей требует учёта и конкретизации вертикального распределения концентраций загрязнителей по высоте каждого этажа здания, высоты всего здания от точечных источников выброса и передвижных (автомагистралей), учёта закономерностей распределения максимальной концентрации по высоте здания, типа локальной застройки, в том числе проведение сводного расчёта с учётом перетекания масс загрязнителей внутри застройки от внешних источников выброса.

3. В настоящее время основным недостатком способов очистки приточного воздуха является то, что существующие способы и средства защиты качества воздуха зданий могут привести к значительному загрязнению воздуха помещений газообразными загрязнителями при расположении их в районах с оживленными транспортными магистралями и другими источниками

выброса. Приточные устройства системы вентиляции имеют недостаточно обоснованный показатель качества очистки воздуха от газообразных органических и неорганических веществ помещений зданий в городской среде, на границах санитарно-защитных зон промышленных предприятий.

4. Нет данных в связи, с чем выбраны определенные физико-химические характеристики природных сорбентов: масса сорбента, высота (толщина) его слоя, время его способности к сорбции к различным загрязнителям наружного воздуха от автотранспорта и точечных источников (котельных малой мощности).

5. Требуется повышение эффективности очистки качества приточного воздуха по высоте каждого этажа здания при комплексном совместном использовании нескольких сорбентов (с шунгитом, активированным углем, цеолитом, силикагелем), а также совместном использовании сорбентов с катализатором - диоксидом марганца (минералом пиролюзит).

6. При выборе и размещении приточных устройств с очисткой воздуха по высоте зданий, в том числе клапанов приточной вентиляции нет методов расчёта параметров данных устройств, позволяющих подобрать, обосновать технические характеристики загрузок фильтров для очистки приточного воздуха по высоте в зависимости от степени его загрязнения.

Таким образом, требуется комплексное экспериментальное и теоретическое обоснование методики прогнозирования вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с учётом типа локальной застройки от точечных источников выброса и автотранспорта для выбора способа и средства защиты качества воздуха в зданиях системами приточной вентиляции.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ С УЧЁТОМ ТИПА ЛОКАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

2.1. Методика проведения экспериментальных исследований качества приточного воздуха зданий с учётом типа локальной застройки

2.1.1. Методика отбора проб в наружном воздухе по высоте зданий от точечных источников с учетом типа локальной застройки

Для того чтобы получить уравнение многофакторной регрессии концентрации оксида углерода (II) от нескольких факторов, оказывающих влияние на качество очистки приточного воздуха от стационарных точечных источников выброса (высота источника, расстояние от источника до здания, высота здания) проведен отбор проб загрязнителя в наружном воздухе по всей высоте зданий в течение 2006-2021 гг. Расчёт концентрации загрязнителей в наружном воздухе по высоте здания, мониторинг качества по всей высоте здания при сдаче объекта строительства провести трудоёмко. В связи с этим требуется прогноз концентрации загрязнителей по всем этажам проектируемых зданий. Это позволит понять требуется ли очистка приточного воздуха в помещения, на какой высоте этажа здания очистка воздуха необходима или нецелесообразна.

Места отбора проб при подфакельных наблюдениях выбраны на разных расстояниях от конкретного источника загрязнения с учётом закономерностей распространения загрязняющих веществ в атмосфере. Отбор проб проводился в зданиях городской среды на расстояниях 50;

100; 200; 300; 400; 500; 600; 800; 1000 м от стационарных точечных источников выброса. Расстояние между точками зависело от ширины факела: по мере удаления от источника оно увеличивалось от 50 до 300–400 м. В случае изменения направления факела высотных источников отбор проб приточного воздуха перемещался в зону влияния факела. Одновременно замерялась скорость ветра (м/с), отмечалось его направление, заносились параметры температуры и влажности наружного воздуха [38,39].

Отбор подфакельных проб приточного воздуха проводился на высоте 1,5 м и до высоты последнего этажа здания.

При проведении натурных исследований измерялась концентрация оксида углерода (II) по высоте от 1,5 до 30–33 м непосредственно перед фасадом зданий при неблагоприятном направлении и скорости ветра от высотных источников. В качестве загрязнителя от стационарных высотных источников выбран оксид углерода (II), так как данный газ является продуктом неполного сгорания всех видов твердых и жидких топлив объектов теплоэнергетики. Точечные источники выбраны по высоте различные по отношению к высоте здания: равной высоте здания, ниже здания в 0,5 раз, выше здания в 1,5 и 2 раза.

В фоновой точке пробы воздуха отбирались с подветренной стороны от источника выброса, одновременно с замерах в приточном воздухе по высоте зданий.

Известно, что высокие концентрации загрязнителей по высоте здания в наружном воздухе от средних и высоких по высоте источников (от 30 до 60 м) отмечаются при скорости ветра от 5 до 6 м/с [113]. В связи с этим для исследования влияния стационарных высотных источников на качество приточного воздуха зданий подфакельный отбор на границе с застройкой проводился при средней скорости ветра (5–6 м/с) от источников высотой от 30 до 60 м и при слабой скорости ветра (1–2 м/с) от источников высотой от 20 м и ниже.

Экспериментальные исследования оценки концентраций газообразных загрязняющих веществ по высоте зданий проведены при различных типах застройки: строчная, торцевая, торцевая под углом, периметральная, смешанная.

Для исследуемых зданий найдены границы размеров аэродинамических теней: наветренной (I) и подветренной (II) (рис.2.1).

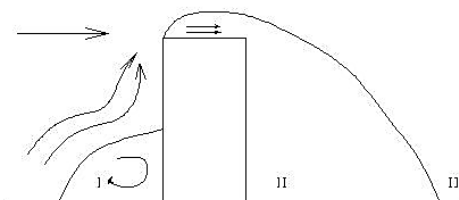


Рисунок 2.1 – Схема аэродинамической тени от здания: I – наветренная тень; II – подветренная тень; III – за пределами тени

Отбор проб воздушной среды от анализируемых источников выброса проводился по высоте здания (по высоте каждого этажа) с учётом размеров аэродинамической тени от него (рис.2.1), что позволило зафиксировать концентрации загрязняющих веществ в местах образования вторичных рециркуляционных течений воздуха, способствующих скоплению высоких концентраций загрязняющих газообразных веществ. Также это позволило понять процент концентраций загрязняющих веществ с подветренной стороны зданий по отношению к наветренной стороне здания и ввести поправочный коэффициент учёта типа локальной застройки.

Для проведения экспериментальных исследований требовались самые неблагоприятные метеорологические условия при отборе проб: направление ветров от 0 до 180° от точечных источников, направление ветра на здание. Одновременно измерялись фоновые концентрации. Средние суточные концентрации определялись по результатам отбора проб в 7,13,19,1 ч.

Измерялись концентрации газообразных загрязнителей в наружном воздухе по высоте зданий от источников газоанализатором testo 341 для оксида углерода (II). Выбраны здания при различном типе локальной

застройки (рис.2.2) (строчная, периметральная, торцевая, смешанная) с учетом аэродинамических теней от зданий (рис.2.2).

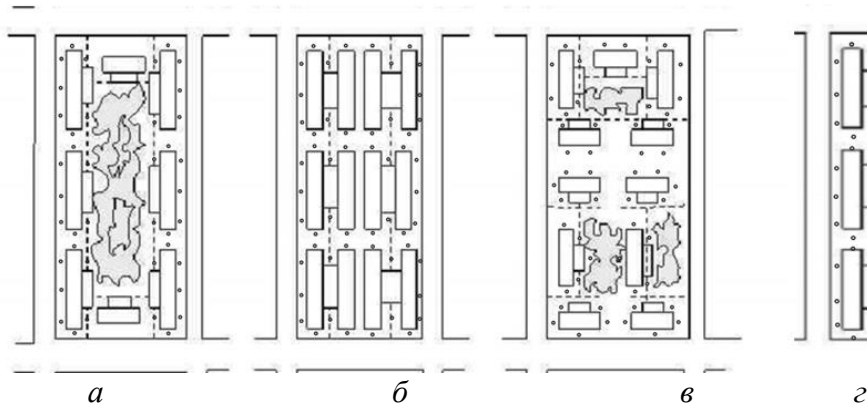


Рисунок 2.2 – Точки отбора проб при различных типах локальной застройки, выбранные для экспериментальных исследований: а – периметральная; б – строчная; в – смешанная; г – торцевая

Одновременно измерялась концентрация загрязнителей внутри помещений на каждом этаже здания, при двух режимах: при плотно закрытых оконных конструкциях и при режиме проветривания (окно полностью открыто).

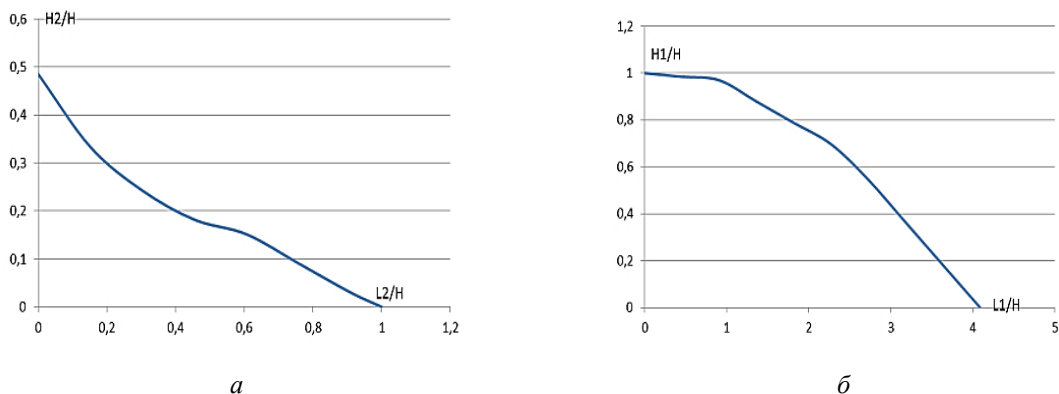


Рисунок 2.3 – Границы наветренной тени (а) и подветренной тени (б) от здания: L_2 – протяженность тени, м; H_2 – высота тени, м; L_1 – протяженность тени, м; H_1 – высота тени, м; H – высота здания, м

Все замеры проведены с учетом рассчитанных зон подветренной тени, зон наветренной тени или зон подпора. Представлены расчётные безразмерные размеры границ ветровых теней для выбранных многоэтажных зданий (рис.2.3).

2.1.2. Методика отбора проб в атмосферном воздухе по высоте зданий от передвижных источников с учётом типа локальной застройки

Для того чтобы получить уравнение многофакторной регрессии концентраций газообразных загрязнителей от автотранспорта в приточном воздухе от нескольких факторов (интенсивности движения магистрали, расстояния от магистрали до здания, высоты здания) проведён отбор проб загрязнителей в наружном воздухе (Приложение А) по всей высоте здания в течение 2006-2021 гг.

Многолетние экспериментальные исследования закономерностей вертикального распределения концентраций загрязнителей по высоте зданий при различных типах локальной застройки проведены с 2006 по 2021 гг. Отбор проб от передвижных источников проводился с 6 до 13 ч или с 14 до 21 ч. В ночное время – 1,2 раза в неделю. Одновременно экспериментально замерялась скорость ветра (м/с) и отмечалось ее направление. Точки исследования, выбранные для отбора проб – здания, находящиеся на расстоянии 30; 50; 100 м от магистралей с различной интенсивностью движения автотранспорта: до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; 2000-3000 авт./ч.

Пробы отбирались вблизи зданий, точки взяты на расстоянии не менее 0,5 м от их наружной стены. Отбор проводился со стороны магистрали, с наветренной и подветренной сторон зданий от источника. Для проведения экспериментальных исследований требовались самые неблагоприятные метеорологические условия при отборе проб: направление ветров от 0 до 180° от магистралей, направление ветра на здание. Одновременно измерялись фоновые концентрации. Средние суточные концентрации по результатам отбора проб в 7,13,19,1 ч.

Замеры в атмосферном воздухе по высоте зданий проводились с помощью сертифицированного оборудования на каждом этаже здания до высоты последнего этажа. Измерялись концентрации газообразных загрязнителей в наружном воздухе от автотранспорта: оксид углерода (II),

фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5). Выбирались здания при различном типе локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, смешанная) с учётом аэродинамических теней от зданий (рис.2.4). Выбор загрязнителей для исследования обоснован тем, что по результатам многих исследований концентрации таких газообразных веществ в наружном воздухе сохраняются при высокой влажности, резко увеличиваются при температурных инверсиях воздушной среды внутри локальной застройки [12,14].

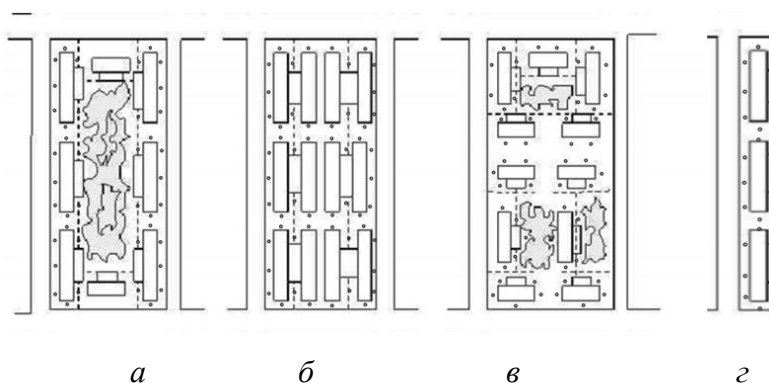


Рисунок 2.4 – Точки отбора проб при различных типах локальной застройки, выбранные для экспериментальных исследований: а – периметральная; б – строчная; в – смешанная; г – торцевая

Одновременно измерялась концентрация загрязнителей внутри помещений на каждом этаже здания, при двух режимах: при плотно закрытых оконных конструкциях, при режиме проветривания (окно полностью открыто). Измерялись экспериментально температура, влажность и скорость наружного и внутреннего воздуха зданий.

Все замеры проведены с учётом рассчитанных зон подветренной тени, зон наветренной тени или зон подпора, что представлено в п.2.1.1., на рис.2.3.

2.1.3. Средства измерения концентраций загрязнителей в воздушной среде

Для выезда на объекты и анализа источника воздействия использовались следующие вспомогательные приборы и средства измерения: секундомер – для измерения времени отбора проб окружающей среды, крыльчатый анемометр-адаптер АТТ–1000 для

измерения скорости потока воздуха (диапазон 0,8...25 м/с; аналоговый выход 0...200 мВ, габариты 100x50x25 мм, диаметр крыльчатки 72 мм), термогигрометр ТКА-ПКМ – для измерения температуры и относительной влажности воздуха.

В качестве рабочих приборов выбраны газоанализаторы АНКАТ 7631-0,1Н и Палладий-3М. Принцип работы газоанализаторов – электрохимический. Для отбора проб органических веществ от автотранспорта использовался прибор ГАНК-4 .

Применяемые приборы подвергались обязательному государственному метрологическому испытанию, подтверждаемым сертификатом Росстандарта. Приборы проходили поверку не реже 1 раза в год.

Газоанализаторы необходимы для автоматического измерения концентрации загрязнителей в наружном и внутреннем воздухе зданий.

Для оценки периодических замеров найдено минимально возможное число измерений параметров, общее количество проб составило не менее 50 в каждой точке [207,208].

2.2. Теоретические исследования влияния ветровых нагрузок при обтекании зданий воздушным потоком по высоте от поверхности земли на качество приточного воздуха

Рассмотрен вектор скорости \vec{V}_l за время Δt . Скорость ветра на квартал равна v_0 отличается от скорости ветра на высоте h_{i_z} от поверхности земли у здания от V_i до V_n внутри квартала до высоты всего здания H .

Величина скорости ветра наружного воздуха зависит по высоте от поверхности земли вблизи зданий от типа локальной застройки: торцевая, торцевая под углом, смешанная, строчная, периметральная. Вектор скорости \vec{V}_l за время Δt проходит расстояние l длины квартала от источника выброса, проекция вектора скорости в трех ортогональных

системах координат имеет вертикальную и горизонтальную составляющую. В качестве исходного уравнения для полученная скорости на высоте V_i вблизи здания выбрано уравнение Тасейко О.В.:

$$V_i = V_t + \frac{l}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

где V_t – термическая составляющая скорости ветра, м/с; $\frac{l}{\Delta t}$ – динамическая составляющая скорости ветра, зависящая от турбулентности воздушного потока, м/с.

Представлена динамическая составляющая вектора скорости с учётом застройки при разных направлениях вектора скорости к застройке квартала (рис. 2.5). Получены аналитические зависимости проекции вектора вертикальной составляющей скорости ветра и горизонтальной скорости ветра в трехмерной системе координат с учётом застройки квартала, направления вектора скорости к застройке под углом α от 10 до 180 градусов и расстояния l в квартале, которое проходит газообразный загрязнитель в застройке:

$$V_i = \frac{h_{i_z}}{\sin\alpha\Delta t} + \frac{l_{ix}}{\cos\alpha\Delta t} + \frac{L_{зданияу}}{\sin\alpha\Delta t} + \frac{g}{T} [(T'_0 - T) - [(\gamma - \gamma_a)h_c] \cdot t, \quad (2.2)$$

где h_{i_z} – высота от поверхности земли у здания, м; l_{ix} – длина локальной застройки квартала, м; $L_{зданияу}$ – длина здания, м; α – угол направления ветра к застройке (от 0 до 180), в градусах; T'_0 – температура выброса, °С; T – температура окружающего воздуха у земной поверхности, °С; γ и γ_a – фактический и адиабатический вертикальные градиенты температуры до высоты застройки; g – ускорение силы тяжести, м/с²; h_c – высота подъема примеси, м; t – время подъема примеси до высоты h_{i_z} , с.

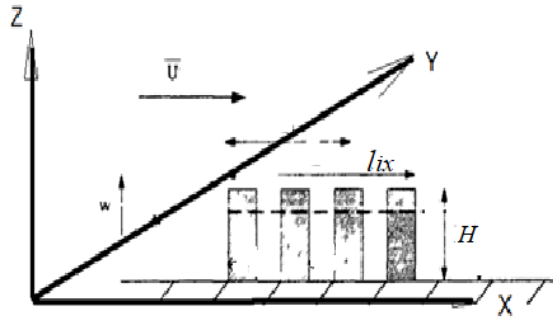


Рисунок 2.5 – Вектор скорости ветра \vec{V} в локальной застройке по высоте зданий:
 l_{ix} – длина локальной застройки квартала, м; H – высота здания, м

С учетом рассмотрения уравнения массопереноса газообразного вещества (2.3) в течение изменяющегося времени t и скоростей ветра V_i по высоте от поверхности земли h_{iz} , получено уравнение (2.4) концентрации i - газообразной примеси от скоростей вблизи здания u, v, ω по высоте:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial c_0}{\partial t_0} + (u \cdot \frac{\partial c}{\partial z}) + (v \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + \omega \cdot \frac{\partial c}{\partial y}) + \frac{\partial (\frac{q}{T} [(T'_0 - T) - (\gamma - \gamma_a) \cdot h_c] \cdot t)}{\partial t}, \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial c_0}{\partial t_0} + \left(\frac{h_{iz}}{\sin \alpha \cdot \Delta t} \cdot \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{l_{ix}}{\cos \alpha \cdot \Delta t} \cdot \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{L_{зданияу}}{\sin \alpha \cdot \Delta t} \cdot \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial (\frac{q}{T} [(T'_0 - T) - (\gamma - \gamma_a) \cdot h_c] \cdot t)}{\partial t}, \quad (2.4)$$

где u, v, ω – изменяющиеся скорости ветра вблизи зданий по высоте, выраженные как проекции векторов на три ортогональные оси с учётом направления ветров α к застройке, м/с.

Горизонтальная и вертикальная составляющие скоростей ветра принимают различные значения в зависимости от угла направления α ветров к застройке. Получено уравнение (2.6) концентрации i - газообразного загрязнителя в приточном воздухе $C_i(t)$ по высоте здания с учётом застройки, скорости ветра на застройку v_0 , изменяющихся скоростей u, v, ω вблизи зданий по высоте, выраженных как проекции векторов на три ортогональные оси с учетом направления ветров α к застройке, используя уравнение (2.4), уравнения безразмерных концентраций газообразных загрязнителей от магистралей (2.18)-(2.21), коэффициент проницаемости территории по Бакланову k_f . Подставлена скорость ветра v_0 на застройку с учетом k_f коэффициента проницаемости:

$$v_0 = \frac{u}{(1-k_f)} = \frac{G_i \cdot t}{l_{ix} \cdot (1 - \sqrt{c_{ds} + 0,5 \cdot c_{dh} \cdot (1-\eta) \cdot P \cdot \frac{\Sigma H}{b}})}, \quad (2.5)$$

$$C_i(t) = \frac{0,169 \cdot T_0^3 \cdot \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot (H - h_i)}{p \cdot \left(V_{M,1}^{\frac{1}{3}} + V_{M,2}^{\frac{1}{3}}\right)^2 \cdot H^2} + \frac{0,198 \cdot G_i \cdot (H - h_i) \cdot t}{H^2 \cdot \cos \alpha \cdot l_{ix} \cdot (1 - \sqrt{c_{ds} + 0,5 \cdot c_{dh} \cdot (1-\eta) \cdot P \cdot \frac{\Sigma H}{b}})} + \left(\frac{h_{iz}}{\sin \alpha \cdot \Delta t} \cdot \frac{0,392 \cdot D \cdot (H - h_i)}{H^3} + \frac{l_{ix}}{\cos \alpha \cdot \Delta t} \cdot \frac{0,109 \cdot D \cdot (R_{max} - R_i)}{R_{max}^3} + \frac{L_{зданияу}}{\sin \alpha \cdot \Delta t} \cdot \frac{0,392 \cdot D}{H^3}\right) + \frac{g}{T} \cdot [(T'_0 - T) - [(\gamma - \gamma_a) \cdot h_c]], \quad (2.6)$$

где v_0 – скорость ветра на квартал, м/с; R_{max} – максимальное расстояние от магистрали до зданий, на котором обнаружена концентрация i -загрязняющего вещества, м; R_i – расстояние от магистрали до здания, м; H – высота здания, м; T – температура окружающего воздуха у земной поверхности на высоте h_i , °С; $V_{M,1}; V_{M,2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах, см³/моль; $M_1; M_2$ – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p – атмосферное давление, атм.; D – коэффициент турбулентной диффузии, м²/с; h_i – высота от поверхности земли у здания, м; G_i – масса выброса загрязняющего вещества, мг/ч; l_{ix} – длина квартала, м; $L_{зданияу}$ – длина здания, м; α – угол направления ветра к застройке (от 0 до 180), в градусах; T'_0 – температура выброса, °С; γ и γ_a – фактический и адиабатический вертикальные градиенты температуры до высоты застройки; g – ускорение силы тяжести, м/с²; h_c – высота подъема примеси, м; t – время подъема примеси до высоты h_i , с; c_{ds} и c_{dh} – коэффициенты сопротивления поверхности и застройки; P – коэффициент плотности застройки; b – ширина здания, м; η – проницаемость территории.

По полученным уравнениям (2.1)-(2.6) проведён расчёт и установлены закономерности вертикального распределения ветрового давления по высоте зданий в приточном воздухе (рис. 2.6-2.7.).

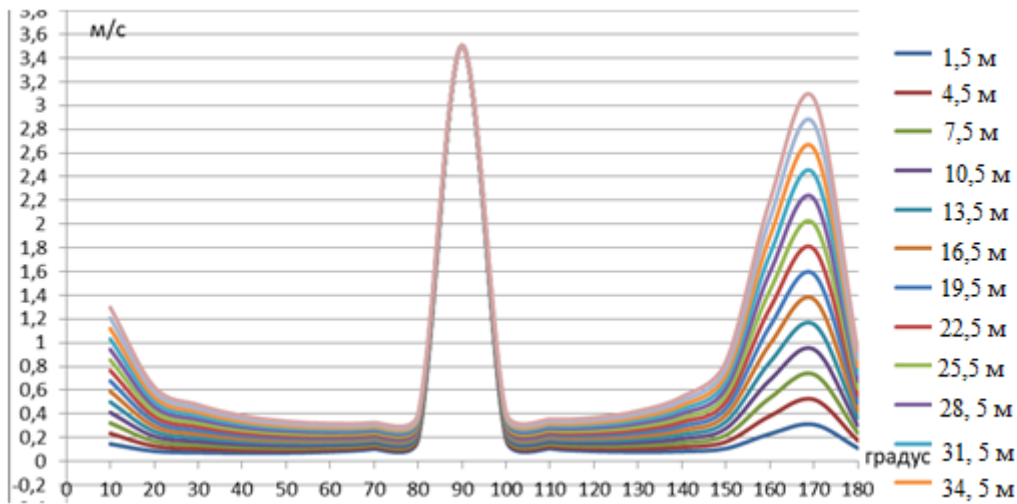


Рисунок 2.6 – Поля скоростей воздушного потока по высоте от поверхности земли от 1,5 до 34,5 м при периметральной застройке и различных направлениях ветра в градусах

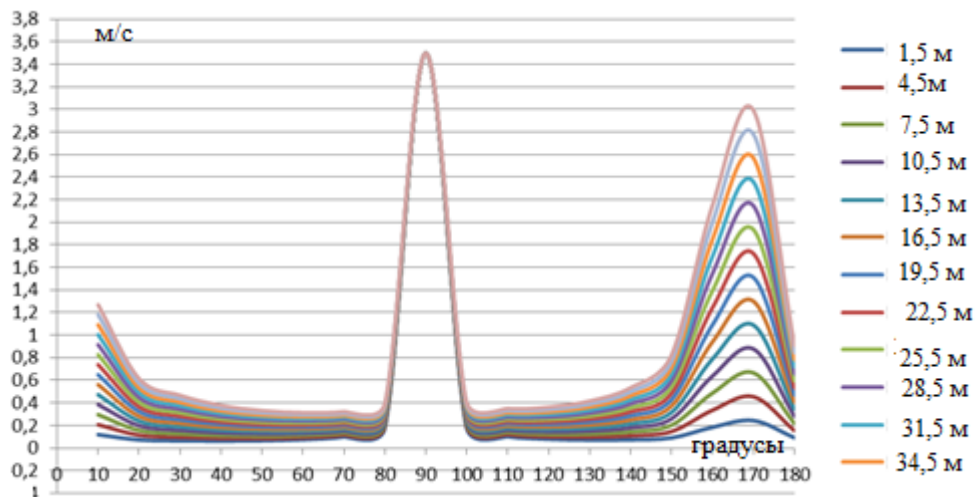


Рисунок 2.7 – Поля скоростей ветра по высоте от поверхности земли от 1,5 до 34,5 м при смешанной застройке и различных направлениях ветра в градусах

Скорость ветра наружного воздуха по высоте зданий внутри локальной застройки максимальна при направлениях ветра от 80 до 100 градусов к застройке, возрастает на 50 % при ветре 150 до 170 градусов как при периметральном, там и при смешанном типах застройки (рис.2.6-2.7). Минимальные скорости ветра, заниженные на 80 % отмечаются при направлениях от 10 до 70 градусов к застройке. Понижение скорости ветра воздушных масс при 10 до 70 градусов и от 110 до 150 градусов к застройке до 0,8-0,2 м/с отмечается на уровне нижних этажей от 1,5 до 15 метров по высоте зданий при всех типах застройки, что будет

способствовать образованию застойных зон и турбулизации воздушного потока и как следствие повышению степени загрязнённости приточного воздуха газообразными примесями по высоте зданий.

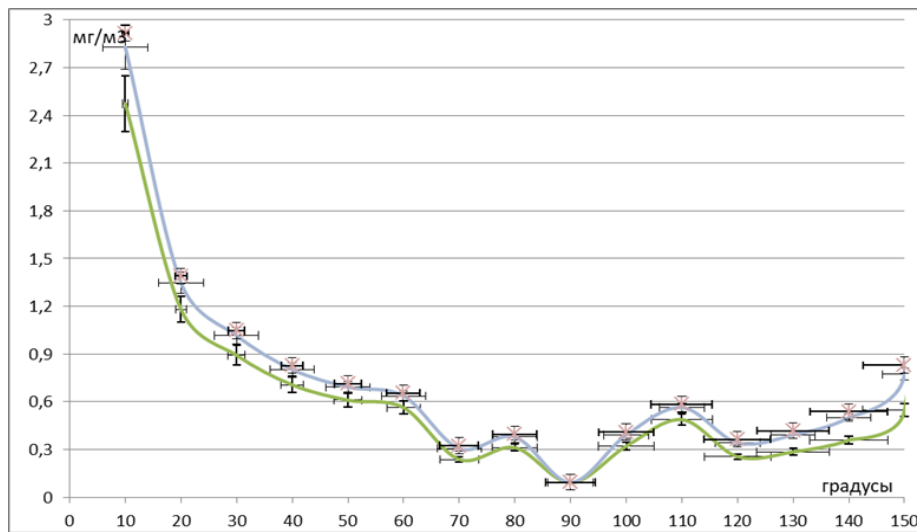


Рисунок 2.8 – Концентрации оксида углерода (II) по высоте от поверхности земли 10 м при различных направлениях ветра к застройке по экспериментальным данным (сиреневый цвет) и полученным уравнениям (зелёный цвет)

Расчёт степени загрязнения приточного воздуха зданий по высоте зданий (рис.2.8.) по полученным уравнениям (2.1)-(2.6) и результаты опытных данных отличаются не более 5-6%.

2.3. Экспериментальные исследования качества приточного воздуха по высоте зданий от точечных источников

Получено уравнение множественной регрессии (2.11) зависимости качества наружного воздуха от параметров внешних источников загрязнения атмосферного воздуха для точечных источников выброса разной высоты.

Для того чтобы понять, на какой высоте здания необходима очистка приточного воздуха, необходимо знать прогноз изменения величины концентраций вредных примесей по высоте здания в наружном воздухе. С 2006-2021 гг. проведены экспериментальные многолетние исследования по высоте зданий в наружном воздухе от источников разной высоты по отношению к зданию: $H_{и}=H$; $H_{и}=0,5H$; $H_{и}=2H$.

На концентрацию газообразных примесей по высоте здания в наружном

воздухе от высотных источников (труб котельных) оказывают влияние следующие факторы: высота источника ($H_{и}$), м; высота здания (H), м; высота от поверхности земли (h_i), м; расстояние от устья трубы до здания (R_i), м.

По полученным уравнениям построены поверхности, которые позволяют определить величину концентрации оксида углерода (II) CO в наружном воздухе при различных исходных данных рассматриваемых факторов.

Необходимо уравнение многофакторной регрессии, которое позволит рассчитать или спрогнозировать качество наружного воздуха при любых значениях независимых факторов, влияющих на концентрацию загрязнителя в приточном воздухе. Уравнение многофакторной регрессии получено для величины концентрации оксида углерода (II) CO от высоты источника ($H_{и}$), высоты здания (H), высоты от поверхности земли (h_i), расстояния от устья трубы до здания (R_i).

Данное уравнение (2.11) можно использовать при проектировании вновь строящихся зданий, для того чтобы определить, на какой высоте необходима очистка воздуха в приточных клапанах, монтируемых в наружной стене здания, определить, на какой высоте здания очистка воздуха нецелесообразна, что значительно снизит затраты на приобретение средств защиты качества воздуха системами приточной вентиляции зданий.

Уравнение множественной регрессии представлено в виде [63,89,208]:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon, \quad (2.7)$$

где $X = X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ - вектор независимых (объясняющих) переменных; β - вектор параметров (подлежащих определению); ε - случайная ошибка (отклонение); Y - зависимая (объясняемая) переменная.

Эмпирическое уравнение множественной регрессии представим в виде [63]:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m + e, \quad (2.8)$$

где b_0, b_1, \dots, b_m - оценки теоретических значений $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ коэффициентов регрессии (эмпирические коэффициенты регрессии); e - оценка отклонения ε .

Таблица 2.1 – Факторы, влияющие на концентрацию газообразного загрязнителя оксида углерода (II) по высоте фасада здания в наружном воздухе от высотных источников

$X_1 (H_1)$ высота источника, м	$X_2 (H)$ высота здания, м	$X_3(R_i)$ расстояние от источника до здания, м	$X_4(h_i)$, высота от поверхности земли, м
------------------------------------	-------------------------------	---	---

Таблица 2.2 – Оценка уровня регрессии

1	20	20	200	2
1	20	20	200	15
1	20	20	200	20
1	20	20	200	30
1	20	20	200	40
1	25	25	200	2
1	25	25	200	15
1	25	25	200	20
1	25	25	200	30
1	25	25	200	40
1	30	30	200	2
1	30	30	200	15
1	30	30	200	20
1	30	30	200	30
1	30	30	200	40
1	15	15	100	2
1	15	15	100	15
1	15	15	100	20
1	15	15	100	30
1	15	15	100	40
1	20	20	100	2
1	20	20	100	15
1	20	20	100	20
1	20	20	100	30
1	20	20	100	40
1	25	25	100	2
1	25	25	100	15
1	25	25	100	20
1	25	25	100	30
1	25	25	100	40
1	30	30	100	2
1	30	30	100	15
1	30	30	100	20
1	30	30	100	30
1	30	30	100	40
1	15	15	200	2
1	15	15	200	15
1	15	15	200	20
1	15	15	200	30
1	15	15	200	40
1	15	30	100	40
1	15	30	200	6
1	15	30	50	40
1	15	30	30	20
1	15	30	100	6
1	15	30	100	40
1	30	15	100	40
1	30	15	200	20
1	30	15	300	20
1	30	15	400	40
1	30	15	500	30

Таблица 2.3 – Матрица Y

2.6
6.3
7.1
6
2.5
3.1
7.4
7.9
6.9
2.9
2.6
7
7.5
6.5
2.7
3.1
7.3
7.5
6.5
3
3
7.6
8.1
6.7
2.9
3.4
7.9
8.3
6.9
3
9
8.5
9.4
8
4
2.1
5.5
6
5.4
2.5
2
4.3
1.5
3.8
4.5
2
7.5
5.4
5.5
3
2.5

Таблица 2.4 – Умножение матрицы, ($X^T X$)

51	1140	1155	8080	1158
1140	27350	26450	188700	26040
1155	26450	28025	174900	26070
8080	188700	174900	1623400	185800
1158	26040	26070	185800	35204

Уравнение регрессии (оценка уравнения регрессии):

$$Y = 5,667 + 0,207X_1 - 0,099X_2 - 0,0125X_3 - 0,037X_4, \quad (2.9)$$

где Y - высота источника ($H_{и}$), м; X_1 - высота здания (H), м; X_3 - высота от поверхности земли (h_1), м; X_4 - расстояние от устья трубы до здания (R_i), м.

Число наблюдений $n = 51$. Матрица, независимых переменных X имеет размерность (51 x 6).

Таблица 2.5 – Матрица A , составленная из Y и X

1	2	3	4	5	6
1	2.6	20	20	200	2
1	6.3	20	20	200	15
1	7.1	20	20	200	20
1	6	20	20	200	30
1	2.5	20	20	200	40
1	3.1	25	25	200	2
1	7.4	25	25	200	15
1	7.9	25	25	200	20
1	6.9	25	25	200	30
1	2.9	25	25	200	40
1	2.6	30	30	200	2
1	7	30	30	200	15
1	7.5	30	30	200	20
1	6.5	30	30	200	30
1	2.7	30	30	200	40
1	3.1	15	15	100	2
1	7.3	15	15	100	15
1	7.5	15	15	100	20
1	6.5	15	15	100	30
1	3	15	15	100	40
1	3	20	20	100	2
1	7.6	20	20	100	15
1	8.1	20	20	100	20
1	6.7	20	20	100	30
1	2.9	20	20	100	40
1	3.4	25	25	100	2
1	7.9	25	25	100	15
1	8.3	25	25	100	20
1	6.9	25	25	100	30
1	3	25	25	100	40
1	9	30	30	100	2
1	8.5	30	30	100	15
1	9.4	30	30	100	20
1	8	30	30	100	30
1	4	30	30	100	40
1	2.1	15	15	200	2
1	5.5	15	15	200	15
1	6	15	15	200	20
1	5.4	15	15	200	30
1	2.5	15	15	200	40
1	2	15	30	100	40
1	4.3	15	30	200	6
1	1.5	15	30	50	40
1	3.8	15	30	30	20
1	4.5	15	30	100	6

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6
1	2	15	30	100	40
1	7.5	30	15	100	40
1	5.4	30	15	200	20
1	5.5	30	15	300	20
1	3	30	15	400	40
1	2.5	30	15	500	30

Таблица 2.6 – Матрица $X^T X$:

ь	266.6	1140	1155	8080	1158
266.6	1661.02	6176.5	6089.5	40339	5745.1
1140	6176.5	27350	26450	188700	26040
1155	6089.5	26450	28025	174900	26070
8080	40339	188700	174900	1623400	185800
1158	5745.1	26040	26070	185800	35204

Таблица 2.7 – Полученная матрица имеет следующее соответствие:

$\sum n$	$\sum y$	$\sum x_1$	$\sum x_2$	$\sum x_3$	$\sum x_4$
$\sum y$	$\sum y^2$	$\sum x_1 y$	$\sum x_2 y$	$\sum x_3 y$	$\sum x_4 y$
$\sum x_1$	$\sum y x_1$	$\sum x_1^2$	$\sum x_2 x_1$	$\sum x_3 x_1$	$\sum x_4 x_1$
$\sum x_2$	$\sum y x_2$	$\sum x_1 x_2$	$\sum x_2^2$	$\sum x_3 x_2$	$\sum x_4 x_2$
$\sum x_3$	$\sum y x_3$	$\sum x_1 x_3$	$\sum x_2 x_3$	$\sum x_3^2$	$\sum x_4 x_3$
$\sum x_4$	$\sum y x_4$	$\sum x_1 x_4$	$\sum x_2 x_4$	$\sum x_3 x_4$	$\sum x_4^2$

Таблица 2.8 – Парные коэффициенты корреляции

R_{YX1}	R_{YX2}	R_{YX3}	R_{YX4}	R_{x1X2}	R_{x1X3}	R_{x1X4}	R_{x2X3}	R_{x2X4}	R_{x3X4}
0,307	0,0733	0,198	0,2	0,339	0,319	0,0381	0,319	0,0381	0,0422

Таблица 2.9 – Расчет по признакам суммарный

Признаки x и y	$\sum x_i$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\sum y_i$	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	$\sum x_i \cdot y_i$	$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n}$
Для y и x_1	1140	22.353	266.6	5.227	6176.5	121.108
Для y и x_2	1155	22.647	266.6	5.227	6089.5	119.402
Для y и x_3	8080	158.431	266.6	5.227	40339	790.961
Для y и x_4	1158	22.706	266.6	5.227	5745.1	112.649
Для x_1 и x_2	1155	22.647	1140	22.353	26450	518.627
Для x_1 и x_3	8080	158.431	1140	22.353	188700	3700
Для x_1 и x_4	1158	22.706	1140	22.353	26040	510.588
Для x_2 и x_3	8080	158.431	1155	22.647	174900	3429.412
Для x_2 и x_4	1158	22.706	1155	22.647	26070	511.176
Для x_3 и x_4	1158	22.706	8080	158.431	185800	3643.137

Число наблюдений $n = 51$.

Таблица 2.10 – Дисперсии и среднеквадратические отклонения

Признаки x и y	$D(x) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2$	$D(y) = \frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2$	$s(x) = \sqrt{D(x)}$	Ошибка отклонения
1	2	3	4	5
Для y и x_1	36.621	5.243	6.051	2.29
Для y и x_2	36.621	5.243	6.051	2.29
Для y и x_3	6730.873	5.243	82.042	2.29
Для y и x_4	174.717	5.243	13.218	2.29
Для x_1 и x_2	36.621	36.621	6.051	6.051

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5
Для x_1 и x_3	6730.873	36.621	82.042	6.051
Для x_1 и x_4	174.717	36.621	13.218	6.051
Для x_2 и x_3	6730.873	36.621	82.042	6.051
Для x_2 и x_4	174.717	36.621	13.218	6.051
Для x_3 и x_4	174.717	6730.873	13.218	82.042

Определены доверительные интервалы коэффициентов регрессии, которые с надежностью 95% будут следующими: b_0 : $(5.667 - 2.009 \cdot 1.571 ; 5.667 + 2.009 \cdot 1.571) = (2.51; 8.824)$; b_1 : $(0.207 - 2.009 \cdot 0.0574 ; 0.207 + 2.009 \cdot 0.0574) = (0.092; 0.323)$; b_2 : $(-0.0997 - 2.009 \cdot 0.0574 ; -0.0997 + 2.009 \cdot 0.0574) = (-0.215; 0.0156)$; b_3 : $(-0.0125 - 2.009 \cdot 0.0042 ; -0.0125 + 2.009 \cdot 0.0042) = (-0.021; -0.00408)$; b_4 : $(-0.0367 - 2.009 \cdot 0.0217 ; -0.0367 + 2.009 \cdot 0.0217) = (-0.0803; 0.00696)$.

Проверка общего качества уравнения множественной регрессии

Для ее проверки использован F-критерий Фишера. По таблицам распределения Фишера-Снедекора найдено критическое значение F-критерия ($F_{кр}$). $R^2=0,2803$.

Если $F < F_{кр} = F_{\alpha ; n-m-1}$, то нет оснований для отклонения гипотезы H_0 . $F=4,478$. Табличное значение при степенях свободы $k_1 = 4$ и $k_2 = n-m-1 = 51 - 4 - 1 = 46$, $F_{кр}(4;46) = 2,53$. Поскольку фактическое значение $F > F_{кр}$, то коэффициент детерминации статистически значим и уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты b_i совместно значимы).

В результате расчетов получено уравнение множественной регрессии влияния на концентрацию оксида углерода (II) нескольких факторов:

$$C_i = 5,667 + 0,207N_{и} - 0,099N - 0,013R - 0,037h_i, \quad (2.10)$$

где C_i – концентрация загрязнителя в наружном воздухе, мг/м³; X_1 ($N_{и}$) – высота источника, м; X_2 (N) – высота здания, м; X_3 (R_i) – расстояние от источника до здания, м; X_4 (h_i) – высота от поверхности земли, м.

Увеличение $N_{и}$ на 1 ед.изм. приводит к увеличению C в среднем на 0,207 ед.изм.; увеличение N на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на 0,0997 ед.изм.; увеличение R на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем

на 0,0125 ед.изм.; увеличение h на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на 0,0367 ед.изм. По максимальному коэффициенту $\beta_1=0,548$ делаем вывод, что наибольшее влияние на результат C оказывает фактор $H_{и}$ – высота точечного источника выброса над поверхностью земли, м.

В результате планирования эксперимента и на основании многолетних исследований с 2006-2021 гг. получено уравнение множественной регрессии (2.11) для расчёта концентрации оксида углерода (II) от высотных точечных источников выброса (от котельных, объектов теплоэнергетики малой мощности) на высоте h_i от уровня земли:

$$C = 5,667 + 0,207 \cdot H_{и} - 0,099 \cdot H - 0,013 \cdot R_i - 0,037 \cdot h_i - 0,207 \cdot H_{и} \cdot H + 0,043 \cdot H_{и}^2, \quad (2.11)$$

где $H_{и}$ – высота источника, м; H – высота здания, м; R_i – расстояние от источника до здания, м; h_i – высота от поверхности земли, м.

Переменные $H_{и} \cdot R_i$; $H_{и} \cdot h_i$; $H \cdot R_i$; $h_i \cdot H$, $R_i \cdot h_i$; H^2 ; R_i^2 ; h_i^2 не являются значимыми, так как $|t| < t(0,05; 46)$, все остальные – значимые $|t| > t(0,05; 46)$ (критерий Стьюдента $t(0,05; 46)=2,030$). Уравнение регрессии статистически надежно, с надежностью 95%. Критерий Фишера $F_{кр}=2,53$. Фактическое значение $F(4,478) > F_{кр}$.

Преобразуем все параметры в правой и левой части зависимости в безразмерном виде, для того чтобы уравнение носило универсальный характер для любого типа застройки:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = 5,568 + 0,207 \cdot \frac{H_{и}}{H} - 0,013 \cdot \frac{R_i}{R_{max}} - 0,037 \cdot \frac{h_i}{H} - 0,207 \cdot \frac{H_{и}}{H} + 0,043 \cdot \frac{H_{и}^2}{H^2}, \quad (2.12)$$

где $H_{и}$ – высота источника, м; H – высота здания, м; R_i – расстояние от источника до наружной стены здания, м; R_{max} – расстояние, на котором достигается максимально-приземная концентрация, м; h_i – высота этажа здания, м; c_i – концентрация загрязнителя на высоте h_i здания, $мг/м^3$; c_{max} – максимальная концентрация по высоте здания, $мг/м^3$.

2.4. Разработка методики прогнозирования вертикального распределения безразмерных концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе с учётом типа локальной застройки от точечных источников

На основании многолетних исследований по отбору проб воздуха по высоте зданий с 2006-2021 гг., подставляем зависимость концентрации загрязнителя СО по высоте каждого этажа здания от точечных источников выброса, используя уравнение (2.13) турбулентной диффузии (уравнение Гаусса) [104]:

$$\frac{\partial\left(\frac{c_i}{c_{max}}\right)}{\partial t} + U \frac{\partial\left(\frac{c_i}{c_{max}}\right)}{\partial\left(\frac{R_i}{R_{max}}\right)} = \frac{d}{d\left(\frac{H_i}{H}\right)} k_{ни} \frac{\partial\left(\frac{c_i}{c_{max}}\right)}{\partial\left(\frac{H_i}{H}\right)} + k_{hi} \frac{\partial\left(\frac{c_i}{c_{max}}\right)}{\partial\left(\frac{h_i}{H}\right)} + \frac{ac_i}{c_{max}}, \quad (2.13)$$

где a – коэффициент, определяющий изменение концентрации за счет изменения примеси; U – скорость перемещения примеси, м/с; $k_{\frac{hi}{H}}$ – составляющая коэффициента обмена; t – время, ч; H_i – высота источника, м; H – высота здания, м; R_i – расстояние от источника до наружной стены здания, м; R_{max} – расстояние, на котором достигается максимально-приземная концентрация, м; h_i – высота этажа здания, м; c_i – концентрация загрязнителя на высоте h_i здания, мг/м³; c_{max} – максимальная концентрация по высоте здания, мг/м³.

Так как примесь оксид углерода (II) устойчивая в атмосфере принимаем $a=1$. В связи с тем, что примесь сохраняется в атмосфере, то изменения концентраций СО со временем в атмосферном воздухе носит квазистационарный характер, то $\frac{\partial\left(\frac{c_i}{c_{max}}\right)}{\partial t} = 0$.

После математических преобразований уравнения (2.13) турбулентной диффузии с заданными граничными условиями по осям: X (от 0 до $R_i/R_{max}=1$), Y (от $H_i/H=0,5$ до $H_i/H=2$), Z (от $h_i/H=0,1$ до $h_i/H=1$), где R_i – это расстояние от магистрали до здания, м; R_{max} – максимальное расстояние, на котором обнаружена концентрация i -загрязнителя; H_i – высота источника, м; H – высота здания, м; h_i – высота этажа здания, м, получаем уравнение для расчёта вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей $\frac{c_i}{c_{max}}$ в

приточном воздухе по высоте здания (2.14) с учётом высоты каждого этажа здания (h_i), высоты здания (H), характеристик точечного источника выброса и подставляя коэффициент диффузии по методу Гиллеленда [104]:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = -U \cdot \frac{0,130(R_{max}-R_i)}{R_{max}^2} + \frac{0,400 \cdot T^{3/2}}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2} \cdot \left(\frac{M_1+M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{1/2} \cdot \left[\frac{0,415 \cdot (H^2 - H \cdot H_{и})}{H^4} - \frac{0,037 \cdot (H - h_i)}{H^2}\right], \quad (2.14)$$

где $H_{и}$ – высота источника, м; H – высота здания, м; R_i – расстояние от источника до наружной стены здания, м; R_{max} – расстояние, на котором достигается максимально-приземная концентрация, м; h_i – высота этажа здания, м; c_i – концентрация загрязнителя на высоте h_i здания, мг/м³; c_{max} – максимальная концентрация по высоте здания, мг/м³; U – скорость перемещения газообразной примеси, м/с; T – температура воздуха, К; $V_{M,1}$ и $V_{M,2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах кипения, см³/моль; $M_1; M_2$ – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p – атмосферное давление, атм.

Уравнение вертикального распределения концентраций (2.14) позволяет определить высоту этажа, где $\frac{c_i}{c_{max}} = 1$, концентрация газообразного загрязняющего вещества максимальная.

Входящими параметрами методики прогнозирования качества вертикального распределения концентраций в приточном воздухе от точечного источника являются: расстояние от источника до здания R_i , м; высота здания H , м; высота источника $H_{и}$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_{и}/H$. Метеорологические факторы (зимний и летний периоды): скорость ветра (U), м/с; температура, в Кельвинах; давление, мм.рт.ст. (атм.); роза ветров, по основным румбам (среднегодовые параметры), %: для зимнего и летнего периодов года для городов по данным центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; тип локальной застройки: периметральная; торцевая; строчная; торцевая под углом; смешанная.

Для расчета эффекта суммации от нескольких источников выброса в атмосферу с наветренной стороны здания учитываем суммацию безразмерных

концентраций газообразных загрязняющих веществ в приточном воздухе по формуле (2.15) к максимальной концентрации по высоте H здания:

$$\frac{C_i(\text{источник№1})}{C_{\max}} + \frac{C_i(\text{источник№2})}{C_{\max}} + \dots \dots \frac{C_i(\text{источник№}n)}{C_{\max}} \leq \frac{C_i}{C_{\text{пдк}}}, \quad (2.15)$$

где C_i – концентрация i -газообразного загрязняющего вещества по высоте здания (h_i) обладающего эффектом суммации, мг/м^3 ; C_{\max} – максимальная концентрация по высоте здания H , мг/м^3 ; $\frac{C_i}{C_{\text{пдк}}}$ – предельно-допустимая безразмерная концентрация i -газообразного загрязняющего вещества.

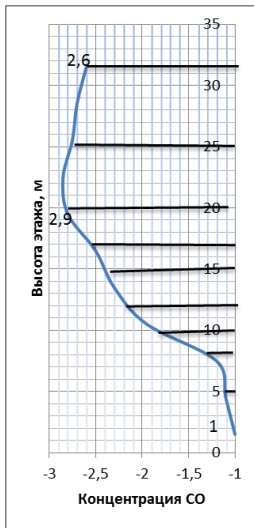
Таблица 2.11 – Поправочные коэффициенты для расчёта концентрации СО (мг/м^3) по высоте зданий в приточном воздухе от точечных источников выброса, работающих на природном газе с наветренной (I) и подветренной (II) сторон зданий

$H_{\text{и}}/H$	торцевая		строчная		периметральная		торцевая под углом		смешанная	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2,5	0,570	0,513	0,320	0,220	0,950	0,765	0,560	0,460	0,768	0,668
2	0,667	0,601	0,445	0,345	0,960	0,829	0,677	0,577	0,667	0,567
1,5	0,827	0,744	0,556	0,456	0,980	0,904	0,744	0,644	0,556	0,456
1	0,974	0,877	0,667	0,567	0,990	0,977	0,650	0,550	0,445	0,345
0,5	0,999	0,967	0,768	0,668	1,0	0,989	0,541	0,441	0,321	0,221

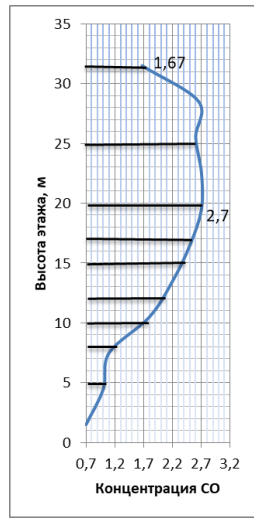
Для учёта типа застройки от точечных источников выброса получены поправочные коэффициенты, учитывающие тип локальной застройки для концентраций загрязняющих веществ в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон здания, где $H_{\text{и}}$ – высота источника, м; H – высота здания, м (табл.2.11).

2.4.1. Эпюры вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе при различных типах локальной застройки от точечных источников

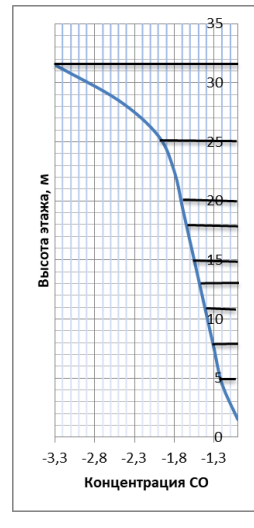
По результатам экспериментальных исследований построены эпюры вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) СО по высоте зданий при различных типах локальной застройки с наветренной и подветренной сторон зданий от точечных источников выброса разной высоты: $H_{\text{и}}=2H$; $H_{\text{и}}=0,5H$; $H_{\text{и}}=H$ (рис.2.8-2.10), расстояние от здания $10H_{\text{и}}$.



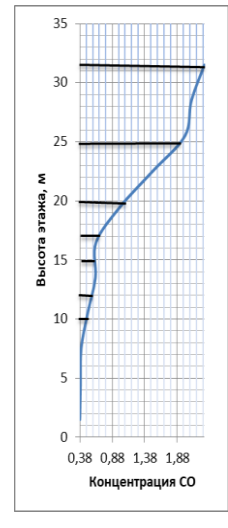
а: наветренная
 $H_c=2H$ (строчная застройка)



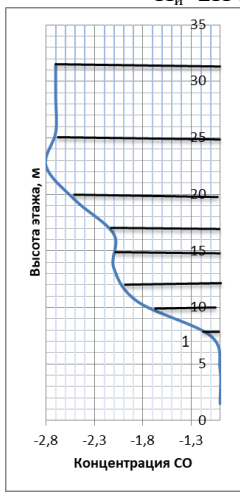
б: подветренная



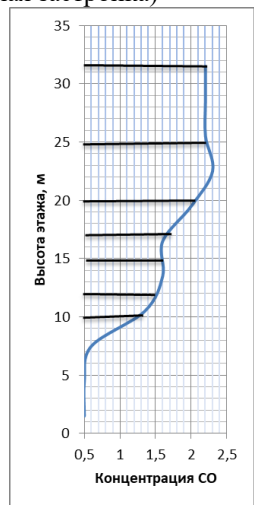
в: наветренная
 $H_c=2H$ (торцевая застройка)



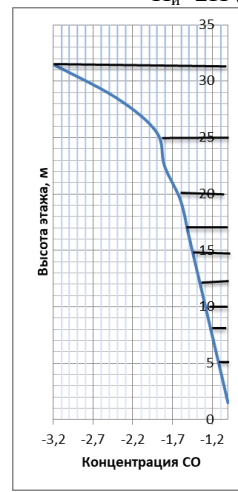
г: подветренная
 $H_c=2H$ (торцевая застройка)



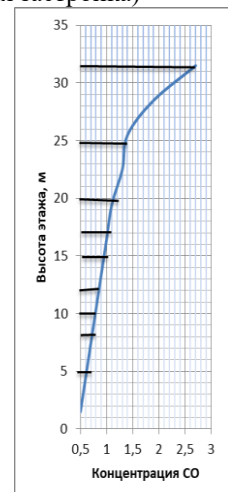
д: наветренная
 $H_c=2H$ (смешанная застройка)



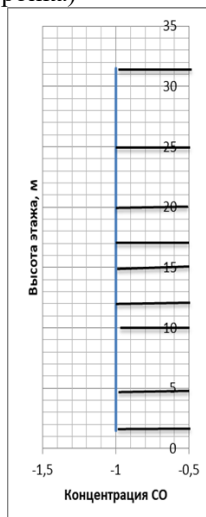
е: подветренная



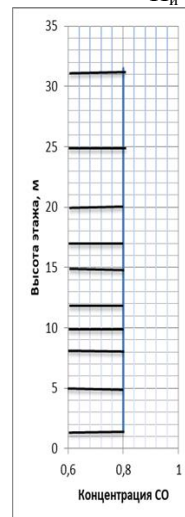
ж: наветренная
 $H_c=2H$ (торцевая под углом)



з: подветренная
 $H_c=2H$ (торцевая под углом)

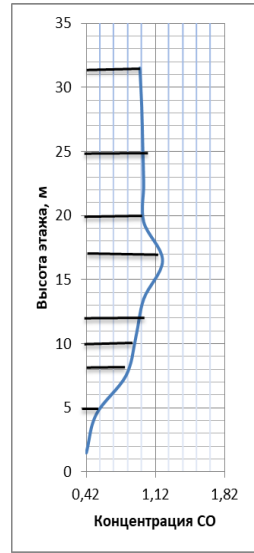
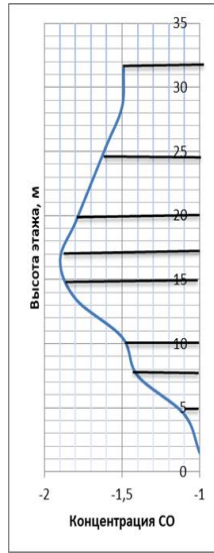
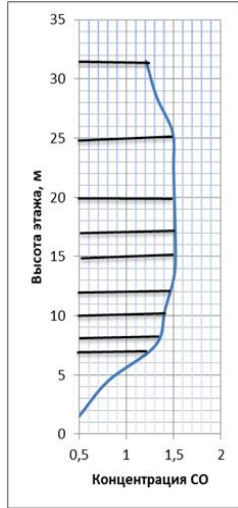
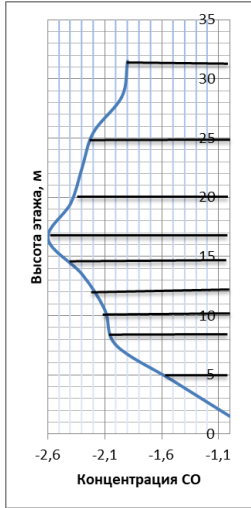


и: наветренная
 $H_c=2H$ (периметральная застройка)



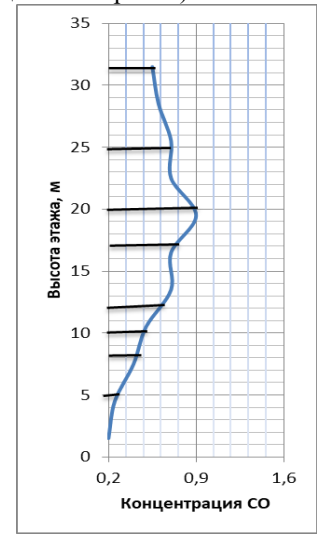
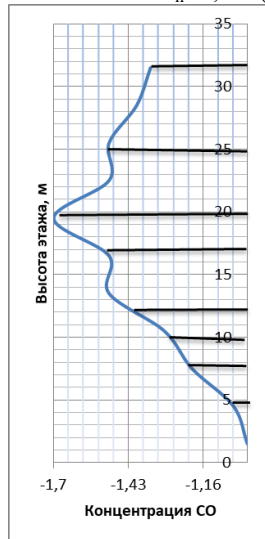
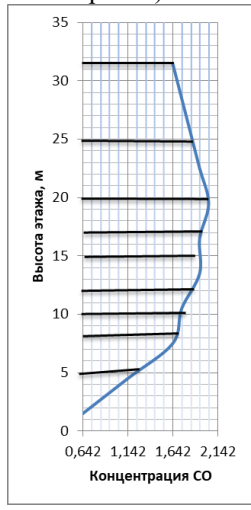
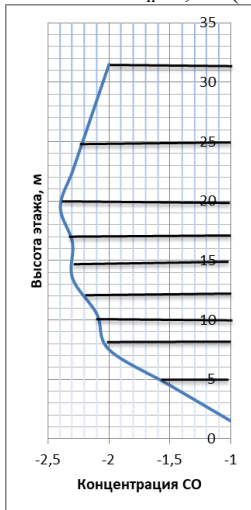
к: подветренная
 $H_c=2H$ (периметральная застройка)

Рисунок 2.8 – Эюры концентраций CO в приточном воздухе по высоте зданий при различных типах локальной застройки от точечных источников выброса высотой $H_c=2H$ (H_c – высота источника, м; H – высота здания, м)



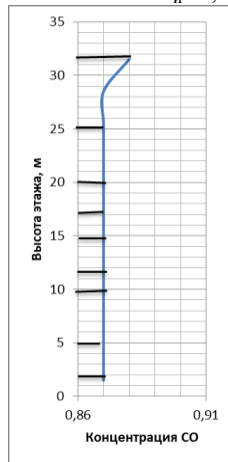
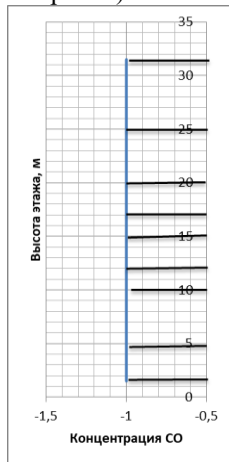
а: наветренная $H_{и}=0,5H$ (строчная застройка) б: подветренная $H_{и}=0,5H$ (строчная застройка)

в: наветренная $H_{и}=0,5H$ (торцевая застройка) г: подветренная $H_{и}=0,5H$ (торцевая застройка)



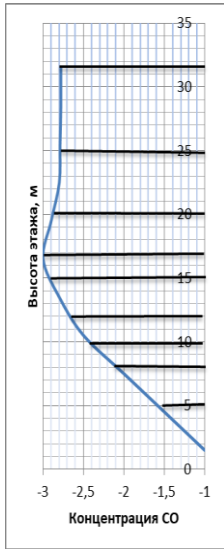
д: наветренная $H_{и}=0,5H$ (смешанная застройка) е: подветренная $H_{и}=0,5H$ (смешанная застройка)

ж: наветренная $H_{и}=0,5H$ (торцевая под углом) з: подветренная $H_{и}=0,5H$ (торцевая под углом)

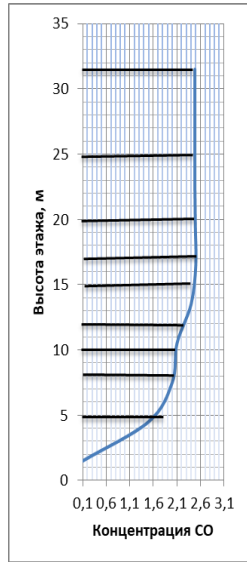


и: наветренная $H_{и}=0,5H$ (периметральная застройка) к: подветренная $H_{и}=0,5H$ (периметральная застройка)

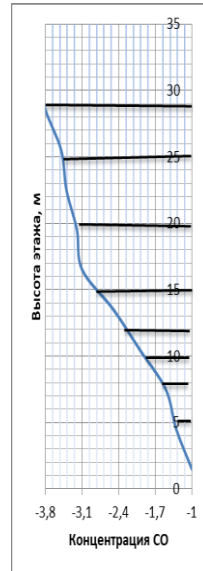
Рисунок 2.9 – Эпюры концентраций CO в приточном воздухе по высоте зданий при различных типах локальной застройки от точечных источников выброса высотой $H_{и}=0,5H$ ($H_{и}$ – высота источника, м; H – высота здания, м)



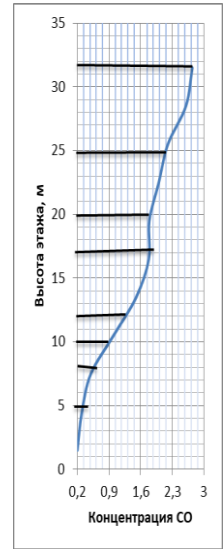
а: наветренная
 $H_{и}=H$ (строчная застройка)



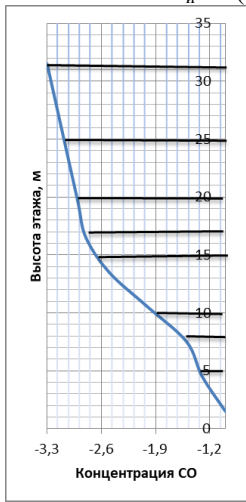
б: подветренная



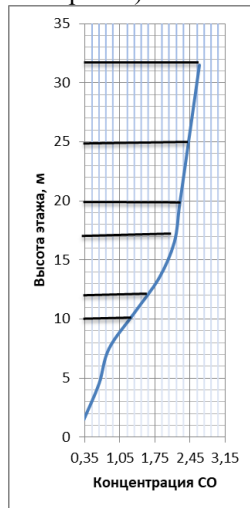
в: наветренная



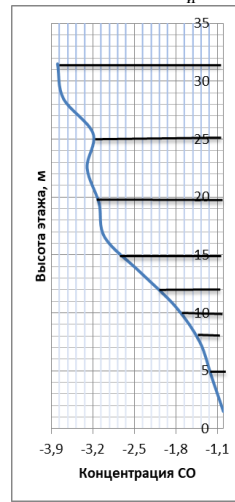
г: подветренная
 $H_{и}=H$ (торцевая застройка)



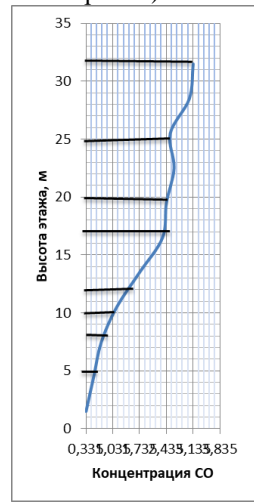
д: наветренная
 $H_{и}=H$ (смешанная застройка)



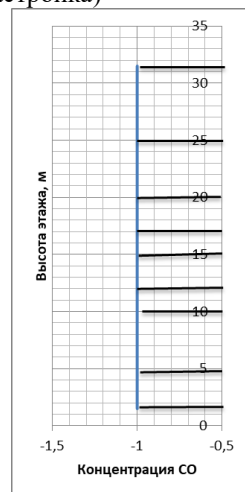
е: подветренная



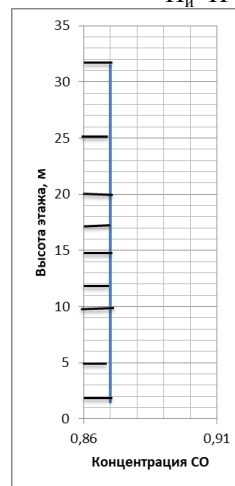
ж: наветренная
 $H_{и}=H$ (торцевая под углом)



з: подветренная



и: наветренная



к: подветренная

$H_{и}=H$ (периметральная застройка)

Рисунок 2.10 – Эпюры концентраций CO в приточном воздухе по высоте зданий при различных типах локальной застройки от точечных источников выброса высотой $H_{и}=H$ ($H_{и}$ – высота источника, м; H – высота здания, м)

Экспериментальные исследования концентраций оксида углерода (II) от точечных источников выброса по высоте зданий при различных типах локальной застройки показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителя с подветренной стороны зданий уменьшается до 31,25%, при торцевой – до 10%, при периметральной – до 20%, при торцевой под углом – до 17,86%, при смешанной – до 12,11 %. Изменение концентрации CO зависит не только от высоты источника $H_{и}$, высоты здания H , расстояния от источника до здания, но и типа локальной застройки.

2.4.2. Построение поверхностей изменения концентраций загрязнителей для прогнозирования качества приточного воздуха зданий от точечных источников

При использовании уравнения многофакторной регрессии от точечных источников разной высоты по отношению к зданию построено несколько поверхностей для прогнозирования концентрации оксида углерода (II) CO в наружном воздухе по высоте здания в атмосферном воздухе (рис.2.11-2.15).

Таблица 2.12 – Прогнозируемые концентрации оксида углерода (II) от источника 45 метров (выше здания в 1,5 раза), ПДК_{с.с.}=3 мг/м³

h_i , высота от поверхности земли, м	Расстояние от высотного источника до здания, м			
	150	200	500	800
1,5	10,071	9,445	5,689	1,933
3,75	9,988	9,363	5,606	1,851
6	9,906	9,280	5,524	1,768
8,25	9,823	9,198	5,441	1,686
10,5	9,741	9,115	5,359	1,603
12,75	9,659	9,033	5,276	1,520
15	9,576	8,950	5,194	1,438
17,25	9,494	8,868	5,111	1,356
19,5	9,411	8,785	5,029	1,273
21,75	9,329	8,703	4,946	1,191
24	9,246	8,620	4,864	1,108
26,25	9,164	8,538	4,781	1,025
28,5	9,081	8,455	4,699	0,943
30,75	8,999	8,373	4,617	0,861

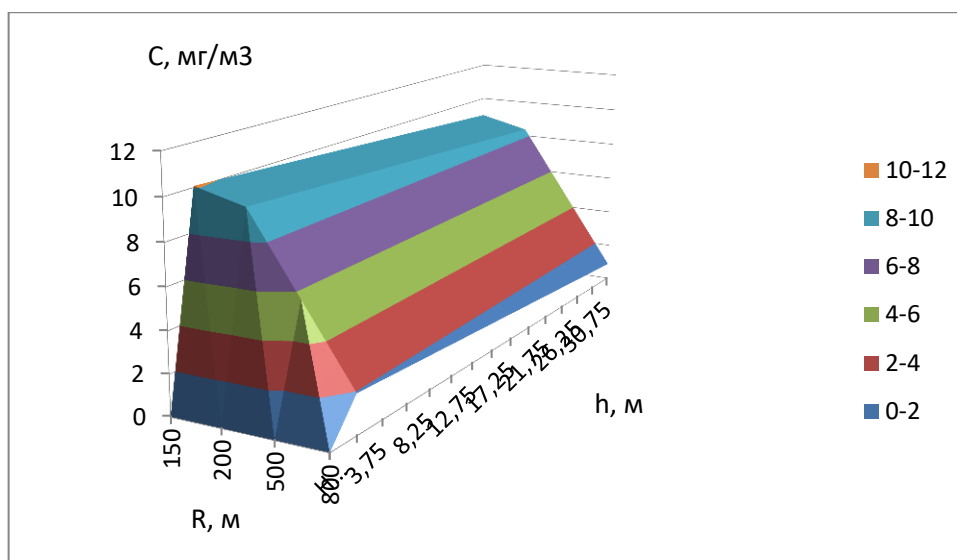


Рисунок 2.11 – Поверхность для прогноза концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе по высоте зданий от источника высотой 45 метров (выше здания) на различных расстояниях

На расстоянии 500 м от источника с высоты 21 м до крыши здания очистка воздуха нецелесообразна (рис. 2.11, табл. 2.12), на расстоянии 800 метров в очистке наружного воздуха в клапанах приточной вентиляции нет необходимости. На расстояниях 150, 200 метров очистка воздуха необходима по всей высоте здания, клапаны следует предусмотреть только с очисткой приточного воздуха.

Аналогичным образом построены поверхности изменения концентраций оксида углерода (II) CO по высоте зданий от точечных источников различной высоты.

Таблица 2.13 – Прогнозируемые концентрации оксида углерода (II) от источника 15 метров (ниже здания в 0,5 раз), ПДК_{с.с.}=3 мг/м³

h _i , высота от поверхности земли, м	Расстояние от высотного источника до здания, м			
	150	200	500	800
1	2	3	4	5
1,5	3,852	3,226	0	0
3,75	3,769	3,143	0	0
6	3,687	3,061	0	0
8,25	3,604	2,978	0	0
10,5	3,522	2,896	0	0
12,75	3,439	2,814	0	0
15	3,357	2,731	0	0

Продолжение таблицы 2.13

1	2	3	4	5
17,25	3,274	2,649	0	0
19,5	3,192	2,566	0	0
21,75	3,109	2,484	0	0
24	3,027	2,401	0	0
26,25	2,944	2,319	0	0
28,5	2,862	2,236	0	0
30,75	2,779	2,154	0	0

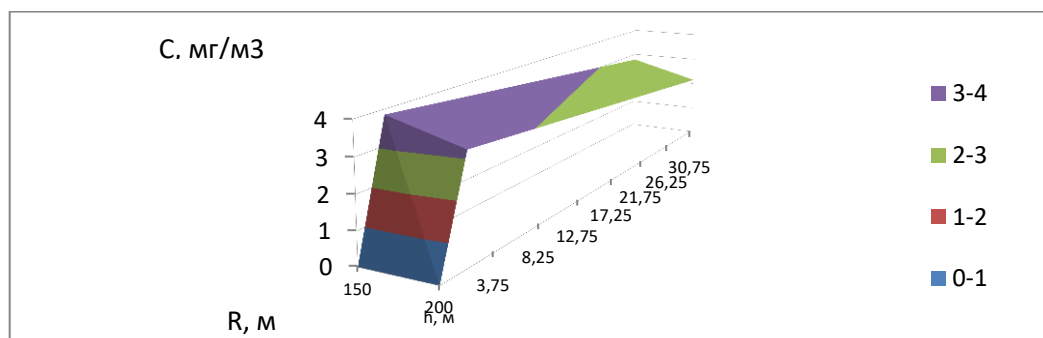


Рисунок 2.12 – Поверхность для прогноза концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе по высоте зданий от источника высотой 15 метров (ниже здания в 0,5 раз) на различных расстояниях

Согласно рис.2.12 и табл. 2.13 очистка приточного воздуха от источника ниже здания в 0,5 раза будет необходима на расстоянии 150 м с высоты 26 метров и до последнего этажа здания; на расстоянии 200 м с первого этажа до 6 метров (примерно уровень третьего этажа). На остальных высотах зданий очистка воздуха поступающего в здание нецелесообразна.

Таблица 2.14 – Прогнозируемые концентрации оксида углерода (II) от источника 30 метров (равного по высоте зданию), ПДК_{с.с.}=3 мг/м³

h _i , высота от поверхности земли, м	Расстояние от высотного источника до здания, м			
	150	200	500	800
1	2	3	4	5
1,5	6,962	6,336	2,579	0
3,75	6,879	6,253	2,497	0
6	6,797	6,171	2,415	0
8,25	6,714	6,088	2,332	0
10,5	6,632	6,006	2,249	0
12,75	6,5493	5,923	2,167	0
15	6,467	5,841	2,085	0
17,25	6,384	5,758	2,002	0

Продолжение таблицы 2.14

1	2	3	4	5
19,5	6,301	5,676	1,919	0
21,75	6,219	5,593	1,837	0
24	6,137	5,511	1,755	0
26,25	6,054	5,428	1,672	0
28,5	5,972	5,346	1,589	0
30,75	5,889	5,263	1,507	0

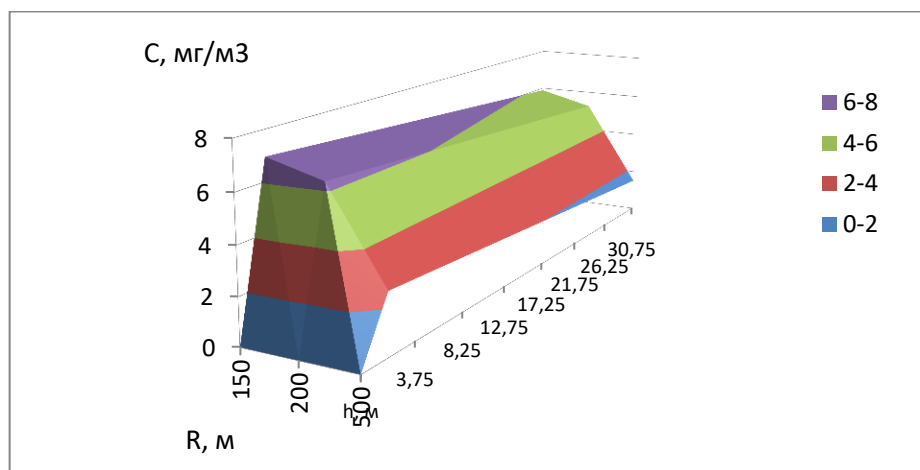


Рисунок 2.13 – Поверхность для прогноза концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе по высоте зданий от источника высотой 30 метров (равной высоте здания) на различных расстояниях

По рис.2.13 и табл. 2.14 следует, что очистка воздуха на расстоянии от 500 метров и далее в клапанах приточной вентиляции нецелесообразна, до 500 метров очистку необходимо предусматривать во всех клапанах приточной принудительной вентиляции, на всех высотах наружной стены здания (по всем этажам).

Таблица 2.15 – Прогнозируемые концентрации оксида углерода (II) от источника 60 метров (выше здания в 2 раза), ПДК_{с.с.}=3 мг/м³

h _i , высота от поверхности земли, м	Расстояние от высотного источника до здания, м			
	150	200	500	800
1	2	3	4	5
1,5	13,181	12,555	8,799	5,043
3,75	13,098	12,472	8,716	4,960
6	13,016	12,389	8,634	4,878
8,25	12,933	12,307	8,551	4,795
10,5	12,851	12,225	8,469	4,713
12,75	12,768	12,142	8,386	4,630
15	12,686	12,059	8,304	4,548

Продолжение таблицы 2.15

1	2	3	4	5
17,25	12,603	11,977	8,221	4,465
19,5	12,521	11,895	8,139	4,383
21,75	12,438	11,812	8,056	4,300
24	12,356	11,729	7,974	4,218
26,25	12,273	11,647	7,891	4,135
28,5	12,190	11,565	7,809	4,053
30,75	12,108	11,482	7,726	3,970

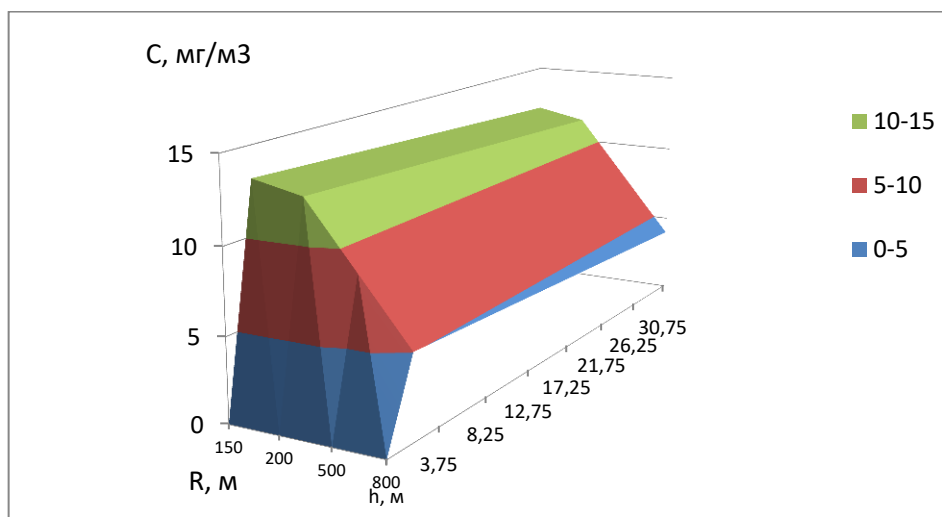


Рисунок 2.14 – Поверхность для прогноза концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе по высоте зданий от источника высотой 60 метров (в 2 раза выше высоты здания) на различных расстояниях

На всех высотах (рис.2.14 и табл.2.15) требуется очистка воздуха поступающего в здания, в частности на расстояниях от 150 до 500 метров от точечного источника выброса.

2.5. Экспериментальные исследования качества приточного воздуха по высоте зданий от передвижных источников (автомагистралей)

Получено уравнение множественной регрессии влияния интенсивности автотранспорта на концентрацию CO (газообразных веществ) по высоте каждого этажа здания.

Таблица 2.16 – Факторы, влияющие на величину $Y(\frac{C_i}{C_{max}})$ отношение концентрации на высоте i -этажа к максимальной концентрации по высоте всего здания

$R_i(X_1)$ расстояние от магистрали до здания, м	$I(X_2)$ интенсивность автотранспорта, авт./ч	$h_i/H(X_3)$ отношение высоты от поверхности земли к высоте здания
--	---	--

Оценка уравнения регрессии

Определим вектор оценок коэффициентов регрессии. Согласно методу наименьших квадратов, вектор s получается из выражения: $s = (X^T X)^{-1} X^T Y$

Таблица 2.17 – Матрица переменных

1	50	2000	0.1
1	100	2000	0.1
1	50	2000	0.3
1	100	2000	0.3
1	50	2000	0.5
1	100	2000	0.5
1	50	2000	0.6
1	100	2000	0.6
1	50	2000	0.7
1	100	2000	0.7
1	50	2000	0.8
1	100	2000	0.8
1	50	2000	0.9
1	100	2000	0.9
1	50	2000	1
1	100	2000	1
1	50	1000	0.1
1	100	1000	0.1
1	50	1000	0.5
1	100	1000	0.5
1	50	1000	0.8
1	100	1000	0.8
1	50	1000	1
1	100	1000	1
1	50	600	0.1
1	100	600	0.1
1	50	600	0.5
1	100	600	0.5
1	50	600	0.9
1	100	600	0.9
1	50	600	1
1	100	600	1
1	50	500	0.1
1	100	500	0.1
1	50	500	1
1	100	500	1

Таблица 2.18 – Умножаем матрицы, $(X^T X)$

36	2700	46800	21.8
2700	225000	3510000	1635
46800	3510000	75880000	28500
21.8	1635	28500	17.26

Уравнение регрессии (оценка уравнения регрессии):

$$Y = 0,6708 - 0,00545X_1 + 0,00021X_2 - 0,1996X_3 \quad (2.16)$$

2. Матрица парных коэффициентов корреляции R

Число наблюдений $n = 36$. Число независимых переменных в модели равно 3, а число регрессоров с учетом единичного вектора равно числу неизвестных коэффициентов. С учетом признака Y , размерность матрицы становится равным 5. Матрица, независимых переменных X : (36 x 5).

Таблица 2.19 – Матрица A, составленная из Y и X

1	2	3	4	5
1	1	50	2000	0.1
1	0.5	100	2000	0.1
1	0.85	50	2000	0.3
1	0.425	100	2000	0.3
1	0.8	50	2000	0.5
1	0.4	100	2000	0.5
1	0.75	50	2000	0.6
1	0.375	100	2000	0.6
1	0.7	50	2000	0.7
1	0.35	100	2000	0.7
1	0.6	50	2000	0.8
1	0.3	100	2000	0.8
1	0.55	50	2000	0.9
1	0.275	100	2000	0.9
1	0.5	50	2000	1
1	0.25	100	2000	1
1	0.75	50	1000	0.1
1	0.375	100	1000	0.1
1	0.65	50	1000	0.5
1	0.375	100	1000	0.5
1	0.61	50	1000	0.8
1	0.305	100	1000	0.8
1	0.5	50	1000	1
1	0.25	100	1000	1
1	0.43	50	600	0.1
1	0.215	100	600	0.1
1	0.39	50	600	0.5
1	0.195	100	600	0.5
1	0.31	50	600	0.9
1	0.155	100	600	0.9
1	0.3	50	600	1
1	0.15	100	600	1
1	0.12	50	500	0.1
1	0.06	100	500	0.1
1	0.1	50	500	1
1	0.05	100	500	1

Таблица 2.20 – Матрица $X^T X$

36	14.915	2700	46800	21.8
14.915	8.138	996	22517	8.256
2700	996	225000	3510000	1635
46800	22517	3510000	75880000	28500
21.8	8.256	1635	28500	17.26

Таблица 2.21 – Полученная матрица имеет следующее соответствие:

$\sum n$	$\sum y$	$\sum x_1$	$\sum x_2$	$\sum x_3$
$\sum y$	$\sum y^2$	$\sum x_1 y$	$\sum x_2 y$	$\sum x_3 y$
$\sum x_1$	$\sum y x_1$	$\sum x_1^2$	$\sum x_2 x_1$	$\sum x_3 x_1$
$\sum x_2$	$\sum y x_2$	$\sum x_1 x_2$	$\sum x_2^2$	$\sum x_3 x_2$
$\sum x_3$	$\sum y x_3$	$\sum x_1 x_3$	$\sum x_2 x_3$	$\sum x_3^2$

Таблица 2.22 – Расчетные параметры средних показателей

Признаки x и y	$\sum x_i$	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	$\sum y_i$	$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	$\sum x_i * y_i$	$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n}$
Для y и x_1	2700	75	14.915	0.414	996	27.667
Для y и x_2	46800	1300	14.915	0.414	22517	625.472
Для y и x_3	21.8	0.606	14.915	0.414	8.256	0.229
Для x_1 и x_2	46800	1300	2700	75	3510000	97500
Для x_1 и x_3	21.8	0.606	2700	75	1635	45.417
Для x_2 и x_3	21.8	0.606	46800	1300	28500	791.667

Таблица 2.23 – Дисперсии и среднеквадратические отклонения

Признаки x и y	$D(x) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2$	$D(y) = \frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2$	$s(x) = \sqrt{D(x)}$	$s(y) = \sqrt{D(y)}$
Для y и x_1	625	0.0544	25	0.233
Для y и x_2	417777.778	0.0544	646.357	0.233
Для y и x_3	0.113	0.0544	0.336	0.233
Для x_1 и x_2	417777.778	625	646.357	25
Для x_1 и x_3	0.113	625	0.336	25
Для x_2 и x_3	0.113	417777.778	0.336	646.357

Таблица 2.24 – Матрица парных коэффициентов корреляции R

-	y	x_1	x_2	x_3
y	1	-0.5842	0.5763	-0.2754
x_1	-0.5842	1	0	0
x_2	0.5763	0	1	0.02048
x_3	-0.2754	0	0.02048	1

Доверительный интервал для коэффициентов уравнения регрессии

Определим доверительные интервалы коэффициентов регрессии, которые с надежностью 95% будут следующими: b_0 : $(0.671 - 2.021 * 0.0844 ; 0.671 + 2.021 * 0.0844) = (0.5; 0.841)$; b_1 : $(-0.00545 - 2.021 * 0.000815 ; -0.00545 + 2.021 * 0.000815) = (-0.0071; -0.0038)$; b_2 : $(0.00021 - 2.021 * 3.2E-5 ; 0.00021 + 2.021 * 3.2E-5) = (0.00021; 0.00021)$; b_3 : $(-0.2 - 2.021 * 0.0607 ; -0.2 + 2.021 * 0.0607) = (-0.322; -0.0769)$

Проверка общего качества уравнения множественной регрессии

Для проверки использован F-критерий Фишера. $R^2 = 0,7559$.

Если $F < F_{кр} = F_{\alpha; n-m-1}$, то нет оснований для отклонения гипотезы H_0 . $F = 33,029$. Табличное значение при степенях свободы $k_1 = 3$ и $k_2 = 32$, $F_{кр}(3;32) = 2,84$.

Поскольку фактическое значение $F > F_{кр}$, то коэффициент детерминации статистически значим и уравнение регрессии статистически надежно (т.е. коэффициенты b_i совместно значимы).

В результате расчетов получено уравнение множественной регрессии:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = 0,671 - 0,010 \cdot \frac{R_i}{R_{max}} + 0,021 \cdot I - 0,196 \cdot \frac{h_i}{H} + 0,038 \cdot \left(\frac{h_i}{H}\right)^2 \quad (2.17)$$

где $\frac{c_i}{c_{max}}$ (Y) – это отношение концентрации к максимальной концентрации, при

$\frac{c_i}{c_{max}} > \frac{C_i}{C_{пдк}}$, концентрация превышает допустимую норму по фасаду здания;

$R_i(X_1)$ – расстояние от магистрали до здания, м; $I(X_2)$ – интенсивность автотранспорта, авт./ч; $\frac{h_i}{H}(X_3)$ – отношение высоты от поверхности земли к

высоте здания. Возможна интерпретация параметров уравнения: увеличение X_1 (расстояния от магистрали R) на 1 ед.изм. приводит к уменьшению Y (c/c_{max}) в среднем на 0.00545 ед.изм.; увеличение X_2 (интенсивности автотранспорта) на 1 ед.изм. приводит к увеличению Y в среднем на 0.00021 ед.изм.; увеличение X_3 (h/H) на 1 ед.изм. приводит к уменьшению Y в среднем на 0.2 ед.изм. По максимальному коэффициенту $\beta_2 = 0.582$ наибольшее влияние на результат Y оказывает фактор X_2 , интенсивность (I , авт./час) автотранспорта магистрали. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера.

Переменные $\frac{R_i}{R_{max}} \cdot I$; $\frac{R_i}{R_{max}} \cdot \frac{h_i}{H}$; $\frac{h_i}{H} \cdot I$; $(I)^2$; $\left(\frac{R_i}{R_{max}}\right)^2$ не являются значимыми, так как $|t| < t(0,05; 69)$, все остальные – значимые $|t| > t(0,05; 69)$ (критерий Стьюдента $t(0,05; 69) = 1,95$).

Так как от автотранспорта в наружном воздухе могут присутствовать и вещества органической природы, то концентрацию загрязнителя

целесообразней представить в безразмерном виде в приточном воздухе по высоте здания по отношению к максимальной концентрации ($\frac{c_i}{c_{max}}$).

Если $\frac{c_i}{c_{max}} = 1$, то концентрация загрязнителя максимальна на определенной высоте здания.

Для других газообразных веществ в наружном воздухе от автотранспорта проведен расчет объемной доли газов в процентах (%) каждого загрязнителя в наружном воздухе в смеси газов по высоте задания в зависимости от измеренной максимальной концентрации по высоте здания в наружном воздухе, молярной массы газа (г/моль) и количества вещества (моль) i -загрязнителя в смеси газов.

Результаты расчетов составили, что объемная доля газов в наружном воздухе здания при максимальной концентрации загрязнителей составляет: по оксиду углерода (II) – 28,40%; по углеводородам алифатическим – 60,174%; по фенолу - 2,64%; по формальдегиду – 8,779%.

По результатам обработки многолетних экспериментальных данных получены регрессионные зависимости (2.18)-(2.21) для расчёта величины концентраций газообразных загрязнителей от автотранспорта:

- для оксида углерода (II):

$$\frac{c_i}{c_{max}} = 0,671 - 0,010 \cdot \frac{R_i}{R_{max}} + 0,021 \cdot I - 0,196 \cdot \frac{h_i}{H} + 0,038 \cdot \left(\frac{h_i}{H}\right)^2; \quad (2.18)$$

- для углеводородов алифатических (C1-C5):

$$\frac{c_i}{c_{max}} = 2,119 \cdot \left(0,671 - 0,010 \cdot \frac{R_i}{R_{max}} + 0,021 \cdot I - 0,196 \cdot \frac{h_i}{H} + 0,038 \cdot \left(\frac{h_i}{H}\right)^2\right); \quad (2.19)$$

- для фенола:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = 0,093 \cdot \left(0,671 - 0,010 \cdot \frac{R_i}{R_{max}} + 0,021 \cdot I - 0,196 \cdot \frac{h_i}{H} + 0,038 \cdot \left(\frac{h_i}{H}\right)^2\right); \quad (2.20)$$

- для формальдегида :

$$\frac{c_i}{c_{max}} = 0,309 \cdot \left(0,671 - 0,010 \cdot \frac{R_i}{R_{max}} + 0,021 \cdot I - 0,196 \cdot \frac{h_i}{H} + 0,038 \cdot \left(\frac{h_i}{H}\right)^2\right), \quad (2.21)$$

где $\frac{c_i}{c_{max}}$ – отношение концентрации загрязнителя к его максимальной концентрации по высоте здания; $\frac{R_i}{R_{max}}$ – отношение расстояния от магистрали до

здания к максимальному расстоянию, на котором обнаружена концентрация от магистрали (100), м; I – интенсивность автотранспорта, авт./ч; $\frac{h_i}{H}$ – отношение высоты от поверхности земли h_i к высоте здания H .

Переменные $\frac{R_i}{R_{max}} \cdot I$; $\frac{R_i}{R_{max}} \cdot \frac{h_i}{H}$; $\frac{h_i}{H} \cdot I$; $(I)^2$; $\left(\frac{R_i}{R_{max}}\right)^2$ не являются значимыми, так как $|t| < t(0,05; 69)$, все остальные – значимые $|t| > t(0,05; 69)$ (критерий Стьюдента $t(0,05; 69)=1,95$).

Уравнение регрессии статистически надежно, с надежностью 95%. Критерий Фишера $F_{кр}=0,7559$. Фактическое значение $F(33,029) > F_{кр}$.

Если по результатам прогноза расчётная концентрация газообразной примеси будет превышать допустимую норму или отношение безразмерной величины $\frac{c_i}{c_{max}}$ больше $\frac{c_i}{c_{ПДК}}$, то на этой высоте необходима очистка воздуха поступающего в помещения.

2.6. Разработка методики прогнозирования вертикального распределения безразмерных концентраций в приточном воздухе газообразных загрязнителей от автотранспорта с учётом типа локальной застройки

Для учёта вертикального распределения безразмерных концентраций газообразных веществ в приточном воздухе по высоте зданий от передвижных источников использовано уравнение Бюргера [104,313], которое описывает перемещение примеси в атмосфере под действием скорости ветра. При этом c – концентрация примеси, мг/м³; V_c – скорость ветра, м/с.

Запишем уравнение (2.22) с диффузионным слагаемым уравнения переноса как функцию от концентрации i – вещества $\frac{c_i}{c_{max}}$ на высоте каждого этажа $\frac{h_i}{H}$:

c_i к максимальной концентрации c_{max} по высоте всего здания H :

$$\frac{\partial(c_i/c_{max})}{\partial t} + V_c \frac{\partial(c_i/c_{max})}{\partial(h_i/H)} = \varphi\left(\frac{c_i}{c_{max}}; \frac{h_i}{H}; H\right) \quad (2.22)$$

С учетом концентрации i – вещества на высоте этажа здания $\frac{h_i}{H}$ к максимальной концентрации c_{max} по высоте всего здания H и коэффициента турбулентной диффузии D , m^2/c получаем уравнение (2.23):

$$\frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial t} + V_c \frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial(h_i/H)} = D \frac{\partial^2(c^i/c_{max})}{\partial(h_i/H)^2} \quad (2.23)$$

Подставляя зависимость концентрации СО по высоте здания от магистрали автотранспорта от нескольких факторов полученную эмпирическим путем для интенсивности свыше 2500 авт./ч и дифференцируя уравнение (2.18) получаем (2.24)-(2.25), учитывая изменения величины безразмерной концентрации $\frac{c_i}{c_{max}}$ загрязняющих веществ, температуру воздуха, давление. Уравнения (2.24)-(2.25) изменения концентрации загрязнителей от расстояния (R_i до R_{max}) и по вертикали от поверхности земли (h_i до H) соответственно:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = \frac{0,469 \cdot T^{3/2} \cdot \left(\frac{M_1+M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{1/2} \cdot (R_{max}-R_i)}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2 \cdot R_{max}^2} + \frac{0,545 \cdot V_i \cdot (R_{max}-R_i)}{R_{max}^2}, \quad (2.24)$$

$$\frac{c_i}{c_{max}} = \frac{0,169 \cdot T^{3/2} \cdot \left(\frac{M_1+M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{1/2} \cdot (H-h_i)}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2 \cdot H^2} + \frac{0,198 \cdot V_i \cdot (H-h_i)}{H^2}, \quad (2.25)$$

где V_i – скорость ветра по высоте от поверхности земли h_i , м/с; R_{max} – максимальное расстояние от магистрали до зданий, на котором обнаружена концентрация i -загрязняющего вещества, м; R_i – расстояние от магистрали до здания, м; H – высота здания, м; h_i – высота этажа, м; T – температура воздуха, К; $V_{M,1}$ и $V_{M,2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах, $cm^3/моль$; $M_1; M_2$ – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p – атмосферное давление, атм.

Для остальных газообразных загрязняющих веществ в приточном воздухе от автотранспорта проведен расчёт объемной доли газов в процентах (%) каждого загрязнителя в смеси газов по высоте задания в зависимости от измеренной экспериментально максимальной концентрации по высоте здания в воздухе, молярной массы газа (г/моль) и количества вещества (моль) i -

загрязнителя в смеси газов. Объемная доля газов в наружном воздухе здания при максимальной концентрации загрязнителей составляет: по оксиду углерода (II) – 28,40%; по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 60,174%; по фенолу – 2,64%; по формальдегиду – 8,779%.

Граничные условия: высота этажа изменяется от h_i/H до H : от 0,1 до 1 (1 – высота последнего этажа здания по вертикальной оси Z (высота здания); ось X : расстояние от здания до магистрали от $\frac{R_i}{R_{max}}$ до R_i : от 0,1 до 1 (до максимального расстояния, на котором обнаружена концентрация загрязнителя по высоте здания); ось Y (величина всего здания H).

Получаем систему уравнений распределения, перемещения газообразной примеси в атмосфере по высоте каждого этажа здания h_i/H и на различных расстояниях здания от магистрали $\frac{R_i}{R_{max}}$ со скоростью ветра V , м/с:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial t} + V \frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial(R_i/R_{max})} = \frac{0,109 \cdot D \cdot (R_{max} - R_i)}{R_{max}^3}; \\ \frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial t} + V \frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial(h_i/H)} = \frac{0,392 \cdot D \cdot (H - h_i)}{H^3}; \\ \frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial t} + V \frac{\partial(c^i/c_{max})}{\partial(H)} = \frac{0,392 \cdot D}{H^3}. \end{array} \right. \quad (2.26)$$

где $\frac{c_i}{c_{max}}$ – отношение концентрации i -загрязнителя к его максимальной концентрации c_{max} по высоте здания H ; $\frac{R_i}{R_{max}}$ – отношение расстояния от магистрали до здания к максимальному расстоянию, на котором обнаружена концентрация от магистрали, м; $\frac{h_i}{H}$ – отношение высоты от поверхности земли h_i к высоте самого здания H (высота этажа).

Решая систему уравнений (2.26), установлена закономерность рассеивания примесей по высоте здания и по высоте каждого этажа, при различных расстояниях от автотранспортной магистрали в момент наибольшей загруженности магистрали, при наиболее неблагоприятной скорости ветра,

принимая коэффициент диффузии за постоянное число и рассчитав его по методу Гиллеленда.

Для прогнозирования концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте здания от магистрали с наименьшей интенсивностью движения необходимо умножить на коэффициент, приведенный в табл. 2.25. Поправочные коэффициенты получены на основании многолетних экспериментальных данных.

Таблица 2.25 – Коэффициент учёта интенсивности движения магистрали

1000-2000 авт./ч	500-1000 авт./ч	до 500 авт./ч
0,190	0,130	0,067

Входящими параметрами разработанной методики прогноза качества приточного воздуха с наветренной стороны от передвижного источника выброса (автомагистрали) являются: расстояние от магистрали до здания R_i , м; высота здания H , м; интенсивность автомагистрали I , авт./ч: до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч. Метеорологические факторы в летний и зимний периоды года: скорость ветра (V), м/с; температура, К; давление, мм.рт.ст. (атм.); тип локальной застройки: периметральная, торцевая, строчная, торцевая под углом, смешанная.

После расчёта концентраций газообразных загрязняющих веществ с наветренной стороны здания от источников выброса с помощью полученных уравнений (2.24)-(2.25) представлено распределение безразмерных концентраций:

- ось X (расстояние R_i/R_{max});
- ось Y (высота этажей зданий h_i/H);
- ось Z (безразмерная концентрация по высоте этажей C_i/C_{max}) (рис.2.15).

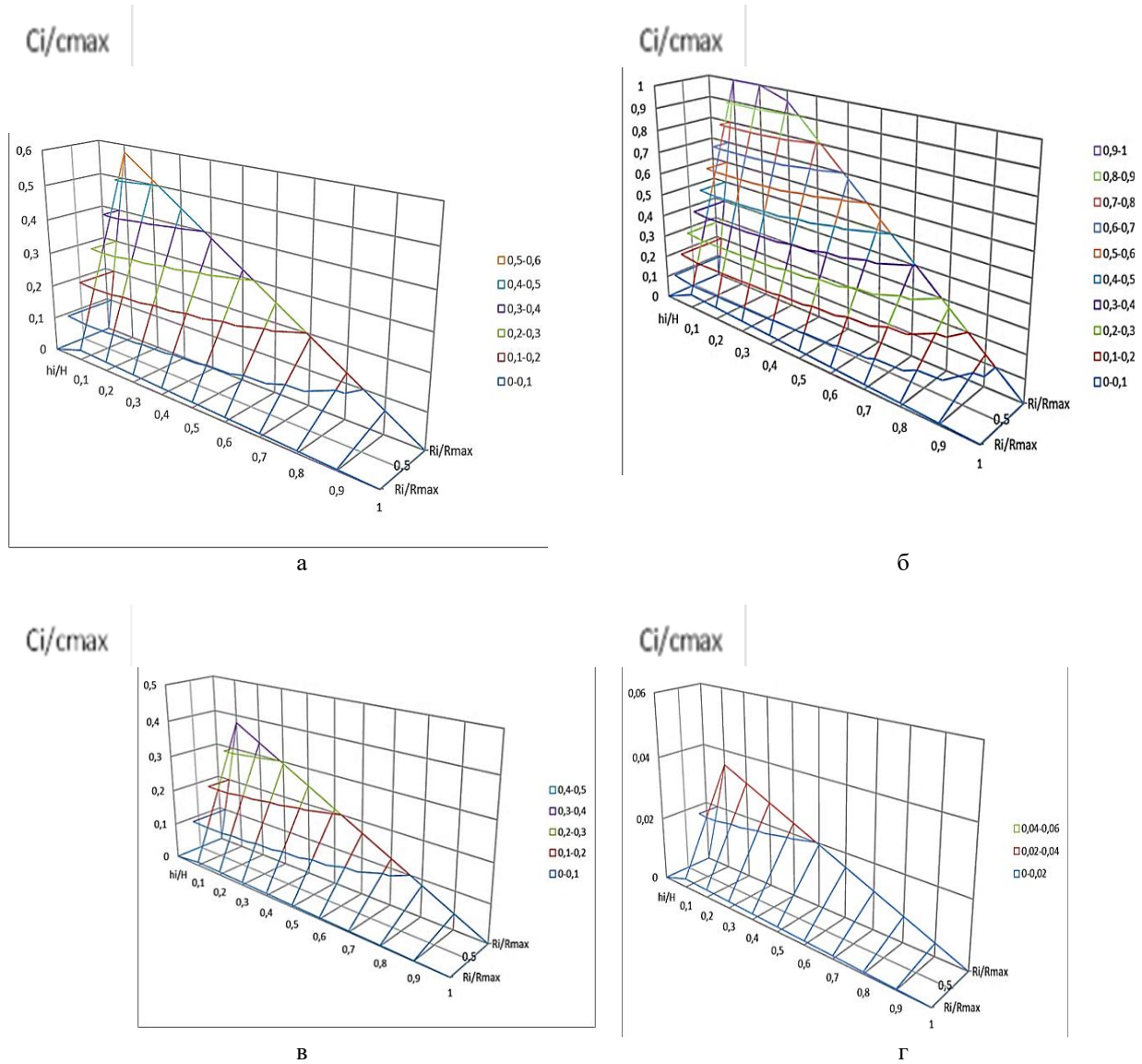


Рисунок 2.15 – Концентрации загрязнителей в приточном воздухе с наветренной стороны здания C_i/c_{max} по высоте каждого этажа здания h_i/H и на различном расстоянии здания от автотранспортной магистрали R_i/R_{max} в атмосферном воздухе с интенсивностью свыше 2000 авт./ч: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – формальдегида; г – фенола

С подветренной стороны здания от магистрали на основе экспериментальных исследований получены поправочные коэффициенты учёта типа локальной застройки в зависимости от интенсивности движения магистрали (табл.2.26).

Таблица 2.26 – Поправочные коэффициенты учета типа локальной застройки для передвижных источников: I – наветренная сторона / II – подветренная сторона для различной интенсивности движения автотранспорта, авт./ч

I, авт./ч	Торцевая I/ II	Строчная I/II	Периметральная I/ II	Торцевая под углом I/ II	Смешанная I/ II
до 500	0,99/0,777	0,768/0,668	1,0 / 0,375	0,541/0,441	0,321/0,221
500–1000	0,99/0,889	0,868/0,768	1,0/0,475	0,641/0,540	0,421/0,340
1000–2000	0,99/0,95	0,968/0,868	1,0/0,618	0,751/0,640	0,521/0,435
2000-3000	0,99/0,97	0,99/0,968	1,0/0,750	0,841/0,78	0,621/0,535

Сравнивая результаты обработки экспериментальных данных, эмпирические уравнения многолетних исследований с 2006 по 2021 гг. и полученных данных по предложенным аналитическим уравнениям разница значений концентраций газообразных примесей составила не более 15%, что подтверждает факт учёта концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий вблизи транспортных магистралей с высокой интенсивностью движения.

2.6.1. Эпюры вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе при различных типах локальной застройки от автотранспорта

По результатам экспериментальных исследований построены эпюры вертикального распределения концентраций оксида углерода (II) CO и других газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий при различных типах локальной застройки с наветренной и подветренной сторон зданий от передвижных источников выброса магистралей с различной интенсивностью движения автотранспорта (рис.2.16-2.31).

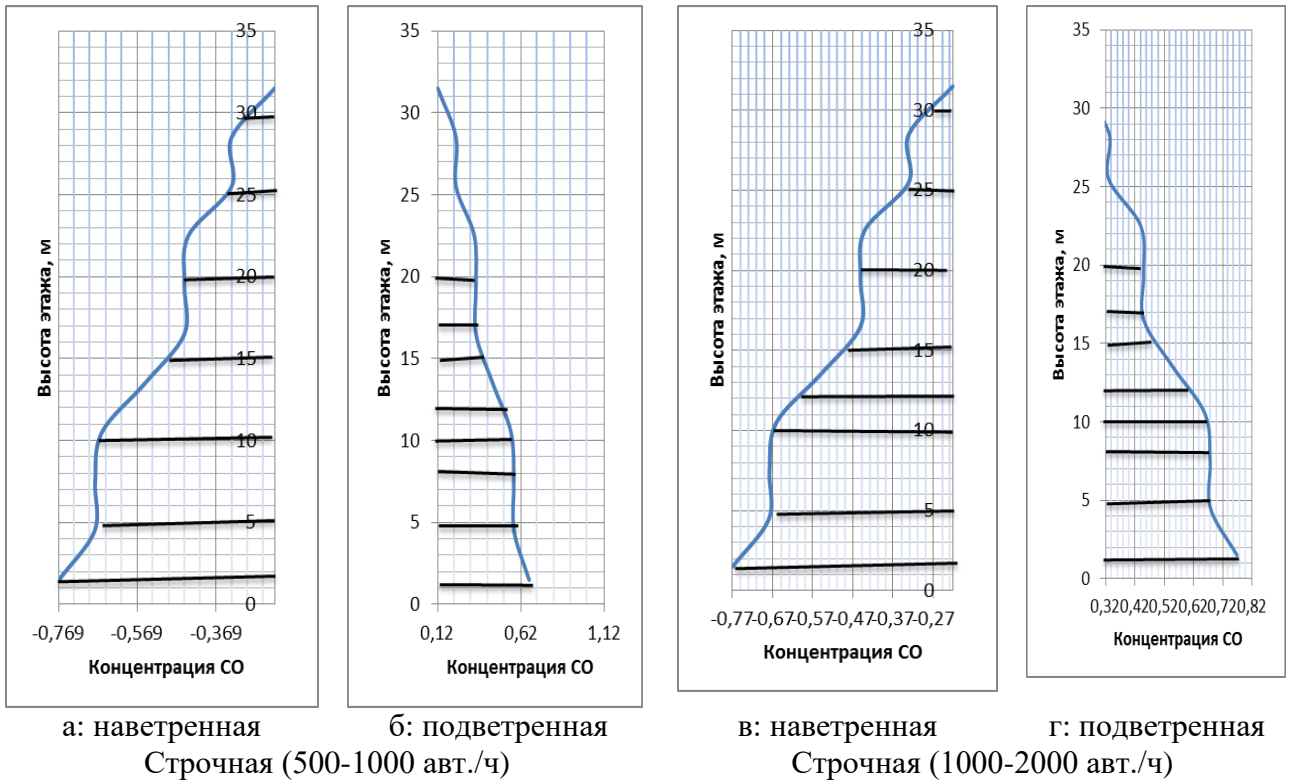


Рисунок 2.16 – Эпюры концентраций CO в приточном воздухе по высоте зданий при строчном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 м)

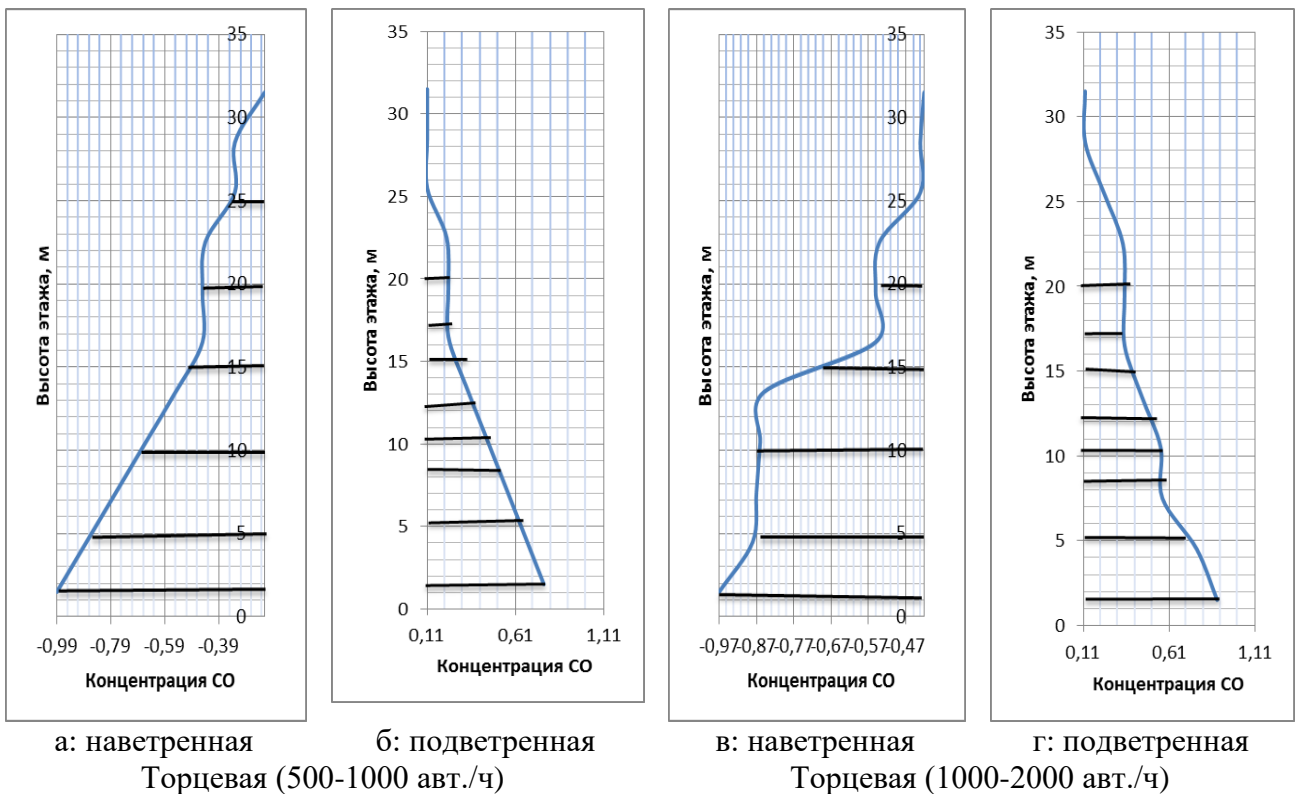


Рисунок 2.17 – Эпюры концентраций CO в приточном воздухе по высоте зданий при торцевом типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

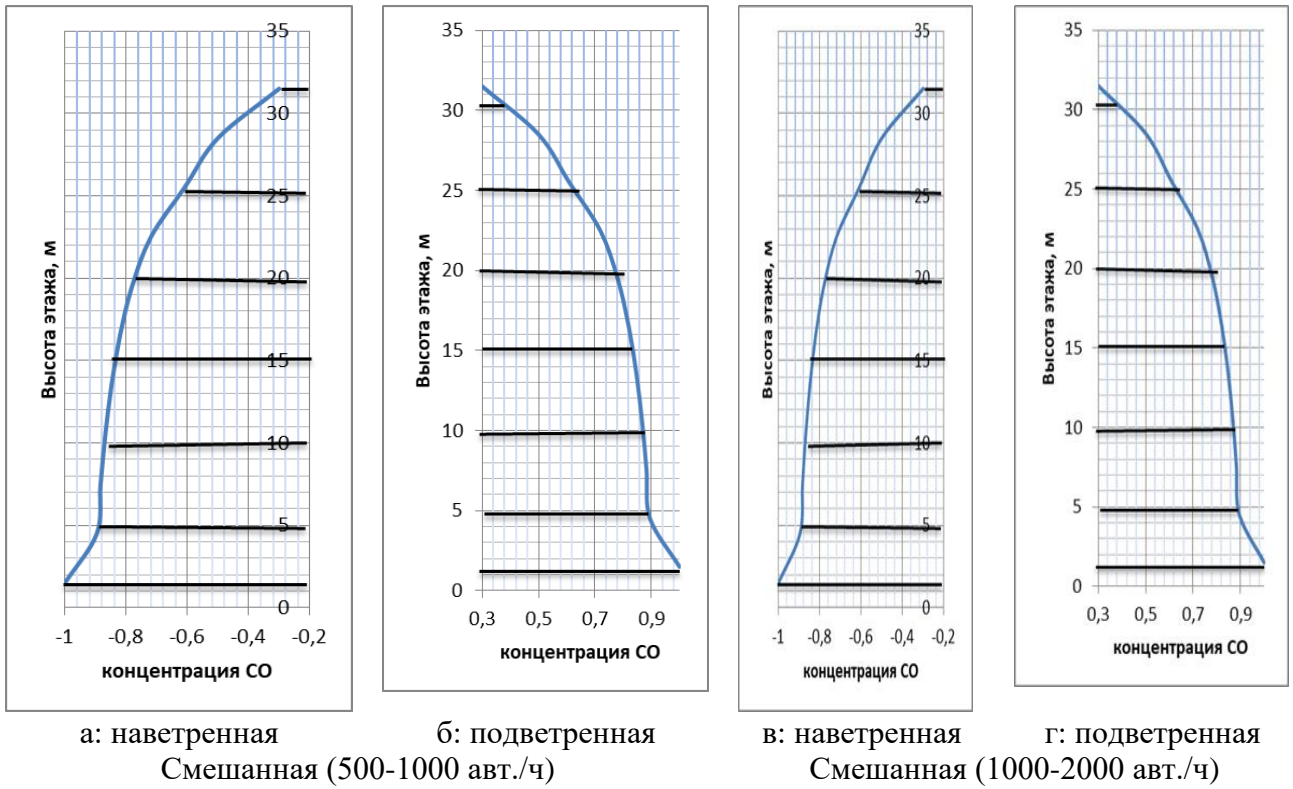


Рисунок 2.18 – Эпюры концентраций CO в приточном воздухе по высоте зданий при смешанном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

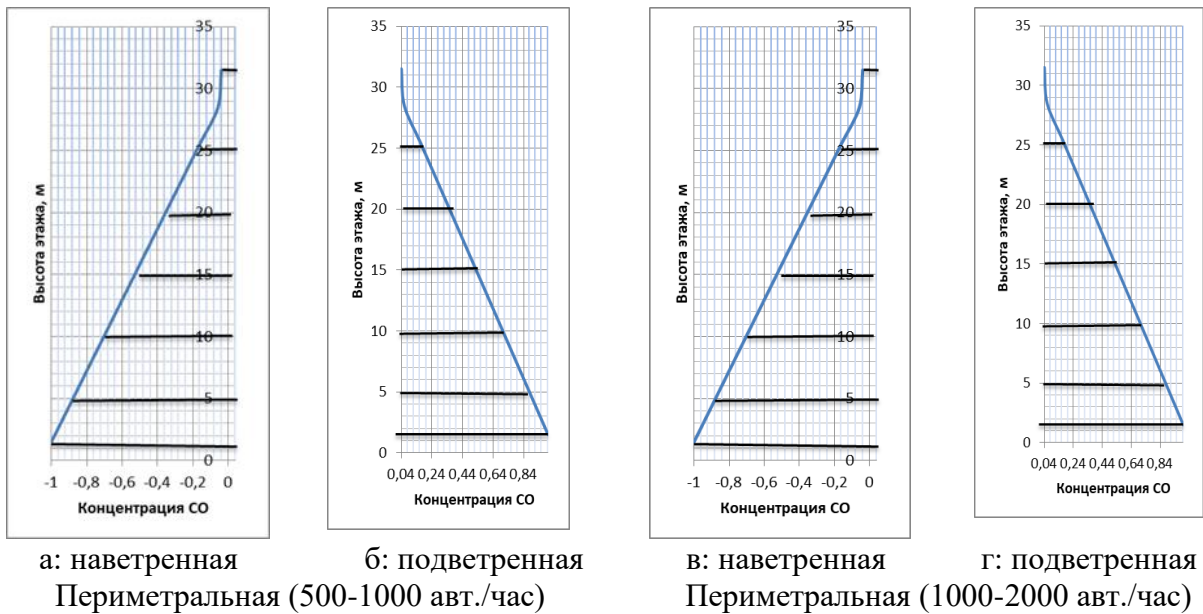
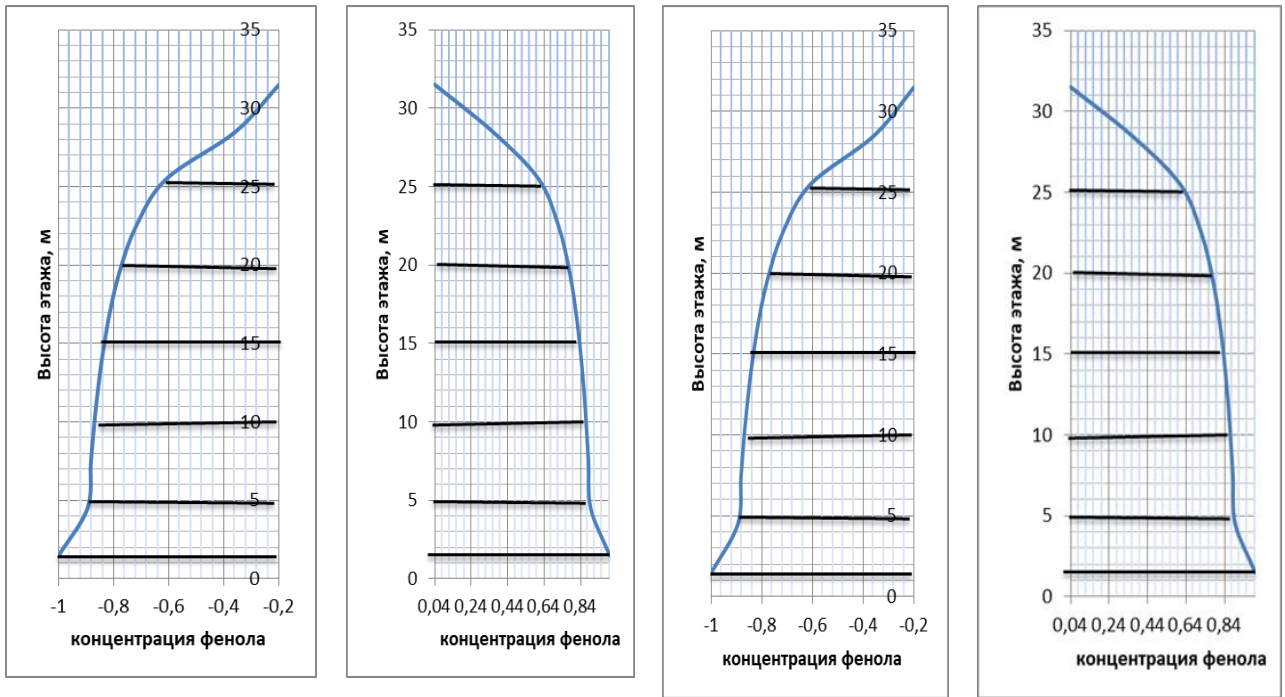


Рисунок 2.19 – Эпюры концентраций CO по высоте зданий в приточном воздухе при периметральном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)



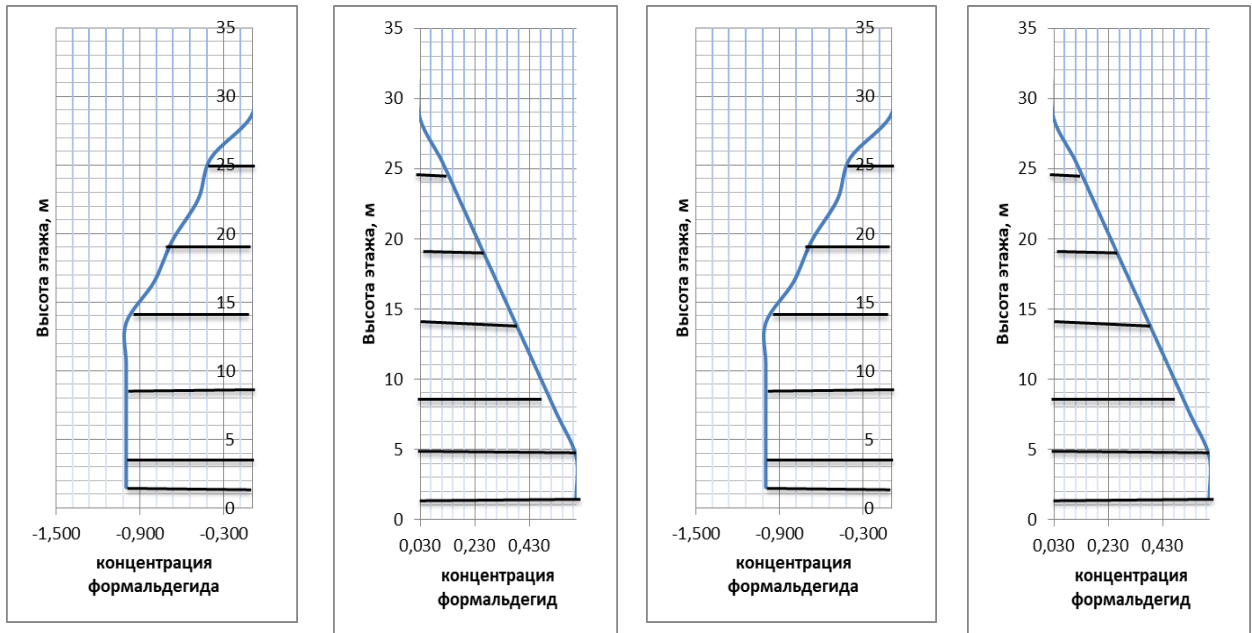
а: наветренная
Периметральная (500-1000 авт./ч)

б: подветренная
Периметральная (500-1000 авт./ч)

в: наветренная
Периметральная (1000-2000 авт./ч)

г: подветренная
Периметральная (1000-2000 авт./ч)

Рисунок 2.20 – Эпюры концентраций фенола в приточном воздухе по высоте зданий при периметральном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)



а: наветренная
Периметральная (500-1000 авт./ч)

б: подветренная
Периметральная (500-1000 авт./ч)

в: наветренная
Периметральная (1000-2000 авт./ч)

г: подветренная
Периметральная (1000-2000 авт./ч)

Рисунок 2.21 – Эпюры концентраций формальдегида в приточном воздухе по высоте зданий при периметральном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

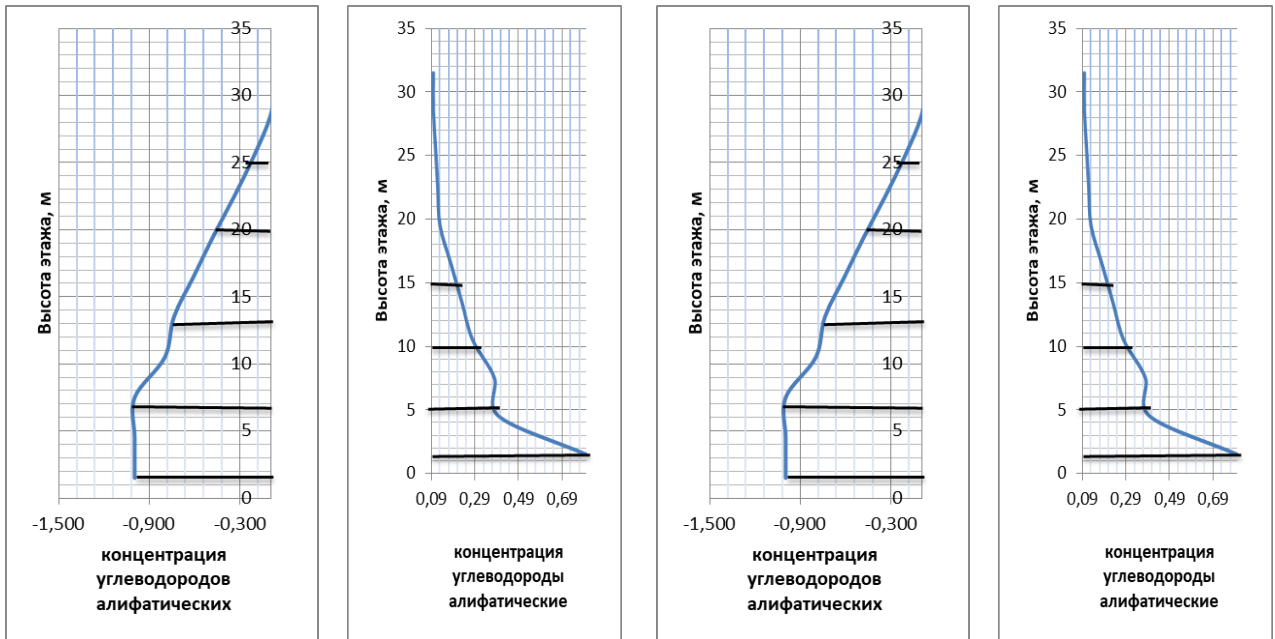


Рисунок 2.22 – Эпюры концентраций углеводородов алифатических (C1-C5) в приточном воздухе по высоте зданий при периметральном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

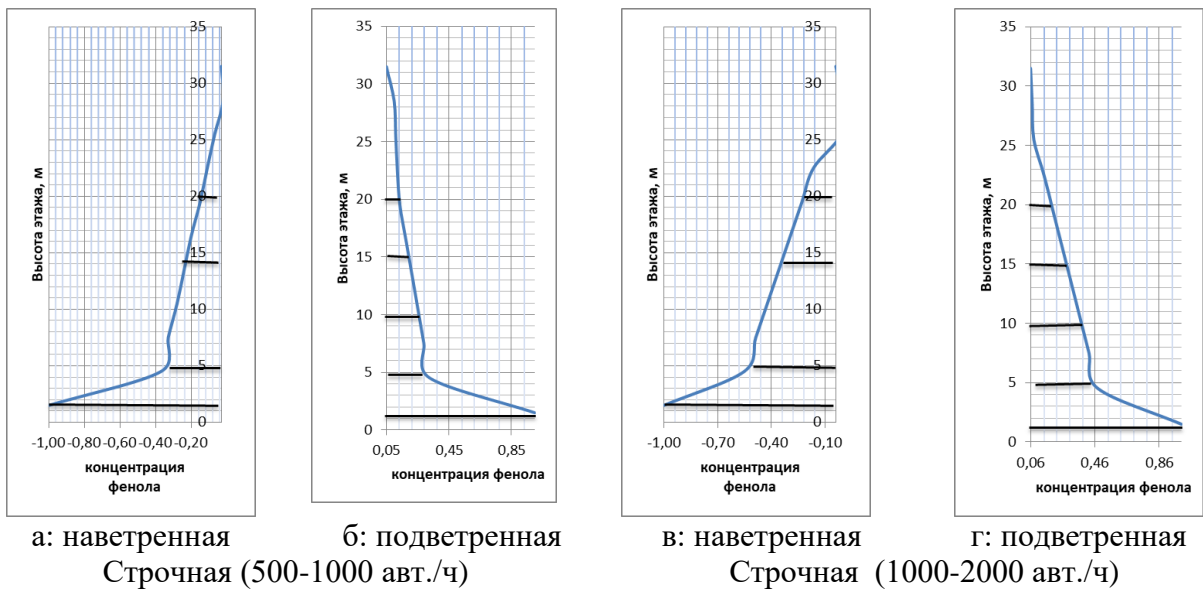


Рисунок 2.23 – Эпюры концентраций фенола в приточном воздухе по высоте зданий при строчном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

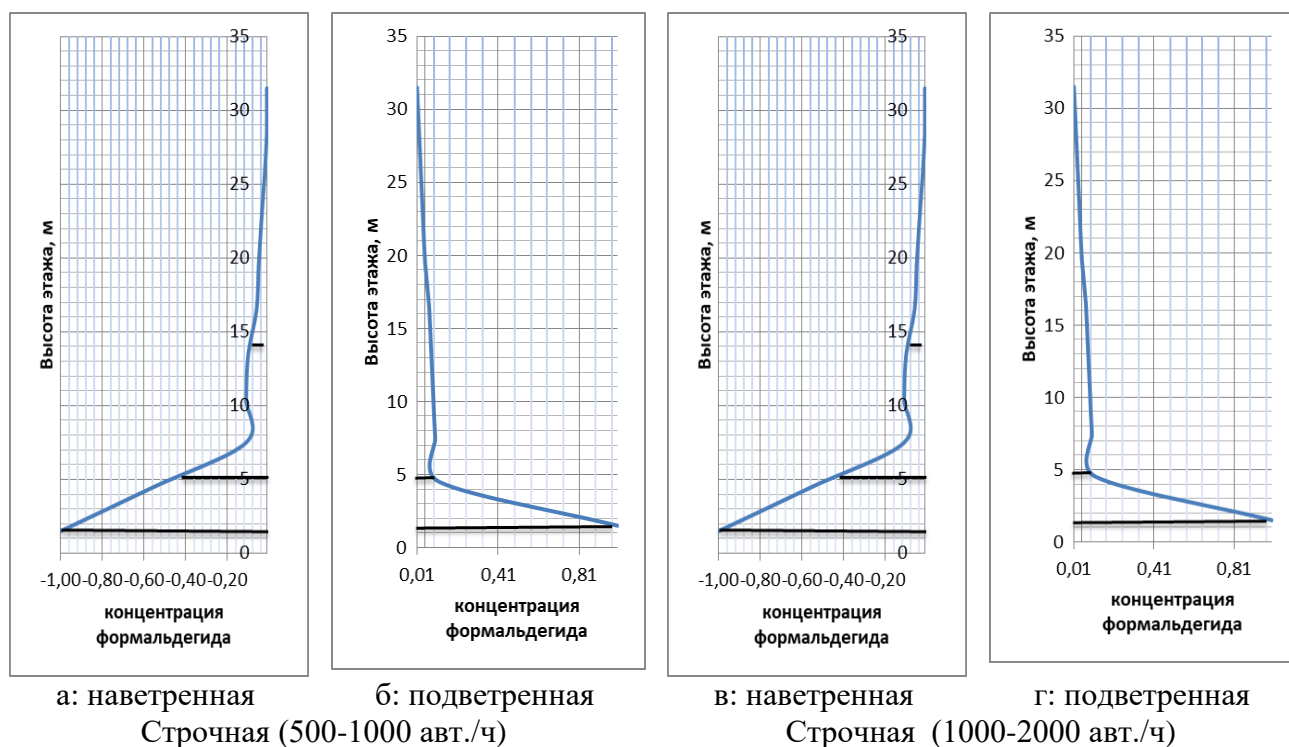


Рисунок 2.24 – Эпюры концентраций формальдегида в приточном воздухе по высоте зданий при строчном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

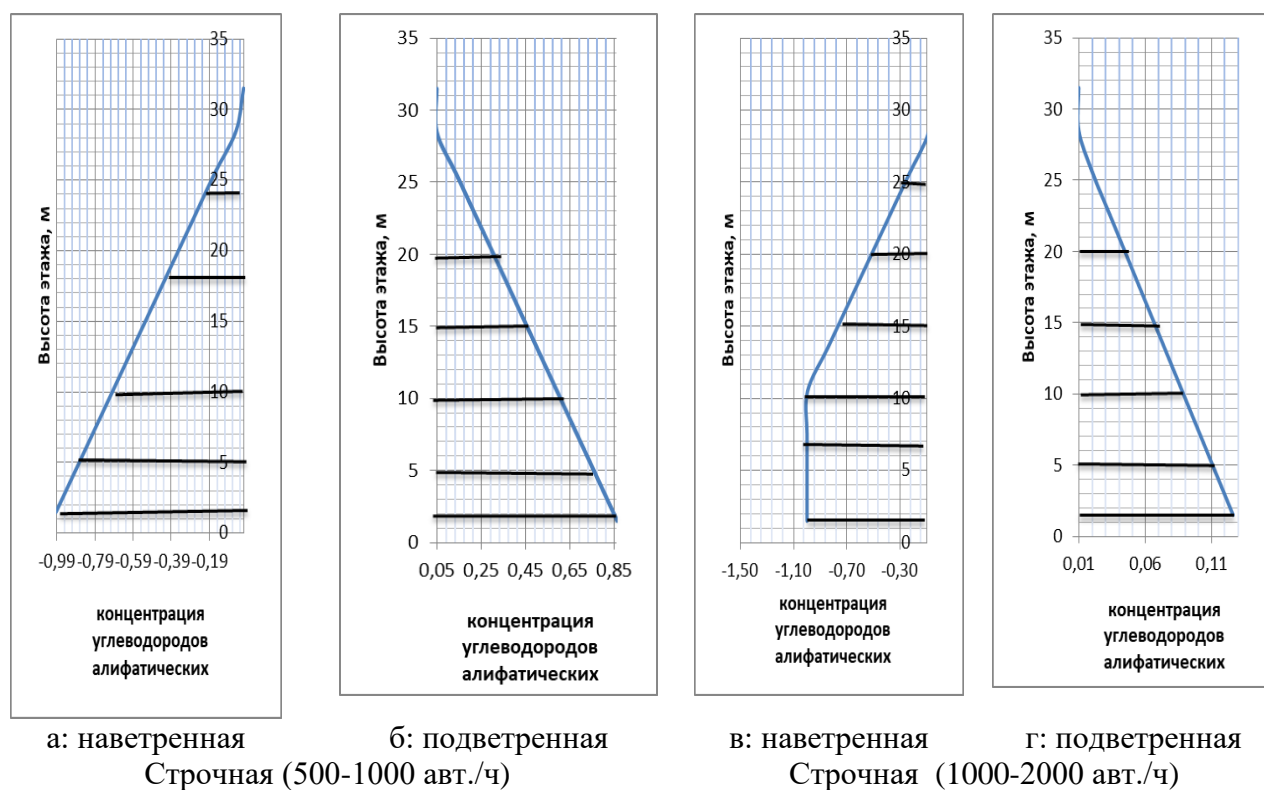
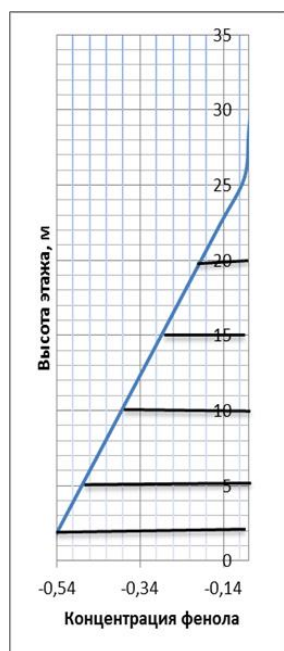
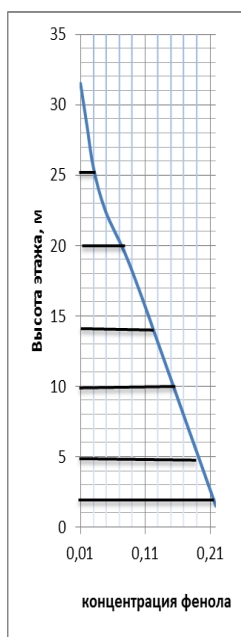


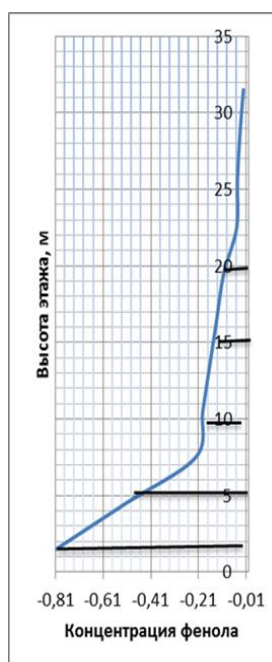
Рисунок 2.25 – Эпюры концентраций углеводородов алифатических (C1-C5) в приточном воздухе по высоте зданий при строчном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)



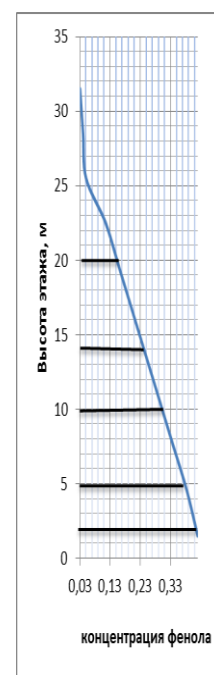
а: наветренная
Торцевая (500-1000 авт./ч)



б: подветренная

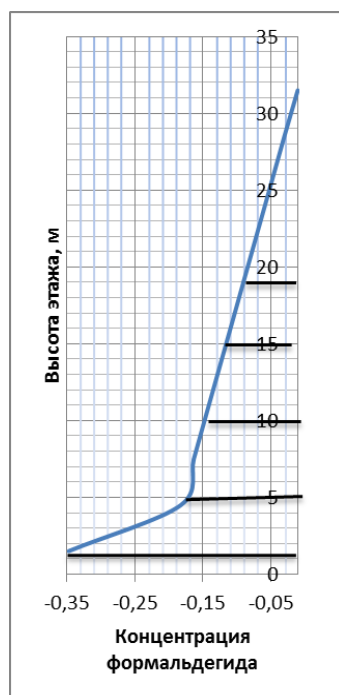


в: наветренная
Торцевая (1000-2000 авт./ч)

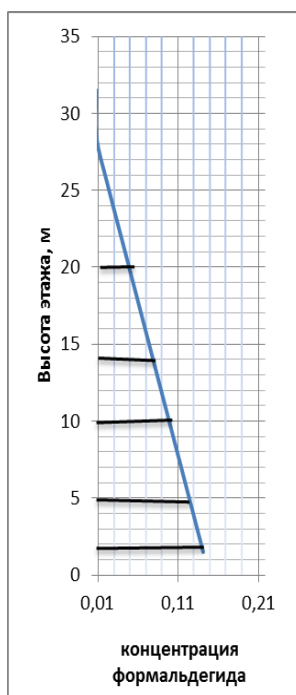


г: подветренная

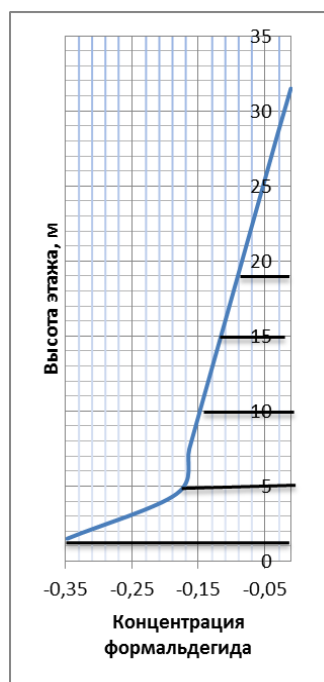
Рисунок 2.26 – Эпюры концентраций фенола в приточном воздухе по высоте зданий при торцевом типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)



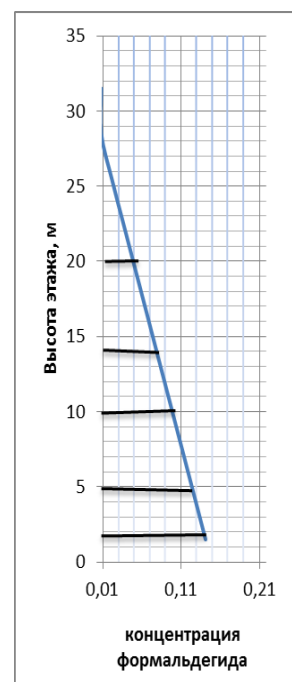
а: наветренная
Торцевая (500-1000 авт./ч)



б: подветренная



в: наветренная
Торцевая (1000-2000 авт./ч)



г: подветренная

Рисунок 2.27 – Эпюры концентраций формальдегида в приточном воздухе по высоте зданий при торцевом типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

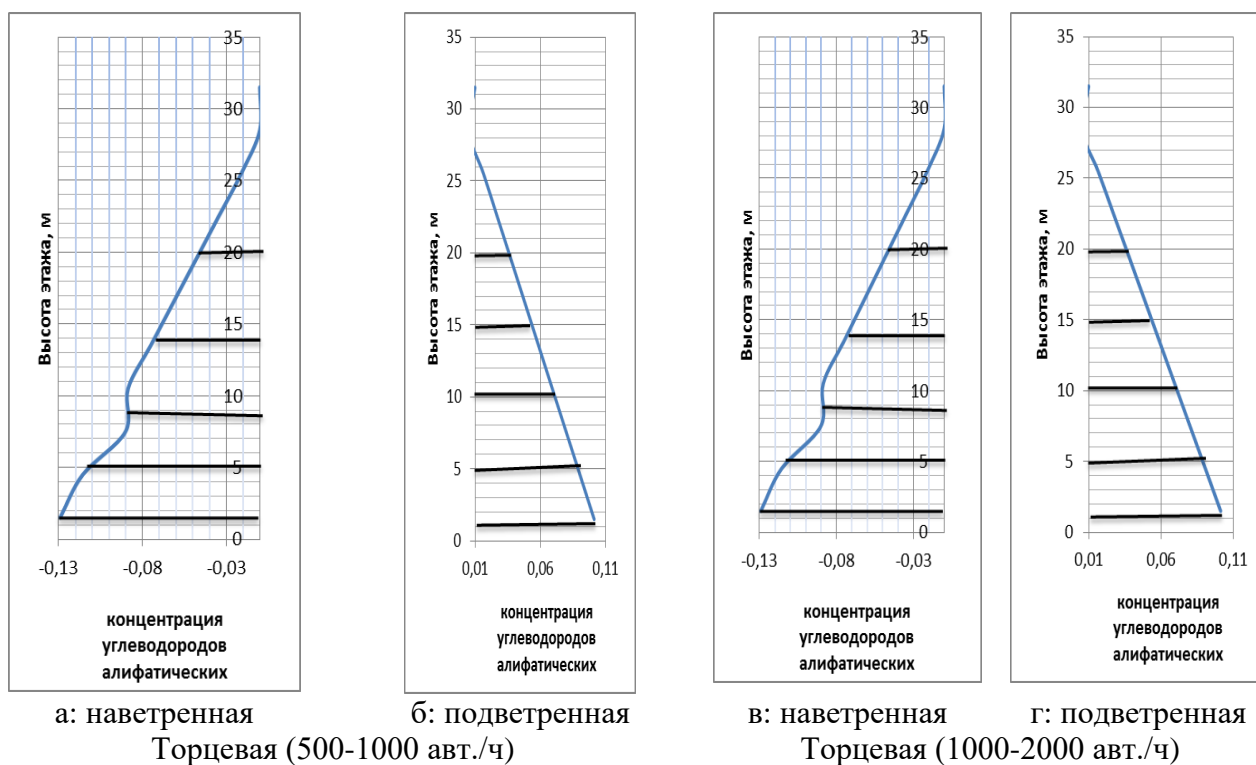


Рисунок 2.28 – Эпюры концентраций углеводородов алифатических (C1-C5) в приточном воздухе по высоте зданий при торцевом типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

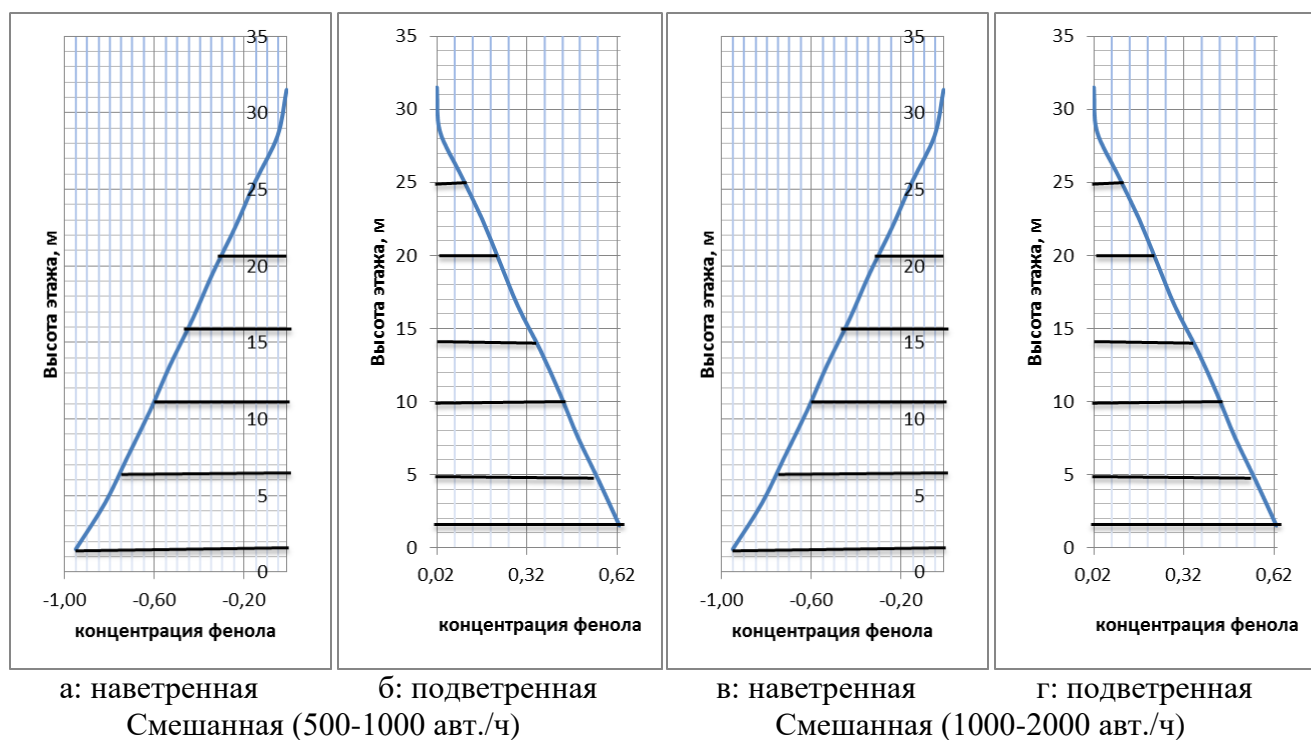


Рисунок 2.29 – Эпюры концентраций фенола в приточном воздухе по высоте зданий при смешанном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

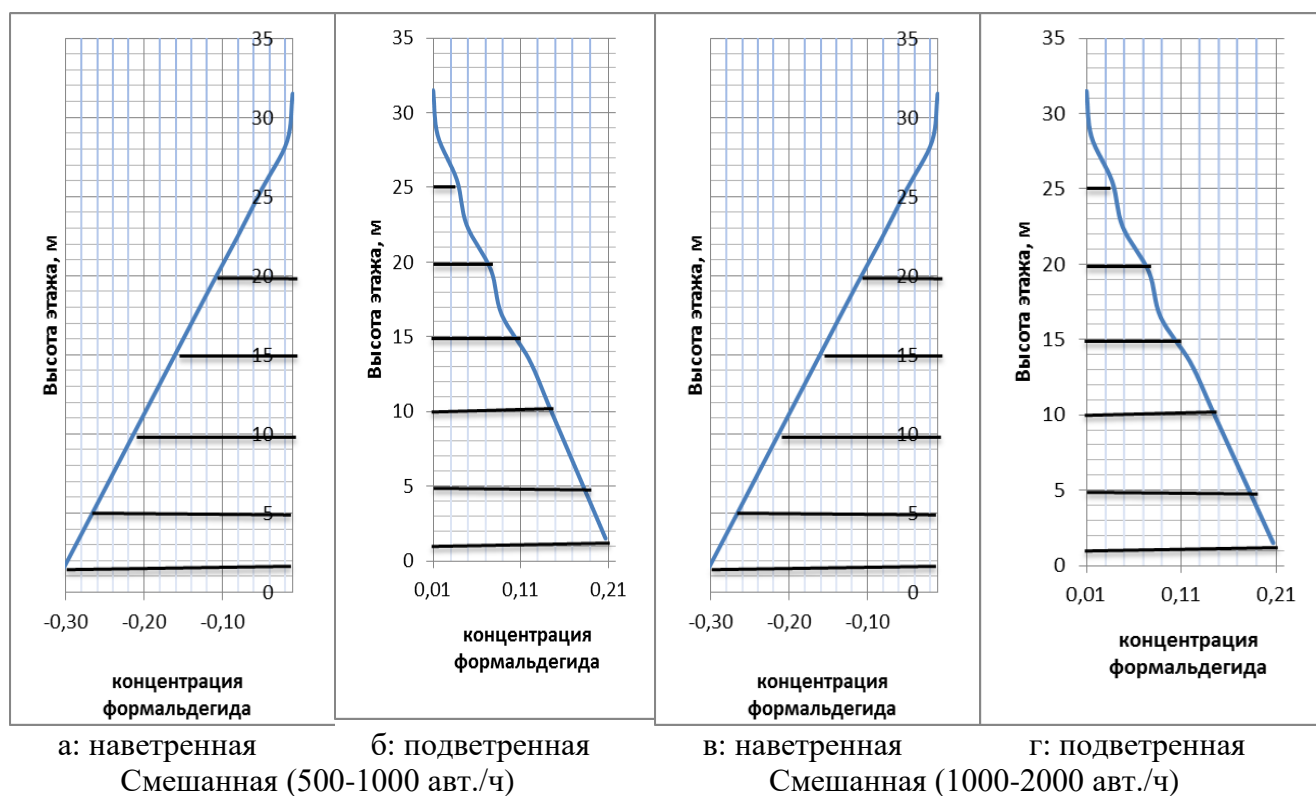


Рисунок 2.30 – Эпюры концентраций формальдегида в приточном воздухе по высоте зданий при смешанном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

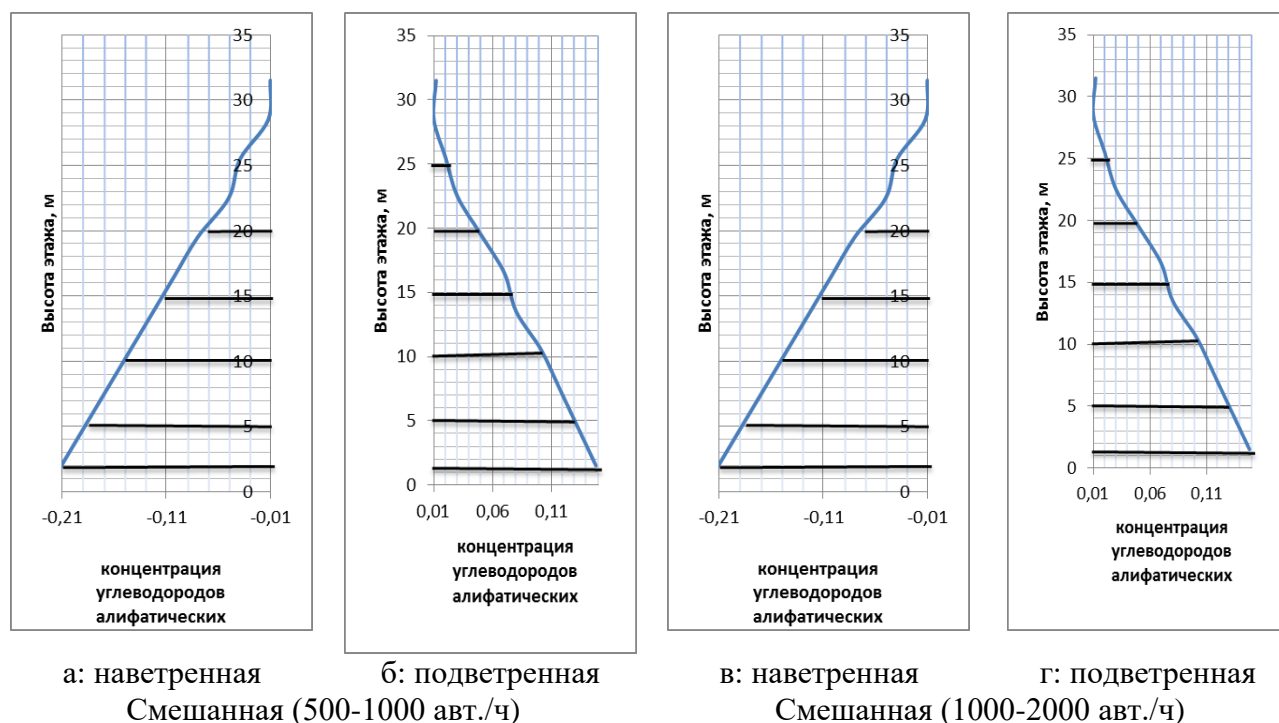


Рисунок 2.31 – Эпюры концентраций углеводородов алифатических (C1-C5) в приточном воздухе по высоте зданий при смешанном типе локальной застройки от передвижных источников выброса (при расстоянии от магистрали до здания около 30 метров)

По результатам экспериментальных исследований закономерность изменения безразмерных концентраций загрязнителей в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон здания по высоте от поверхности земли от магистрали зависит от типа локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, смешанная) конкретного района города, микрорайона. Кроме того, по построенным эпюрам виден процент величины безразмерных концентраций с наветренной стороны здания по отношению к подветренной.

Экспериментальные исследования концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) от передвижных источников выброса (автомагистралей) по высоте зданий показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителей с подветренной стороны уменьшается до 13,02%, при торцевой – до 2-3%, при периметральной – до 25%, при торцевой под углом – до 18,75%, при смешанной – до 31,16 %.

Доказано, что концентрации *i*-газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте здания от автотранспорта является случайными величинами функций $F(c_h)$ и описываются разными законами распределения для разного времени суток, интенсивности движения магистралей, типа локальной застройки. Параметры влажность, давление, скорость наружного воздуха по высоте зданий являются независимыми случайными величинами. Так, например, для интенсивности от 2000 авт./час и периметральной застройки законы распределения функции концентрации загрязнителей по высоте здания представлены в табл.2.27-2.28.

Таблица 2.27 – Законы распределения функции $F(c_h)$ концентрации по высоте здания от автотранспорта по данным с 2006-2020 гг. периметрального типа локальной застройки

Загрязнитель	Закон распределения	$M(c_{hi})$	σ
1	2	3	4
оксид углерода (II): дневное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{4,52\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-9,6)^2}{40}}$	9,6	4,52

Продолжение таблицы 2.27

1	2	3	4
ночное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{0,793\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-10,35)^2}{1,26}}$	10,35	0,793
фенол: дневное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{0,000144\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-0,0215)^2}{0,000000041}}$	0,0215	0,000144
ночное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{0,000108\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-0,022)^2}{0,000000023}}$	0,022	0,000108
формальдегид: дневное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{0,000239\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-0,0332)^2}{0,015540}}$	0,0332	0,000239
ночное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{0,000179\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-0,0262)^2}{0,0001791}}$	0,0269	0,000179
углеводороды алифатические: дневное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{0,344\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-1,933)^2}{0,2797}}$	1,933	0,344
ночное время	$F(c_{hi}) = \frac{1}{0,43\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(c_{hi}-0,846)^2}{0,3698}}$	0,846	0,43

Таблица 2.28 – Законы распределения функции скоростей ветра (V), влажности (φ), давления (p) атмосферного воздуха по высоте зданий от 1,5 до 100 м с 2006-2020 гг. периметрального типа

Закон распределения	M(c_{hi})	σ	Среднее квадратичное отклонение
$F(V_{hi}) = \frac{1}{2,148V\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln V-3,45)^2}{9,22}}$	3,45	2,148	1,465
$F(\varphi_{hi}) = \frac{1}{351V\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln \varphi-63)^2}{246402}}$	63	351	18,735
$F(p_{hi}) = \frac{1}{269p\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln p-709)^2}{144722}}$	269	709	16,14

Для других типов застроек законы распределения функции концентраций загрязнителей по высоте рассчитываются с учетом коэффициентов типа локальной застройки, полученных на основе экспериментальных данных (табл.2.25), п.2.6.

2.6.2. Построение поверхностей изменения концентраций загрязнителей для прогнозирования качества приточного воздуха зданий от автомагистралей

Рассмотрим пример (рис.2.32) использования полученного уравнения многофакторной регрессии для оценки и прогноза качества воздуха рядом с магистралью с интенсивностью движения 500 авт./ч.

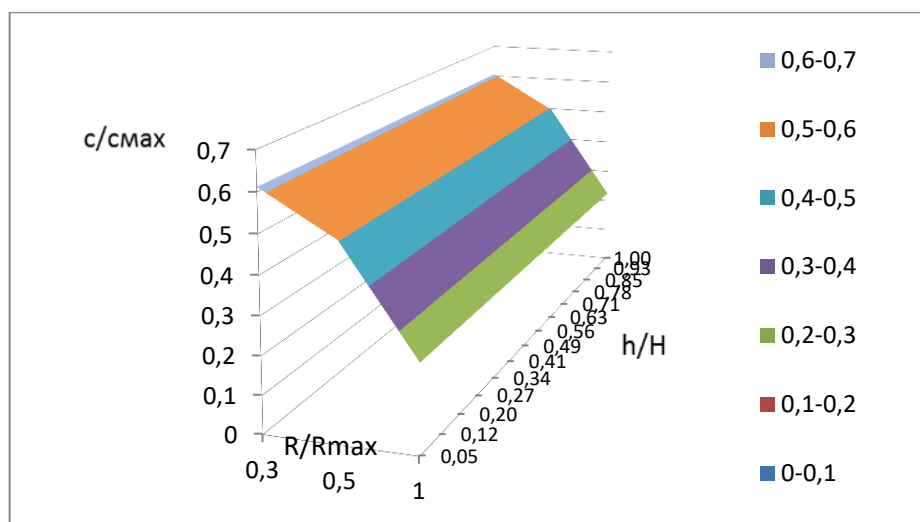


Рисунок 2.32 – Прогнозирование качества приточного воздуха зданий по высоте по оксиду углерода (II) от магистрали с интенсивностью движения автотранспорта 500 авт./ч

Таблица 2.29 – Прогнозирование качества приточного воздуха зданий по высоте по оксиду углерода (II) от магистрали с интенсивностью движения 500 авт./ч

h/H	C _i /C _{max}		
	R _i /R _{max} = 0,3	R _i /R _{max} = 0,5	R _i /R _{max} = 1
0,049	0,612	0,503	0,230
0,122	0,611	0,502	0,230
0,195	0,611	0,502	0,230
0,268	0,611	0,502	0,229
0,341	0,610	0,501	0,229
0,410	0,610	0,501	0,228
0,490	0,609	0,500	0,228
0,560	0,609	0,500	0,227
0,630	0,608	0,499	0,227
0,710	0,608	0,499	0,226
0,780	0,607	0,498	0,226
0,850	0,607	0,498	0,225
0,930	0,606	0,497	0,225
1,000	0,606	0,497	0,224

Так, допустим, требуется определить концентрацию оксида углерода (II) во всех точках по высоте проектируемого здания.

Если проектируемое здание находится на расстоянии 50 м от магистрали, тогда согласно полученным уравнениям многофакторной регрессии и построенной поверхности прогнозирования концентраций в наружном воздухе здания получаем следующее (рис.2.32, табл. 2.29):

- отношение безразмерной величины $\frac{c_i}{c_{max}}$ больше $\frac{c_i}{c_{пдк}}$ на высотах с $0,049 \cdot \frac{h_i}{H}$ до высоты $0,49 \cdot \frac{h_i}{H}$ здания, то на этих высотах (с 1 этажа до середины

здания) необходима очистка приточного воздуха. На остальных высотах здания необходимо монтировать клапаны без очистки воздуха от газообразных веществ, что значительно снизит затраты на улучшения качества воздуха зданий.

Аналогичным образом построена поверхность изменения концентраций оксида углерода (II) по высоте здания (табл.2.30) от магистрали с интенсивностью движения более 2000 авт./ч.

Таблица 2.30 – Прогнозирование качества приточного воздуха зданий по высоте по оксиду углерода (II) от магистрали с интенсивностью движения 2000 авт./ч

h_i/H	C_i/C_{\max}		
	$R_i/R_{\max} = 0,3$	$R_i/R_{\max} = 0,5$	$R_i/R_{\max} = 1$
0,03	0,927	0,818	0,546
0,08	0,927	0,818	0,545
0,12	0,927	0,818	0,545
0,17	0,927	0,818	0,545
0,22	0,926	0,817	0,545
0,26	0,926	0,817	0,545
0,31	0,926	0,817	0,545
0,36	0,926	0,817	0,544
0,40	0,926	0,817	0,544
0,45	0,925	0,816	0,544
0,49	0,925	0,816	0,544
0,54	0,925	0,816	0,544
0,59	0,925	0,816	0,543
0,63	0,925	0,816	0,543
0,68	0,925	0,816	0,543
0,73	0,924	0,815	0,543
0,77	0,924	0,815	0,543
0,82	0,924	0,815	0,542
0,87	0,924	0,815	0,542
0,91	0,924	0,815	0,542
0,96	0,923	0,814	0,542
1,01	0,923	0,814	0,542

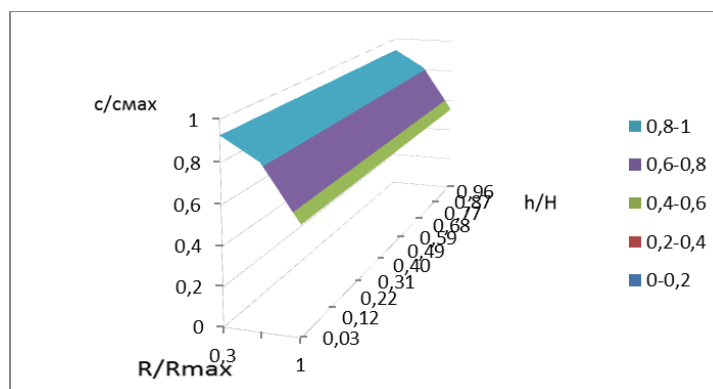


Рисунок 2.33 – Прогнозирование качества приточного воздуха зданий по высоте по оксиду углерода (II) от магистрали с интенсивностью движения 2000 авт./ч

На табл.2.30 и рис. 2.33 видно, что с ростом интенсивности движения автотранспорта магистрали очистка приточного воздуха в приточных клапанах необходима на всех высотах здания, для зданий, находящихся на расстоянии 30, 50 метров от магистрали с интенсивностью от 2000 авт./ч.

Для других газообразных загрязнителей расчёт необходимо вести согласно полученным уравнениям многофакторной регрессии (2.18)-(2.21). Так, для газообразных загрязнителей наружного воздуха: фенола, формальдегида, углеводородов алифатических по уравнению многофакторной регрессии получаем поверхности для прогнозирования их концентраций в приточном воздухе по этажам зданий (рис. 2.32-2.33).

Таблица 2.31 – Прогнозирование качества наружного воздуха зданий по высоте по фенолу от магистрали с интенсивностью движения 2000 авт./ч

h_i/H	C_i/C_{\max}		
	$R_i/R_{\max} = 0,3$	$R_i/R_{\max} = 0,5$	$R_i/R_{\max} = 1$
0,03	0,081	0,066	0,030
0,08	0,081	0,066	0,030
0,12	0,081	0,066	0,030
0,17	0,081	0,066	0,030
0,22	0,081	0,066	0,030
0,26	0,081	0,066	0,030
0,31	0,081	0,066	0,030
0,35	0,081	0,066	0,030
0,40	0,080	0,066	0,030
0,45	0,080	0,066	0,030
0,49	0,080	0,066	0,030
0,54	0,080	0,066	0,030
0,58	0,080	0,066	0,030
0,63	0,080	0,066	0,030
0,68	0,080	0,066	0,030
0,72	0,080	0,066	0,030
0,77	0,080	0,066	0,030
0,82	0,080	0,066	0,030
0,86	0,080	0,066	0,030
0,91	0,080	0,066	0,030
0,95	0,080	0,066	0,030
1,00	0,080	0,066	0,030

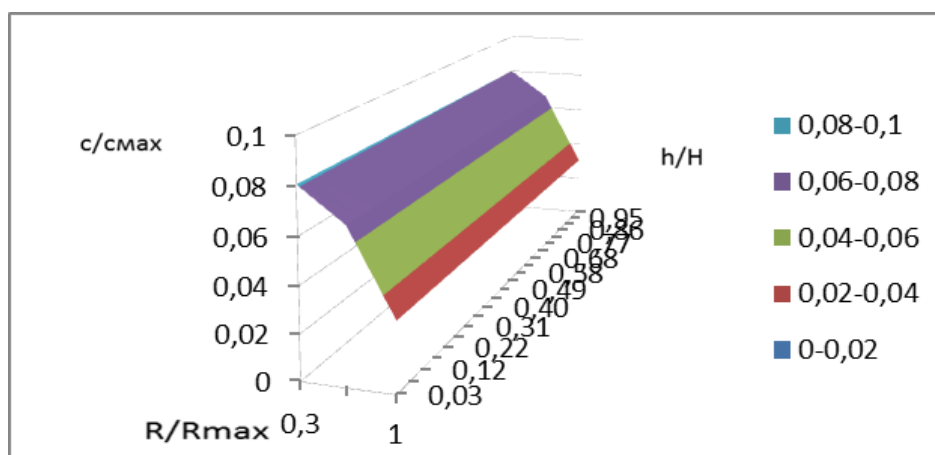


Рисунок 2.34 – Прогнозирование качества приточного воздуха зданий по фенолу от магистрали интенсивностью движения 2000 авт./ч

Таблица 2.32 – Прогнозирование качества наружного воздуха зданий по высоте по формальдегиду от магистрали с интенсивностью движения 2000 авт./ч

h_i/H	C_i/C_{\max}		
	$R_i/R_{\max} = 0,3$	$R_i/R_{\max} = 0,5$	$R_i/R_{\max} = 1$
0,03	0,286608	0,286608	0,286608
0,08	0,286549	0,286549	0,286549
0,12	0,286490	0,286490	0,286490
0,17	0,286432	0,286432	0,286432
0,22	0,286373	0,286373	0,286373
0,26	0,286314	0,286314	0,286314
0,31	0,286256	0,286256	0,286256
0,36	0,286197	0,286197	0,286197
0,40	0,286138	0,286138	0,286138
0,45	0,286079	0,286079	0,286079
0,49	0,286021	0,286021	0,286021
0,54	0,285962	0,285962	0,285962
0,59	0,285903	0,285903	0,285903
0,63	0,285845	0,285845	0,285845
0,68	0,285786	0,285786	0,285786
0,73	0,285727	0,285727	0,285727
0,77	0,285668	0,285668	0,285668
0,82	0,285610	0,285610	0,285610
0,87	0,285551	0,285551	0,285551
0,91	0,285492	0,285492	0,285492
0,96	0,285434	0,285434	0,285434
1,01	0,285375	0,285375	0,285375

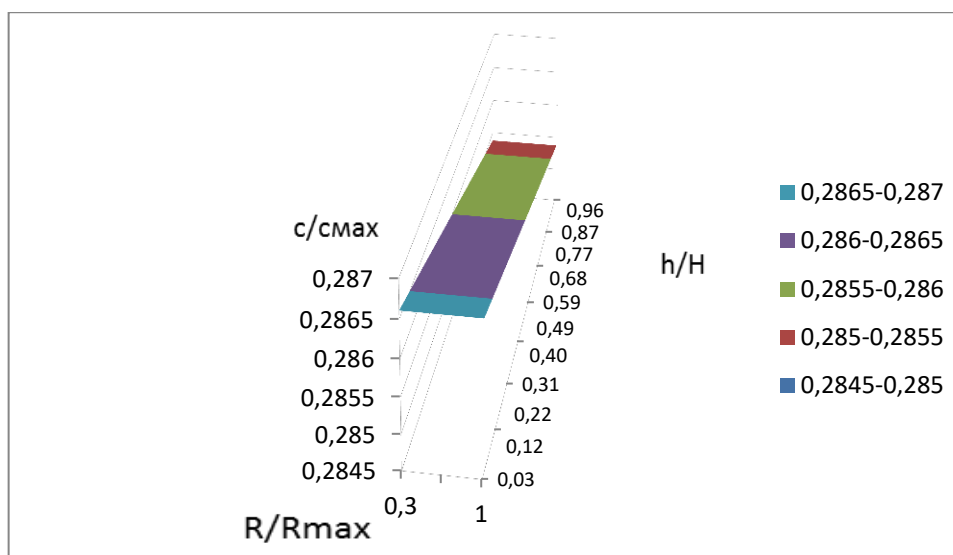


Рисунок 2.35 – Прогнозирование качества приточного воздуха зданий по формальдегиду от магистрали интенсивностью движения 2000 авт./ч

Таблица 2.33 – Прогнозирование качества наружного воздуха зданий по высоте по углеводородам алифатическим (C1-C5) от магистрали с интенсивностью движения 2000 авт./ч

h _i /H	C _i /C _{max}		
	R _i /R _{max} = 0,3	R _i /R _{max} = 0,5	R _i /R _{max} = 1
0,03	1,297030	1,066493	0,489065
0,08	1,296379	1,066493	0,489065
0,12	1,295729	1,066493	0,489065
0,17	1,295078	1,066493	0,489065
0,22	1,294427	1,066493	0,489065
0,26	1,293776	1,066493	0,489065
0,31	1,293126	1,066493	0,489065
0,35	1,292475	1,066493	0,489065
0,40	1,291824	1,066493	0,489065
0,45	1,291174	1,066493	0,489065
0,49	1,290523	1,066493	0,489065
0,54	1,289872	1,066493	0,489065
0,58	1,289222	1,066493	0,489065
0,63	1,288571	1,066493	0,489065
0,68	1,287920	1,066493	0,489065
0,72	1,287269	1,066493	0,489065
0,77	1,286619	1,066493	0,489065
0,82	1,285968	1,066493	0,489065
0,86	1,285317	1,066493	0,489065
0,91	1,284667	1,066493	0,489065
0,95	1,284016	1,066493	0,489065
1,00	1,283365	1,066493	0,489065

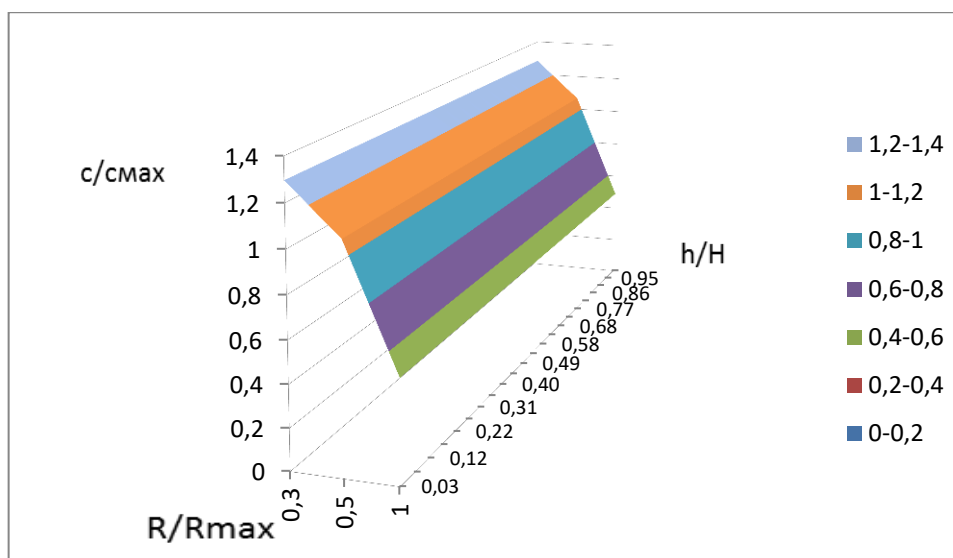
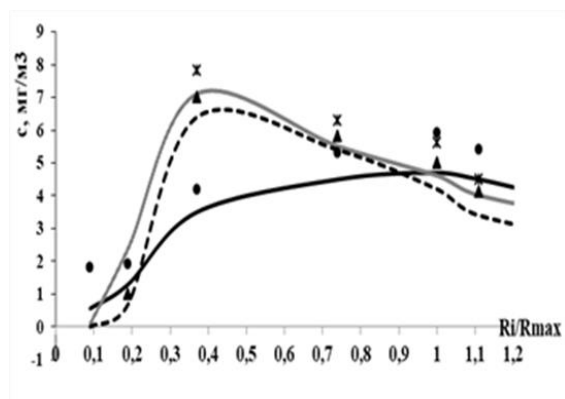


Рисунок 2.36 – Прогнозирование качества приточного воздуха зданий по углеводородам алифатическим (C1-C10) от магистрали интенсивностью 2000 авт./ч

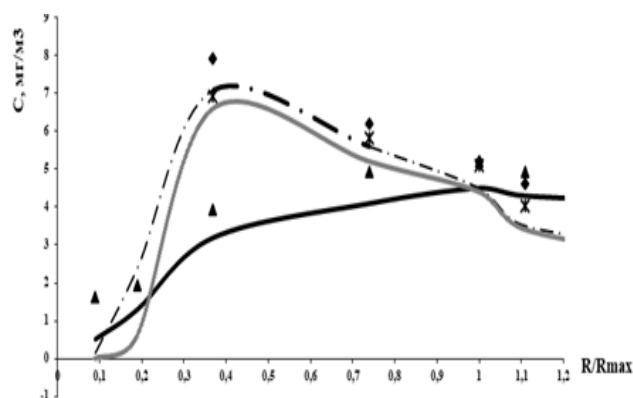
По рис. 2.36 видно, что превышений не обнаружено для зданий, находящихся на расстоянии далее 100 м. На расстояниях 30, 50 метров от магистрали очистка воздушной среды необходима по углеводородам алифатическим на всех высотах (этажах) здания.

2.7. Сравнение результатов предлагаемой методики расчёта с общепринятыми методиками расчёта вертикального распределения концентраций загрязнителей в приточном воздухе

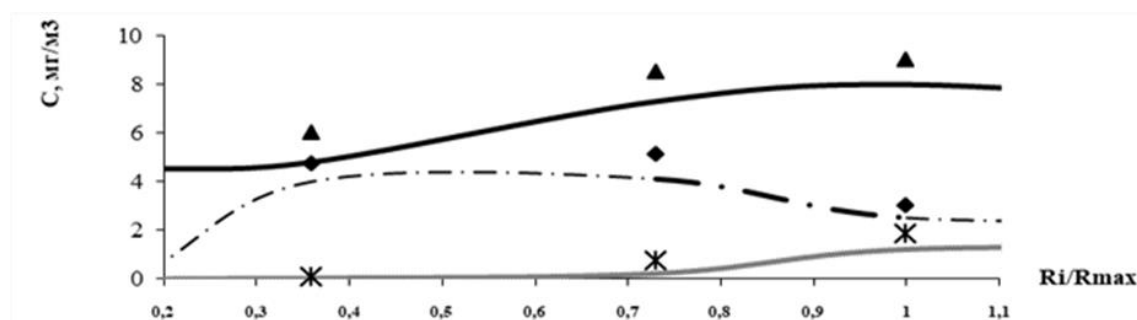
На основе полученных уравнений (2.28)-(2.32) проведен сравнительный анализ расчётных концентраций в приточном воздухе зданий на примере оксида углерода (II) по высоте зданий по общепринятой методике расчёта рассеивания загрязнителей МРР 2017 и расчёта концентраций СО по разработанной методике расчёта вертикального распределения концентраций от точечных источников выброса разной высоты выброса и на разных расстояниях от зданий с учётом типа локальной застройки (рис. 2.37).



а



б



в

Рисунок 2.37 – Распределение концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе от точечных источников выброса (строчная застройка) по высоте зданий на уровне 1,5 м; 15 м; 33,75 м: а – $H_{\text{и}}=2H$; б – $H_{\text{и}}=H$; в – $H_{\text{и}}=0,5H$: $H_{\text{и}}$ – высота источника, м; H – высота здания, м; R_i – расстояние от источника до здания, м; R_{max} – расстояние, на котором достигается максимально-приземная концентрация, м

— $C(1,5 \text{ м})$
 - - - $C(15 \text{ м})$
 — $C(33,75 \text{ м})$

▲ $C(1,5 \text{ м})$
 ◆ $C(15 \text{ м})$
 ✖ $C(33,75 \text{ м})$

по программе Эколог (Интеграл) результаты расчёта концентраций загрязнителя по общепринятой методике рассеивания МРР 2017

результаты расчёта концентраций загрязнителя по предложенной методике вертикального распределения концентраций с учётом типа локальной застройки

По построенным графикам (рис.2.37, а – рис.2.37, в) расхождение с общепринятой методикой тем больше, чем ближе расчётная точка к угловой зоне, где образуются вторичные рециркуляционные течения: застойные зоны со скоростью ветра близкой к нулю и турбулентным перемешиванием. На уровне этажа $0,05\left(\frac{h}{H}\right)$ (первый этаж) результаты по методике МРР 2017 меньше по величине концентрации загрязняющего вещества до 10%, на уровне середины здания $0,5\left(\frac{h}{H}\right)$ – до 15%, на уровне последнего этажа $1\left(\frac{h}{H}\right)$ – до 9%.

Расхождение значительно на уровне 1,5–2 м, что составляет без учёта типа местной застройки и эффекта суммации и перемещения масс автомагистралей в данном приведенном варианте (на примере строчной застройки) до 10-11 %.

Результаты расчетов по МРР 2017 по высоте здания не учитывают точки, близкие к зданию, где возникают вторичные рециркуляционные течения, тип локальной застройки (периметральная, строчная, торцевая, смешанная).

Для расчёта загрязнения наружного воздуха по высоте от передвижных источников, задавая граничные условия изменения концентрации по высоте всего здания H от $0,1(h_i/H)$ – уровень первого этажа до $1(h_i/H)$ – уровень последнего этажа, проинтегрируем функцию безразмерных концентраций (2.24)-(2.25) по высоте здания:

$$\int_{0,1h_i/H}^{1h_i/H} F\left(\frac{c_i}{c_{max}}\right) d\left(\frac{hi}{H}\right) \quad (2.27)$$

Получаем уравнение (2.28) безразмерных концентраций вредных веществ в приточном воздухе для i -высоты, ограниченной высотой здания от первого этажа $0,1(h_i/H)$ до $1(h_i/H)$ (уровня последнего этажа здания), где h_i – высота от поверхности земли, м; H – высота здания, м:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = \left(\frac{0,169 \cdot T^{3/2} \cdot \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{1/2}}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2} + 0,198 \cdot V_i \right) \cdot \left[\left(\ln\left(\frac{hi}{H}\right) - \ln\left(0,1 \frac{hi}{H}\right) \right) + \frac{hi^2}{2H^2} - \frac{0,01hi^2}{2H^2} - \frac{1}{hi/H} - \frac{1}{0,1hi/H} \right]; \quad (2.28)$$

где V_i – скорость ветра по высоте от поверхности земли h_i , м/с; H – высота здания, м; h_i – высота этажа, м; T – температура воздуха, К; $V_{M,1}$ и $V_{M,2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах, см³/моль; $M_1; M_2$ – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p – атмосферное давление, атм.

Задавая граничные условия изменения концентраций по расстоянию R от $0,1(R_i/R_{max})$ до $1(R_i/R_{max})$, проинтегрируем функцию безразмерных концентраций (2.28) по удалению от магистрали до здания:

$$\int_{0,1R_i/R_{max}}^{1R_i/R_{max}} F\left(\frac{c_i}{c_{max}}\right) d\left(\frac{Ri}{R_{max}}\right); \quad (2.29)$$

Получаем уравнение безразмерных концентраций (2.30) для i - расстояния:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = \left(\frac{0,469 \cdot T^{3/2} \cdot (M_1 + M_2)^{1/2}}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2} + 0,545 \cdot V_i \right) \cdot \left[\ln \left(\frac{R_i}{R_{max}} \right) - \ln \left(0,1 \frac{R_i}{R_{max}} \right) \right] + \frac{R_i^2}{2R_{max}^2} - \frac{0,01R_i^2}{2R_{max}^2} - \frac{1}{R_i/R_{max}} - \frac{1}{0,1R_i/R_{max}} \quad (2.30)$$

Для точечных источников выброса загрязнение приточного воздуха зданий описывается уравнением (2.32):

$$\int_{0,1h_i/H}^{1h_i/H} F \left(\frac{c_i}{c_{max}} \right) d \left(\frac{h_i}{H} \right), \quad (2.31)$$

$$\frac{c_i}{c_{max}} = -V_i \frac{0,130(R_{max} - R_i)}{R_{max}^2} + \frac{0,430 \cdot T^{3/2}}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2} \cdot (M_1 + M_2)^{1/2} \cdot \left[\frac{0,415 \cdot (H^2 - H \cdot H_i)}{H^4} - \frac{0,370 \cdot (H - h_i)}{H^2} \right] \quad (2.32)$$

где V_i – скорость ветра по высоте от поверхности земли h_i , м/с; R_{max} – максимальное расстояние от магистрали до зданий, на котором обнаружена концентрация i -загрязняющего вещества, м; R_i – расстояние от магистрали до здания, м; H – высота здания, м; H_i – высота источника, м; h_i – высота этажа, м; T – температура воздуха, К; $V_{M,1}$ и $V_{M,2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах, см³/моль; $M_1; M_2$ – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p – атмосферное давление, атм.

При прогнозе степени загрязнения приточного воздуха зданий по полученным уравнениям (2.28)-(2.32) с учётом типа застройки и общепринятых методик расчёта рассеивания загрязнителей МРР 2017, реализованной в программе Эколог (Интеграл), зарубежных методик, реализованных в программах CaLINE 3, ENVI-met, результаты степени загрязнения приточного воздуха зданий не учитывают тип локальной застройки, изменяемую по высоте и направлению скорость ветра воздушного потока вблизи зданий (рис.2.38).

Расхождение с методиками расчёта больше, чем ближе расчётная точка к угловой зоне, где образуются вторичные рециркуляционные течения: зоны со скоростью ветра близкой к нулю, турбулизации воздуха у наружной стены зданий, разница обусловлена скоростями ветра по высоте зданий, направлением

ветров к застройке, разным типом локальной застройки (табл. 2.34). Методика расчёта рассеивания загрязнений от передвижных источников в программе CaLINE 3 не позволяет учитывать изменяющуюся по величине и направлению скорость ветра по высоте от поверхности земли вблизи зданий при разных типах локальных застроек. Так, по высоте здания концентрация газообразных загрязнителей занижена до 10 % при торцевой застройке, до 5-8% при строчной застройке, до 11-12% при периметральной застройке. В программе ENVI-met концентрации занижены на уровне верхних этажей здания до 12 % для торцевой застройки, до 6% при периметральной застройке, при смешанной до 3 %.

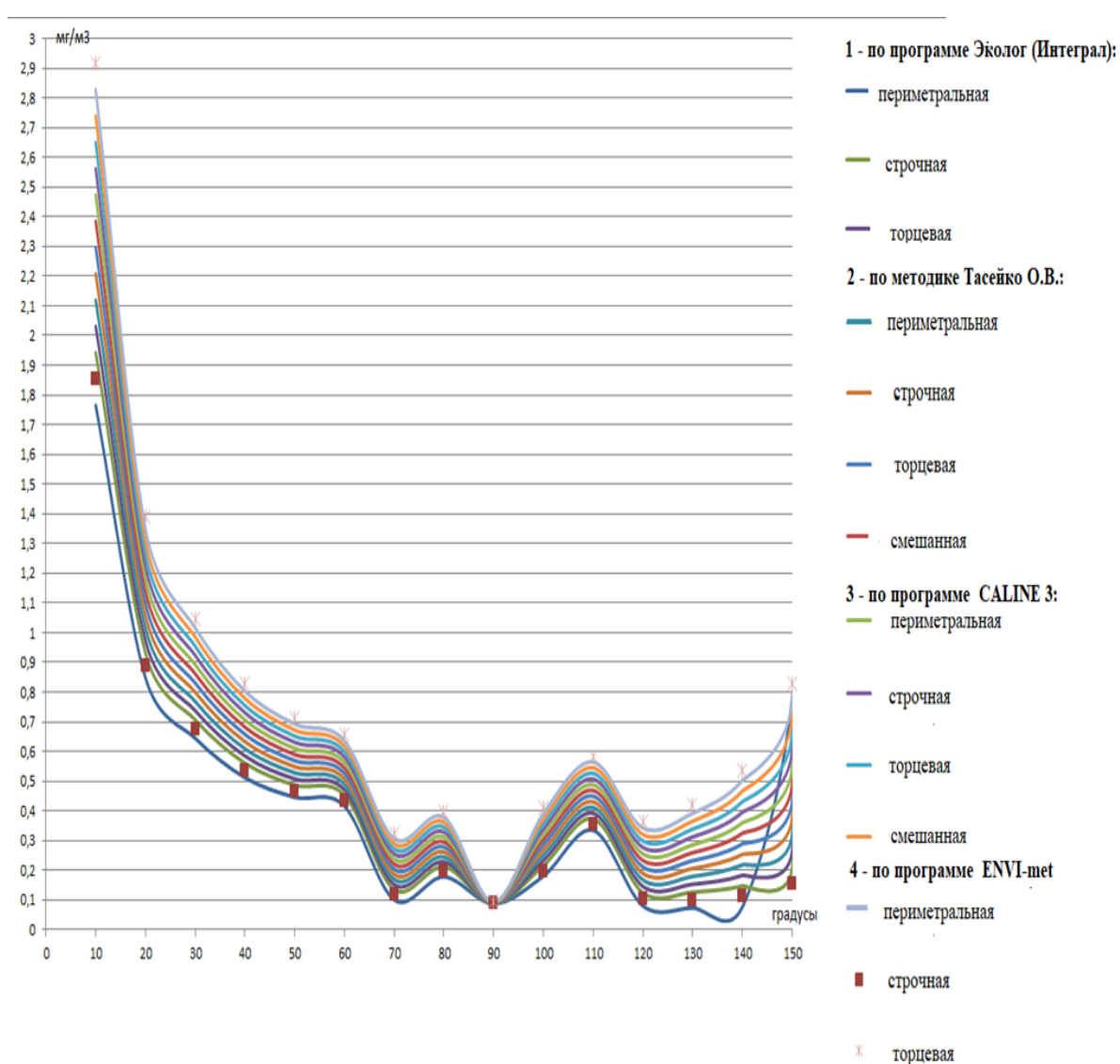


Рисунок 2.38 — Распределение концентрации оксида углерода (II) в приточном воздухе при различных направлениях ветра к застройке

Таблица 2.34 – Сравнение с методиками расчёта рассеивания загрязняющих веществ в наружном воздухе, реализованных в программных продуктах (процент разницы величины концентраций загрязняющих веществ)

тип локальной застройки	СА-LINE, %	ENVI-met, %	Эколог (Интеграл), %
торцевая	до 10	до 12	до 15
строчная	до 5-8	до 5	до 10
периметральная	до 11-12	до 6	до 16
смешанная	до 3	до 3	до 5

Сходимость разработанных уравнений вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе и опытных данных составляет не более 15 %.

Таким образом, сравнительные графики результатов расчёта общепринятой методики МРР 2017 и разработанной методики вертикального распределения концентраций загрязнителей на основе многолетних экспериментальных исследований наружного воздуха по высоте зданий подтвердили закономерности изменения концентраций газообразных загрязняющих веществ по высоте при различных типах локальной застройки, характеристиках источника выброса с учетом климатических особенностей различных регионов, что позволило учесть тип локальной застройки при различных характеристиках отношения высоты источника к высоте здания с наветренной и подветренной сторон, вертикальное распределение изменяемой по величине и направлению скорости движения воздуха вблизи зданий.

В разделе МРР 2017: IX. Метод расчета рассеивания выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с учетом влияния застройки (пункт. 9.7) есть поправка учета влияния застройки (длина, ширина зданий, аэродинамические тени), учитывается опасная скорость ветра на квартал, но нет поправки типа локальной застройки (периметральная, точечная, торцевая, торцевая под углом, смешанная) - структуры застройки кварталов поселения, определяемая сочетанием нескольких градостроительных типологий застройки, в зависимости от взаимного размещения зданий и их расположения по отношению к красным линиям локального района города (микрорайона), не

учитывается доля распределения максимальной концентрации по высоте от поверхности земли к концентрации по высоте здания. Полученные уравнения (2.28)-(2.32) позволяют учитывать величину скорости ветра и ее направление по высоте от поверхности земли у наружной стены зданий с наветренной и подветренной сторон от источника.

Таким образом, разработанная методика расчёта для прогнозирования вертикального загрязнения приточного воздуха от наружных источников включает:

1. Входные параметры: вид источника выброса: от точечного источника: в зимний и летний периоды параметры приточного воздуха: скорость ветра (U), м/с; температура, К; давление, мм.рт.ст. (атм.); роза ветров, по основным румбам, %; расстояние от источника до здания R_i , м; высота здания H , м; длина здания L , м; высота источника $H_{и}$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_{и}/H$; массы выбросов загрязняющих веществ, г/с (мг/ч); плотность застройки, тип локальной застройки: периметральная; торцевая; строчная; торцевая под углом; смешанная; в случае присутствия передвижных источников дополнительно: расстояние от магистрали до здания R_i , м; интенсивность автомагистрали I , авт./ч: до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч.

2. Принимаются поправочные коэффициенты в зависимости от типа локальной застройки для концентраций загрязняющих веществ по высоте здания от точечных источников с наветренной (I) и подветренной (II) сторон здания и передвижных при различной интенсивности движения магистралей.

3. Определяются величины проекций скоростей наружного воздуха по высоте здания (каждого этажа) с учётом длины локальной застройки, длины здания, высоты от поверхности земли у здания, температуры наружного воздуха, температура выброса; угла направления ветра к застройке.

4. Расчёт вертикального загрязнения приточного воздуха от наружных источников на основе определения безразмерных концентраций газообразных загрязнителей с учётом максимальной концентрации вредного вещества по

высоте зданий, молекулярной массы воздуха и загрязнителей, температуры, давления наружного воздуха.

5. Проведение сводного расчёта загрязнения приточного воздуха загрязнителями по высоте здания от наружных источников выбросов.

6. Определение высот от поверхности земли по наружной стене здания, где концентрации загрязнителей превышают допустимую норму.

Выводы по 2 главе

Экспериментально и теоретически обоснована методика расчёта вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе с учётом типа локальной застройки от точечных и передвижных (автотранспорта) источников выброса для проектирования приточных устройств с очисткой воздуха в помещения по высоте зданий:

1. Входными параметрами методики расчёта прогнозирования качества приточного воздуха от точечных источников являются: расстояние от источника до здания R_i , м; высота здания H , м; высота источника $H_{и}$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_{и}/H$; параметры приточного воздуха в холодный и тёплый периоды года: скорость ветра (U), м/с; температура, в Кельвинах; давление, мм.рт.ст. (атм); роза ветров, по основным румбам, % для городов по данным центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; тип локальной застройки: периметральная; торцевая; строчная; торцевая под углом; смешанная.

2. Законы распределения функции величины концентрации газообразных загрязнителей для различного уровня от поверхности земли по высоте здания от передвижных источников, в расчётных зависимостях отличаются по времени суток, интенсивности движения магистрали, градостроительной типологии локальной городской застройки (периметральная; торцевая; строчная; торцевая под углом; смешанная) при различных независимых величинах метеорологических факторов.

3. Входящими параметрами методики расчёта вертикального распределения безразмерных концентраций в приточном воздухе от автотранспорта с наветренной стороны являются: расстояние от магистрали до здания R_i , м; высота здания H , м; интенсивность автомагистрали I , авт./ч: до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч; в холодный и тёплый периоды года параметры приточного воздуха: скорость ветра (V), м/с; температура, К; давление, мм.рт.ст. (атм.); тип локальной застройки.

4. Экспериментальные исследования концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе от точечных источников выброса по высоте зданий показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителя с подветренной стороны зданий уменьшается до 31,25%, при торцевой – до 10%, при периметральной – до 20%, при торцевой под углом – до 17,86%, при смешанной – до 12,11 %. Закономерности изменений концентраций CO зависят не только от высоты источника $H_{и}$, высоты здания H , расстояния от источника до здания, но и типа локальной застройки.

5. Получены поправочные коэффициенты концентраций газообразных загрязнителей, позволяющие учитывать тип локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, смешанная) от точечных и передвижных источников, позволяющие конкретизировать расчётные концентрации вредных веществ в приточном воздухе по высоте зданий в зависимости от типологий городской застройки.

6. Построены поверхности закономерностей концентраций оксида углерода (II) в приточном воздухе по высоте здания, позволяющие поставить долгосрочный прогноз по вертикальному загрязнению CO от точечных источников от факторов: расстояния от источника до наружной стены здания, высоты источника выброса, высоты этажа наружной стены здания. Построены поверхности для прогнозирования концентрации оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических в приточном воздухе по высоте здания от передвижных источников от факторов: расстояния магистрали до

наружной стены здания, интенсивности магистрали, высоты каждого этажа здания.

7. Построенные эпюры величин безразмерных концентраций в приточном воздухе по высоте зданий показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителей с подветренной стороны уменьшается до 13,02%, при торцевой – до 2-3%, при периметральной – до 25%, при торцевой под углом – до 18,75%, при смешанной – до 31,16 %.

8. Результаты расчётов по общепринятой методики расчёта рассеивания загрязнителей МРР 2017 по высоте здания не учитывают точки, близкие к зданию, где возникают вторичные рециркуляционные течения, тип локальной застройки (периметральная, строчная, торцевая, смешанная), эффект суммации концентраций загрязнителей за счет перемещения масс от передвижных источников выброса. Расхождение тем больше, чем ближе расчетная точка к угловой зоне, где образуются вторичные рециркуляционные течения: застойные зоны со скоростью ветра близкой к нулю и турбулентным перемешиванием. На уровне $0,05\left(\frac{h}{H}\right)$ (первый этаж) результаты по методике МРР 2017 меньше по величине концентрации загрязняющего вещества до 10%, на уровне середины здания $0,5\left(\frac{h}{H}\right)$ – до 15%, на уровне последнего этажа $1\left(\frac{h}{H}\right)$ – до 9%. Расхождение значительно на уровне 1,5–2 м, что составляет без учёта типа застройки и эффекта суммации, перемещения масс загрязнителей от автомагистралей (на примере строчной застройки) до 10-11 %. Подтвердились закономерности изменения концентраций газообразных загрязняющих веществ в приточном воздухе по высоте зданий при различных типах локальной застройки и характеристиках источника выброса с учётом климатических особенностей различных регионов.

9. Методика расчёта рассеивания загрязнений в программе CaLINE 3 не позволяет учитывать изменяющуюся по величине и направлению скорость

ветра по высоте от поверхности земли вблизи зданий при разных типах локальных застроек. Так, по высоте здания концентрация газообразных примесей занижена до 10 % при торцевой застройке, до 5-8% при строчной застройке, до 11-12% при периметральной застройке. В программе ENVI-met концентрации загрязнителей занижены на уровне верхних этажей здания до 12 % для торцевой застройки, до 6% при периметральной застройке, при смешанной до 3 %. Сходимость полученных уравнений вертикального распределения концентраций загрязнителей в приточном воздухе и опытных данных составляет не более 15 %.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПРИТОЧНОМ ВОЗДУХЕ НА КАЧЕСТВО И ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЗДАНИИ

3.1. Экспериментальные исследования влияния качества приточного воздуха на качество воздуха в помещении

На расстоянии здания от точечного источника $10H_{и}$ ($H_{и}$ – высота источника, м) при скорости ветра от 5 до 6 м/с и неблагоприятном направлении ветра на здание наиболее высокие среднегодовые концентрации СО отмечены внутри зданий на уровне 5 этажа от источника высотой $H_{и}=0,5H$: при закрытых оконных конструкциях – $1,6\text{ПДК}_{\text{ссжил.пом.}}$; в режиме проветривания – $4,25\text{ПДК}_{\text{ссжил.пом.}}$. На уровне верхних этажей здания концентрация СО максимальна внутри здания от источников высотой $H_{и}=H$ (при закрытых оконных конструкциях – $1,8\text{ПДК}_{\text{жил.пом.}}$, в режиме проветривания – $3,6\text{ПДК}_{\text{ссжил.пом.}}$) и $H_{и}=2H$ (при закрытых оконных конструкциях – $1,12\text{ПДК}_{\text{ссжил.пом.}}$, в режиме проветривания – $2,89\text{ПДК}_{\text{ссжил.пом.}}$).

На основании многолетних экспериментальных данных получены эмпирические зависимости величины концентрации загрязнений от высоты этажа здания внутри здания от источников по высоте: $H_{и}=0,5H$; $H_{и}=2H$; $H_{и}=H$

(табл.3.1), где $Y = \frac{C_i}{C_{\text{max}}}$ (C_i – концентрация на высоте каждого этажа h_i , мг/м³;

C_{max} – максимальная концентрация СО по высоте здания, мг/м³); $X = \frac{h_i}{H}$ (h_i – высота этажа здания, м; H – высота здания, м).

Сравнение результатов проведенных исследований с $\text{ПДК}_{\text{сс}}$ для СО внутри здания, показало фактическое превышение над допустимой нормой при открытых и закрытых конструкциях в здании на первом, пятом, девятом и десятом этажах (в зависимости от высоты здания по отношению к высоте источника, расстояния от источника до здания).

Таблица 3.1 – Эмпирические зависимости концентраций оксида углерода (II) от высоты этажа здания на точечных источниках разной высоты

$\frac{R_i}{R_{\max}}$	Наветренная сторона	Подветренная сторона
	$H_u > H (H_u = 2H)$ (в режиме проветривания)	
0,3	$Y = -0,421X^2 + 0,871X + 0,034$	$Y = -0,258X^2 + 0,765X + 0,011$
0,5	$Y = -0,768X^2 + 1,112X + 0,121$	$Y = -0,586X^2 + 0,891X + 0,092$
0,7	$Y = -0,816X^2 + 1,175X + 0,1415$	$Y = -0,674X^2 + 0,994X + 0,087$
0,9	$Y = -0,151X^2 + 0,127X + 0,242$	$Y = -0,145X^2 + 0,111X + 0,226$
	$H_u > H (H_u = 2H)$ (при плотно закрытых оконных конструкциях)	
0,3	$Y = -0,201X^2 + 0,430X + 0,017$	$Y = -0,128X^2 + 0,382X + 0,001$
0,5	$Y = -0,384X^2 + 0,553X + 0,060$	$Y = -0,312X^2 + 0,500X + 0,025$
0,7	$Y = -0,408X^2 + 0,587X + 0,071$	$Y = -0,398X^2 + 0,562X + 0,068$
0,9	$Y = -0,075X^2 + 0,064X + 0,121$	$Y = -0,073X^2 + 0,055X + 0,113$
	$H_u = H$ (в режиме проветривания)	
0,3	$Y = -0,526X^2 + 0,981X + 0,098$	$Y = -0,315X^2 + 0,741X + 0,078$
0,5	$Y = -0,977X^2 + 2,513X + 0,431$	$Y = -0,744X^2 + 2,311X + 0,178$
0,7	$Y = -1,111X^2 + 1,445X + 0,516$	$Y = -1,444X^2 + 1,781X + 0,714$
0,9	$Y = -0,332X^2 + 0,766X + 0,552$	$Y = -0,125X^2 + 0,421X + 0,118$
	$H_u = H$ (при плотно закрытых оконных конструкциях)	
0,3	$Y = -0,263X^2 + 0,491X + 0,051$	$Y = -0,158X^2 + 0,295X + 0,031$
0,5	$Y = -0,499X^2 + 1,254X + 0,216$	$Y = -0,299X^2 + 0,752X + 0,151$
0,7	$Y = -0,258X^2 + 0,723X + 0,258$	$Y = -0,155X^2 + 0,434X + 0,155$
0,9	$Y = -0,166X^2 + 0,383X + 0,276$	$Y = -0,099X^2 + 0,229X + 0,187$
	$H_u = 0,5H$ (в режиме проветривания)	
0,3	$Y = -2,138X^2 + 2,221X + 0,056$	$Y = -1,909X^2 + 1,813X + 0,046$
0,5	$Y = -1,533X^2 + 1,819X + 0,040$	$Y = -1,121X^2 + 1,802X + 0,019$
0,7	$Y = -0,266X^2 + 0,654X + 0,102$	$Y = -0,232X^2 + 0,467X + 0,089$
0,9	$Y = -0,854X^2 + 0,702X + 0,235$	$Y = -0,679X^2 + 0,502X + 0,109$
	$H_u = 0,5H$ (при плотно закрытых оконных конструкциях)	
0,3	$Y = -0,641X^2 + 0,666X + 0,017$	$Y = -0,573X^2 + 0,544X + 0,014$
0,5	$Y = -0,459X^2 + 0,546X + 0,012$	$Y = -0,336X^2 + 0,541X + 0,014$
0,7	$Y = -0,079X^2 + 0,196X + 0,031$	$Y = -0,070X^2 + 0,140X + 0,027$
0,9	$Y = -0,256X^2 + 0,383X + 0,035$	$Y = -0,204X^2 + 0,151X + 0,033$

R_i – расстояние от здания до источника, м; R_{\max} – расстояние, на котором достигается максимальная концентрация, м

Ниже для примера представлены результаты (табл.3.2-3.3) экспериментальных измерений концентрации CO в воздушной среде внутри здания, расположенных в здании высотой 30 метров вблизи перекрестка с

интенсивностью движения свыше 2500 авт./час при ветре 2-3 м/с и неблагоприятном направлении ветра на здание.

Таблица 3.2 – Результаты измерений концентрации СО в воздушной среде внутри здания от передвижных источников, мг/м³ (наветренная сторона), строчная застройка, % величины концентрации от наружной стены здания

Год	Первый этаж			Пятый этаж			Девятый этаж		
	в здании		по наружной стене здания	в здании		по наружной стене здания	в здании		по наружной стене здания
	при закрытых оконных конструкциях	при режиме проветривания		при закрытых оконных конструкциях	при режиме проветривания		при закрытых оконных конструкциях	при режиме проветривания	
2006	4,5	11,2	13,95	1,8	3,5	4,5	1,5	2,7	3
2007	4,9	11,2	14,1	1,8	3,5	4,4	1,4	2,75	3,1
2008	4,9	10,8	13,95	2	3,4	4,5	1,3	2,75	3
2009	4,9	11,2	13,65	2,1	3,9	4,6	1,4	2,75	3,1
2010	4,3	10,8	15,1	1,9	3,8	4,6	1,4	2,7	3
2011	4,5	11,2	15	1,9	3,9	4,5	1,4	2,6	3
2012	4,5	10,8	15	2,1	3,8	4,2	1,4	2,9	2,9
2013	4,6	11,2	15,1	2,1	3,8	4,3	1,3	2,7	3
2014	4,65	11,2	14,7	2,1	3,7	4,4	1,4	2,7	2,95
2015	5	12,3	15,1	2,1	3,6	4,5	1,35	2,7	3,1
2016	4,65	11,2	13,4	1,9	3,6	4,5	1,4	2,6	3,1
2017	4,65	11,2	15,1	2,1	3,6	4,5	1,3	2,75	3,1
2018	4,65	11,2	15,1	2,1	3,5	4,4	1,4	2,75	3,1
2019	4,65	11,2	15	2	3,5	4,3	1,4	2,75	3,2
2020	4,65	11,2	15	2	3,55	4,5	1,4	2,75	3
средняя	4,595	11,09	14,09	2,04	3,58	4,48	1,43	2,73	3,08
%	32,59	78,63	-	45,59	80,06	-	46,41	88,65	

Таблица 3.3 – Результаты измерений концентрации СО в воздушной среде зданий, мг/м³ (подветренная сторона), строчная застройка, % от наружной стены здания

Год	Первый этаж			Пятый этаж			Девятый этаж		
	в здании		по наружной стене здания	в здании		по наружной стене здания	в здании		по наружной стене здания
	при закрытых оконных конструкциях	при режиме проветривания		при закрытых оконных конструкциях	при режиме проветривания		при закрытых оконных конструкциях	при режиме проветривания	
2006	3,9	6,1	7,5	0,45	1,35	2,1	0	0,4	0,9
2007	3,9	6,2	7,5	0,4	1,3	2,2	0,4	0,4	1
2008	3,9	5,9	7,4	0,45	1,2	2,1	0,3	0,4	0,9
2009	3,9	6	7,4	0,46	1,3	2,1	0	0,39	1
2010	3,95	6	7,3	0,41	1,25	2,1	0,3	0,4	0,9
2011	3,9	6	7,4	0,43	1,3	1,9	0	0,45	1
2012	3,9	6,1	7,5	0,4	1,1	1,8	0,1	0,4	0,9
2013	3,9	6,1	7,3	0,44	1,3	1,8	0,3	0,4	1
2014	3,9	6	7,5	0,44	1,3	1,65	0,1	0,39	0,9
2015	3,9	6	7,5	0,45	1,35	1,7	0,3	0,38	0,95
2016	3,9	6	7,5	0,46	1,2	1,7	0,1	0,4	1
2017	3,9	6	7,5	0,46	1,35	1,7	0,1	0,4	1
2018	3,8	6	7,4	0,4	1,3	2,1	0,1	0,39	0,9
2019	3,8	6	7,4	0,4	1,35	1,7	0,3	0,39	0,9
2020	3,7	6,2	7,3	0,4	1,3	1,7	0,1	0,41	0,8
средняя	3,87	6,03	7,44	0,43	1,29	1,89	0,2	0,41	0,94
%	52,08	81,04	-	22,82	68,14	-	21,22	43,98	-

Сравнение измеренной концентрации с ПДК для СО показало ее фактическое превышение в воздушной среде в помещениях зданий на первом этаже (1,3–1,6ПДК_{сс}). Проведены экспериментальные исследования концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) по высоте зданий (по этажам) внутри помещений многоэтажных зданий (высотой 30 метров) от автомагистралей разной интенсивности движения в режиме проветривания при наиболее неблагоприятной скорости ветра 2-3 м/с, направлении ветра 90° при различных типах локальной застройки. Экспериментальные данные представлены в табл.3.4-3.15 в разное время суток для периметральной застройки.

Таблица 3.4 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций оксида углерода (II) по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей с интенсивностью движения 2000 авт./ч, на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³ подветренная сторона источника								
			от 1 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов	20 до 00 часов	от 00 до 1 часов
1,50	9,40	5,81	4,70	16,93	6,58	13,17	8,46	23,51	6,58	2,91
4,50	9,23	5,71	4,62	16,62	6,46	12,93	8,31	23,08	6,46	2,85
7,50	9,06	5,60	4,53	16,31	6,34	12,69	8,16	22,65	6,34	2,80
10,50	8,89	5,49	4,45	16,00	6,22	12,45	8,00	22,23	6,22	2,75
13,50	8,72	5,39	4,36	15,70	6,10	12,21	7,85	21,80	6,10	2,69
16,50	8,55	5,28	4,27	15,39	5,98	11,97	7,69	21,37	5,98	2,64
19,50	8,38	5,18	4,19	15,08	5,86	11,73	7,54	20,95	5,86	2,59
22,50	8,21	5,07	4,10	14,77	5,75	11,49	7,39	20,52	5,75	2,54
25,50	8,04	4,97	4,02	14,47	5,63	11,25	7,23	20,09	5,63	2,48
28,50	7,87	4,86	3,93	14,16	5,51	11,01	7,08	19,66	5,51	2,43

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 2000 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.5 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций оксида углерода (II) по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей с интенсивностью движения 1235 авт./ч, на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³ подветренная сторона источника							
			от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов	20 до 00 часов
1,50	8,00	4,95	4,00	14,40	5,60	11,20	7,20	20,01	5,60
4,50	7,83	4,84	3,92	14,10	5,48	10,96	7,05	19,58	5,48
7,50	7,66	4,73	3,83	13,79	5,36	10,73	6,89	19,15	5,36
10,50	7,49	4,63	3,74	13,48	5,24	10,49	6,74	18,72	5,24
13,50	7,32	4,52	3,66	13,17	5,12	10,25	6,59	18,30	5,12
16,50	7,15	4,42	3,57	12,87	5,00	10,01	6,43	17,87	5,00
19,50	6,98	4,31	3,49	12,56	4,88	9,77	6,28	17,44	4,88
22,50	6,81	4,21	3,40	12,25	4,76	9,53	6,13	17,02	4,76
25,50	6,64	4,10	3,32	11,94	4,64	9,29	5,97	16,59	4,64
28,50	6,46	3,99	3,23	11,64	4,53	9,05	5,82	16,16	4,53

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 1235 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.6 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций оксида углерода (II) по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей с интенсивностью движения 300 авт./ч, на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов	20 до 00 часов
1,50	6,29	3,89	3,15	11,32	4,40	8,81	5,66	15,73	4,40
4,50	6,12	3,78	3,06	11,01	4,28	8,57	5,51	15,30	4,28
7,50	5,95	3,68	2,97	10,71	4,16	8,33	5,35	14,87	4,16
10,50	5,78	3,57	2,89	10,40	4,04	8,09	5,20	14,44	4,04
13,50	5,61	3,46	2,80	10,09	3,92	7,85	5,05	14,02	3,92
16,50	5,44	3,36	2,72	9,78	3,80	7,61	4,89	13,59	3,80
19,50	5,26	3,25	2,63	9,48	3,69	7,37	4,74	13,16	3,69
22,50	5,09	3,15	2,55	9,17	3,57	7,13	4,58	12,73	3,57
25,50	4,92	3,04	2,46	8,86	3,45	6,89	4,43	12,31	3,45
28,50	4,75	2,94	2,38	8,55	3,33	6,65	4,28	11,88	3,33

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 300 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.7 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций фенола по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (2000 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация фенола, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация фенола, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов
1,500	0,021	0,013	0,011	0,039	0,015	0,030	0,019	0,054
4,500	0,021	0,013	0,011	0,038	0,015	0,030	0,019	0,053
7,500	0,021	0,013	0,010	0,037	0,015	0,029	0,019	0,052
10,500	0,020	0,013	0,010	0,037	0,014	0,028	0,018	0,051
13,500	0,020	0,012	0,010	0,036	0,014	0,028	0,018	0,050
16,500	0,020	0,012	0,010	0,035	0,014	0,027	0,018	0,049
19,500	0,019	0,012	0,010	0,034	0,013	0,027	0,017	0,048
22,500	0,019	0,012	0,009	0,034	0,013	0,026	0,017	0,047
25,500	0,018	0,011	0,009	0,033	0,013	0,026	0,017	0,046
28,500	0,018	0,011	0,009	0,032	0,013	0,025	0,016	0,045

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 2000 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.8 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций фенола по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (1000 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация фенола, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация фенола, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов
1,5000	0,0215	0,0133	0,0107	0,0387	0,0150	0,0301	0,0193
4,5000	0,0211	0,0130	0,0106	0,0380	0,0148	0,0295	0,0190
7,5000	0,0207	0,0128	0,0104	0,0373	0,0145	0,0290	0,0186
10,5000	0,0203	0,0126	0,0102	0,0366	0,0142	0,0285	0,0183
13,5000	0,0199	0,0123	0,0100	0,0359	0,0140	0,0279	0,0179
16,5000	0,0195	0,0121	0,0098	0,0352	0,0137	0,0274	0,0176
19,5000	0,0192	0,0118	0,0096	0,0345	0,0134	0,0268	0,0172
22,5000	0,0188	0,0116	0,0094	0,0338	0,0131	0,0263	0,0169
25,5000	0,0184	0,0114	0,0092	0,0331	0,0129	0,0257	0,0165
28,5000	0,0180	0,0111	0,0090	0,0324	0,0126	0,0252	0,0162

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 1000 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.9 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций фенола по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (300 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация фенола, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация фенола, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов
1,5000	0,0144	0,0089	0,0072	0,0259	0,0101	0,0202	0,0130
4,5000	0,0140	0,0087	0,0070	0,0252	0,0098	0,0196	0,0126
7,5000	0,0136	0,0084	0,0068	0,0245	0,0095	0,0191	0,0123
10,5000	0,0133	0,0082	0,0066	0,0239	0,0093	0,0186	0,0119
13,5000	0,0129	0,0079	0,0064	0,0232	0,0090	0,0180	0,0116
16,5000	0,0125	0,0077	0,0062	0,0225	0,0087	0,0175	0,0112
19,5000	0,0121	0,0075	0,0060	0,0218	0,0085	0,0169	0,0109
22,5000	0,0117	0,0072	0,0058	0,0211	0,0082	0,0164	0,0105
25,5000	0,0113	0,0070	0,0057	0,0204	0,0079	0,0158	0,0102
28,5000	0,0109	0,0067	0,0055	0,0197	0,0076	0,0153	0,0098

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 300 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.10 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций формальдегида по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (2000 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация формальдегида, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация формальдегида, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов
1,500	0,032	0,020	0,016	0,058	0,023	0,045	0,029	0,081
4,500	0,032	0,020	0,016	0,057	0,022	0,045	0,029	0,080
7,500	0,031	0,019	0,016	0,056	0,022	0,044	0,028	0,078
10,500	0,031	0,019	0,015	0,055	0,021	0,043	0,028	0,077
13,500	0,030	0,019	0,015	0,054	0,021	0,042	0,027	0,075
16,500	0,030	0,018	0,015	0,053	0,021	0,041	0,027	0,074
19,500	0,029	0,018	0,014	0,052	0,020	0,041	0,026	0,072
22,500	0,028	0,018	0,014	0,051	0,020	0,040	0,026	0,071
25,500	0,028	0,017	0,014	0,050	0,019	0,039	0,025	0,069
28,500	0,027	0,017	0,014	0,049	0,019	0,038	0,024	0,068

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 2000 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.11 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций формальдегида по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (1000 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация формальдегида, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация формальдегида, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов
1,500	0,026	0,016	0,013	0,047	0,018	0,037	0,024	0,065
4,500	0,026	0,016	0,013	0,046	0,018	0,036	0,023	0,064
7,500	0,025	0,015	0,012	0,045	0,017	0,035	0,022	0,062
10,500	0,024	0,015	0,012	0,044	0,017	0,034	0,022	0,061
13,500	0,024	0,015	0,012	0,043	0,017	0,033	0,021	0,060
16,500	0,023	0,014	0,012	0,042	0,016	0,033	0,021	0,058
19,500	0,023	0,014	0,011	0,041	0,016	0,032	0,020	0,057
22,500	0,022	0,014	0,011	0,040	0,015	0,031	0,020	0,055
25,500	0,021	0,013	0,011	0,039	0,015	0,030	0,019	0,054
28,500	0,021	0,013	0,010	0,038	0,015	0,029	0,019	0,052

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 1000 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.12 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций формальдегида в приточном воздухе по высоте с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (300 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация формальдегида, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация формальдегида, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов
1,500	0,022	0,013	0,011	0,039	0,015	0,030	0,020	0,054
4,500	0,021	0,013	0,011	0,038	0,015	0,030	0,019	0,053
7,500	0,021	0,013	0,010	0,037	0,014	0,029	0,019	0,051
10,500	0,020	0,012	0,010	0,036	0,014	0,028	0,018	0,050
13,500	0,019	0,012	0,010	0,035	0,014	0,027	0,017	0,049
16,500	0,019	0,012	0,009	0,034	0,013	0,026	0,017	0,047
19,500	0,018	0,011	0,009	0,033	0,013	0,026	0,016	0,046
22,500	0,018	0,011	0,009	0,032	0,012	0,025	0,016	0,044
25,500	0,017	0,011	0,009	0,031	0,012	0,024	0,015	0,043
28,500	0,016	0,010	0,008	0,030	0,012	0,023	0,015	0,041

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 300 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.13 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций углеводородов алифатических (C1-C5) по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (2000 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация углеводородов алифатических, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация углеводородов алифатических, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов	20 до 00 часов
1,5000	1,2079	0,7478	0,6040	2,1742	0,8455	1,6911	1,0871	3,0198	0,8455
4,5000	1,1861	0,7479	0,5930	2,1349	0,8303	1,6605	1,0675	2,9652	0,8303
7,5000	1,1642	0,7480	0,5821	2,0956	0,8150	1,6299	1,0478	2,9106	0,8150
10,5000	1,1424	0,7481	0,5712	2,0563	0,7997	1,5994	1,0282	2,8560	0,7997
13,5000	1,1206	0,7482	0,5603	2,0170	0,7844	1,5688	1,0085	2,8014	0,7844
16,5000	1,0987	0,7483	0,5494	1,9777	0,7691	1,5382	0,9889	2,7469	0,7691
19,5000	1,0769	0,7484	0,5385	1,9384	0,7538	1,5077	0,9692	2,6923	0,7538
22,5000	1,0551	0,7485	0,5275	1,8991	0,7385	1,4771	0,9496	2,6377	0,7385
25,5000	1,0332	0,7486	0,5166	1,8598	0,7233	1,4465	0,9299	2,5831	0,7233
28,5000	1,0114	0,7487	0,5057	1,8205	0,7080	1,4160	0,9103	2,5285	0,7080

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 2000 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.14 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций углеводородов алифатических (C1-C5) по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (1000 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация углеводородов алифатических, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация углеводородов алифатических, мг/м ³ подветренная сторона источника	время суток						
			от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов	20 до 00 часов
1,5000	0,9740	0,6043	0,4870	1,7531	0,6818	1,3636	0,8766	2,4349	0,6818
4,5000	0,9521	0,6044	0,4761	1,7138	0,6665	1,3330	0,8569	2,3803	0,6665
7,5000	0,9303	0,6045	0,4651	1,6745	0,6512	1,3024	0,8373	2,3257	0,6512
10,5000	0,9085	0,6046	0,4542	1,6352	0,6359	1,2718	0,8176	2,2712	0,6359
13,5000	0,8866	0,6047	0,4433	1,5959	0,6206	1,2413	0,7980	2,2166	0,6206
16,5000	0,8648	0,6048	0,4324	1,5566	0,6054	1,2107	0,7783	2,1620	0,6054
19,5000	0,8430	0,6049	0,4215	1,5173	0,5901	1,1801	0,7587	2,1074	0,5901
22,5000	0,8211	0,6050	0,4106	1,4780	0,5748	1,1496	0,7390	2,0528	0,5748
25,5000	0,7993	0,6051	0,3996	1,4387	0,5595	1,1190	0,7194	1,9982	0,5595
28,5000	0,7775	0,6052	0,3887	1,3994	0,5442	1,0884	0,6997	1,9436	0,5442

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 1000 авт./ч, тип застройки периметральная

Таблица 3.15 – Экспериментальные данные среднегодовых концентраций углеводородов алифатических (С1-С5) по высоте в приточном воздухе с наветренной и подветренной сторон зданий от автомагистралей (300 авт./ч), на расстоянии 30 метров от здания по времени суток

высота от поверхности земли (этаж), м	Концентрация углеводородов алифатических, мг/м ³ наветренная сторона источника	Концентрация углеводородов алифатических, мг/м ³ подветренная сторона источника	от 00 до 6 часов	8 до 10 часов	10 до 13 часов	13 до 15 часов	15 до 17 часов	17 до 20 часов
1,5000	0,8102	0,5038	0,4051	1,4584	0,5671	1,1343	0,7292	2,0255
4,5000	0,7884	0,5039	0,3942	1,4191	0,5519	1,1037	0,7095	1,9709
7,5000	0,7665	0,5040	0,3833	1,3798	0,5366	1,0732	0,6899	1,9163
10,5000	0,7447	0,5041	0,3724	1,3405	0,5213	1,0426	0,6702	1,8618
13,5000	0,7229	0,5042	0,3614	1,3012	0,5060	1,0120	0,6506	1,8072
16,5000	0,7010	0,5043	0,3505	1,2619	0,4907	0,9814	0,6309	1,7526
19,5000	0,6792	0,5044	0,3396	1,2226	0,4754	0,9509	0,6113	1,6980
22,5000	0,6574	0,5045	0,3287	1,1833	0,4602	0,9203	0,5916	1,6434
25,5000	0,6355	0,5046	0,3178	1,1439	0,4449	0,8897	0,5720	1,5888
28,5000	0,6137	0,5047	0,3068	1,1046	0,4296	0,8592	0,5523	1,5342

Примечание: максимальная интенсивность автомагистрали 300 авт./ч, тип застройки периметральная

Аналогичные экспериментальные данные среднегодовых концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте у зданий получены для разных типов локальной застройки: периметральная, торцевая, торцевая под углом, строчная, смешанная, так как отбор проб осуществлялся одновременно как в наружном воздухе (глава 2), так и внутри помещения. Наибольший пик концентраций по высоте зданий отмечен при периметральной застройки как снаружи, так и внутри помещений с 8 до 10 часов для оксида углерода (II) увеличивается на 43-45%, с 17 до 20 часов - на 40-41%; для фенола наибольший пик концентраций приходится на 17-20 часов увеличивается на 47%, для формальдегида увеличивается с 8 до 10 часов и с 17 до 20 часов на 60-61%, для углеводородов алифатических увеличивается на 61% по сравнению с ночными временем с 00 до 6 часов и днём с 13 до 15 часов.

На основании экспериментальных исследований взаимосвязи качества наружного воздуха и качества воздуха внутри помещения установлена степень влияния вертикального распределения концентраций загрязнителей наружного воздуха на качество внутреннего воздуха зданий от точечных и передвижных источников: в режиме проветривания в воздушной среде внутри здания концентрация загрязнителей достигает до 80-88,5% от концентрации по наружной стене здания, при закрытых проемах от 15 до 38% (от точечных источников выброса) и от 21,2 до 46,2% (от передвижных источников).

3.2. Экспериментальные исследования влияния температурного фактора на концентрацию загрязнителей в помещении

На основании экспериментальных данных проведен анализ концентраций загрязнителей внутри помещений при различных температурах наружного воздуха (рис.3.1).

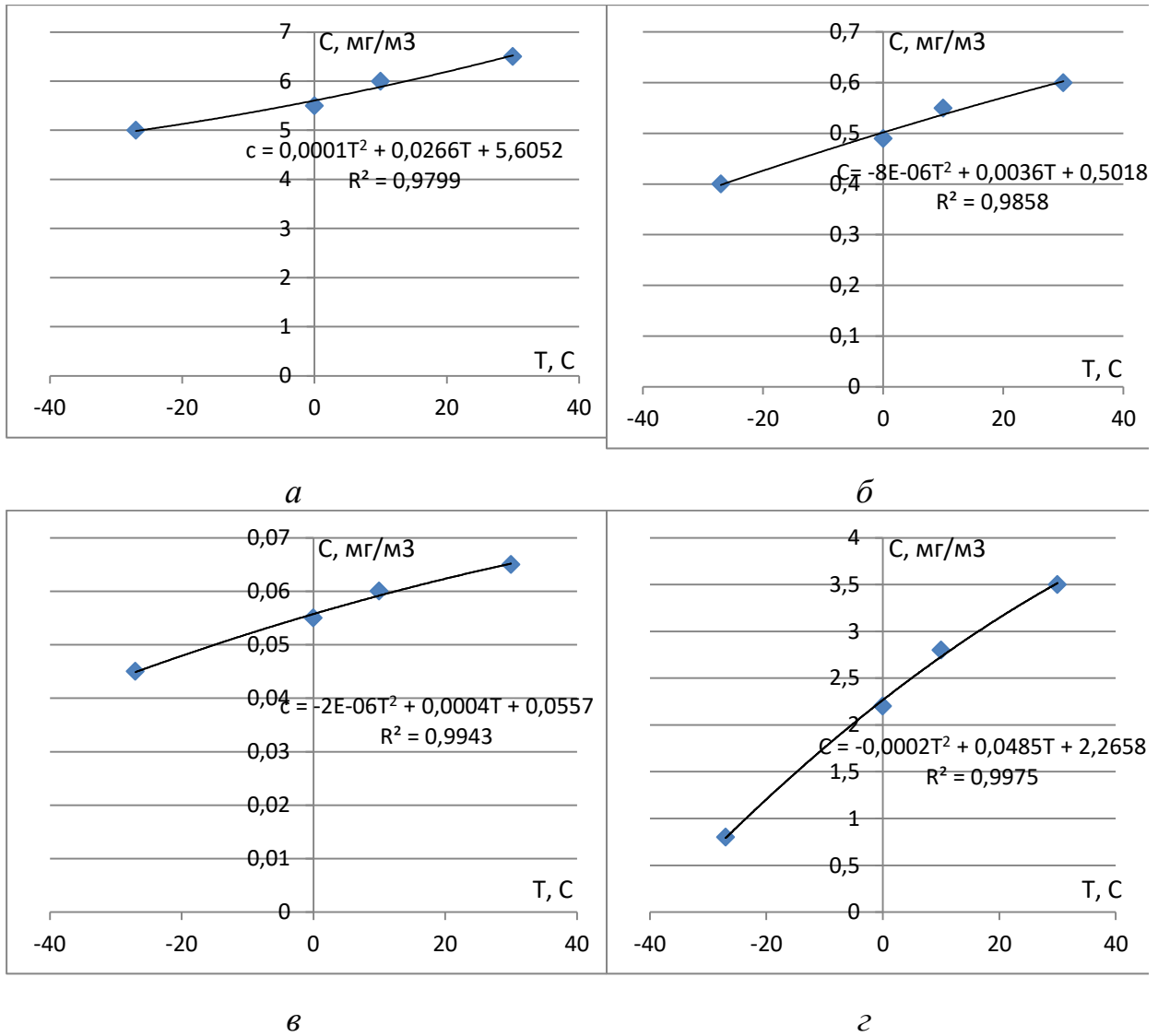


Рисунок 3.1 – Эмпирические зависимости концентраций загрязнителей внутри помещения в зависимости от температуры наружного воздуха: а – оксид углерода (II); б – фенол; в – формальдегид; г – углеводороды алифатические (C1-C5)

По рис. 3.1 видно, что при повышении температуры воздуха с -27°C до 0 и до $+27^{\circ}\text{C}$ концентрации всех газообразных загрязнителей внутри помещений зданий увеличиваются от автомагистралей при скорости ветра 5 м/с: оксид углерода (II) увеличивается на 80-84%; фенол на 66-67%; формальдегид на 58,6%; углеводородов алифатических (C1-C5) на 60-61%.

3.3. Экспериментальные исследования влияния скорости движения приточного воздуха на концентрацию загрязнителей в помещении

На основе экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости концентрации загрязнителей от скорости ветра наружного воздуха (рис.3.2).

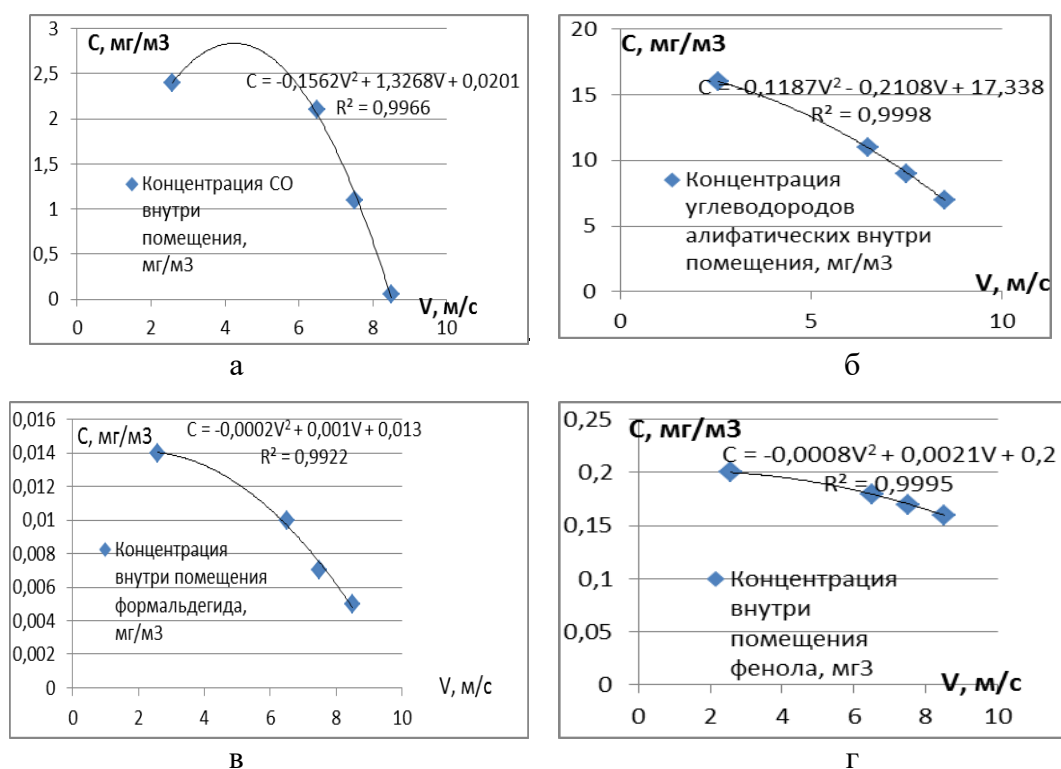


Рисунок 3.2 – Эмпирические зависимости концентрации загрязнителей (с) внутри здания в зависимости от скорости движения (V) наружного воздуха: а – оксид углерода (II); б – углеводороды алифатические; в – формальдегид; г – фенол

По данным эмпирическим зависимостям можно спрогнозировать концентрацию загрязнителей внутри здания при различных скоростях наружного воздуха, что позволит использовать данные уравнения в районах с различными ветровыми режимами. Из полученных зависимостей видно, что с повышением скорости ветра атмосферного воздуха выше 6 м/с до 8 м/с концентрации газообразных загрязнителей снаружи и внутри зданий уменьшаются на 20-26% по высоте каждого этажа здания.

3.4. Экспериментальные исследования влияния влажности приточного воздуха на концентрацию загрязнителей в помещении

По результатам экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей в помещении от влажности атмосферного воздуха снаружи зданий (рис.3.3).

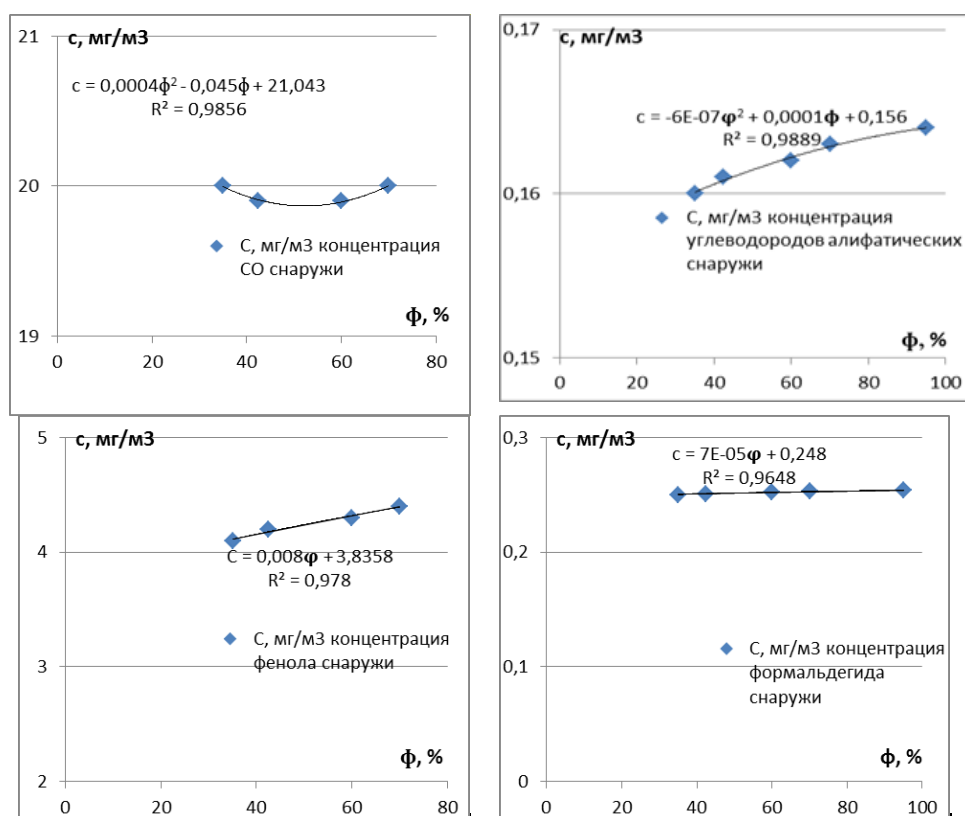


Рисунок 3.3 – Эмпирические зависимости концентраций (с) газообразных загрязнителей в помещении от относительной влажности наружного воздуха (φ)

Результаты экспериментальных исследований показали, что при увеличении влажности приточного воздуха с 30 до 70 % концентрация загрязнителей в здании практически остается неизменной, в связи с тем, что все газообразные загрязнители не вступают в химическое взаимодействие с атмосферной влагой, атмосферного самоочищения не происходит как в теплый, так и холодный периоды года (рис.3.3).

3.5. Зависимости концентраций загрязняющих веществ в помещении от нескольких факторов наружного воздуха

На основании многолетних исследований получены уравнения множественной регрессии взаимосвязи концентраций газообразных загрязнителей внутри помещений $C_{вн}$ от их концентраций в наружном воздухе от автотранспорта по высоте каждого этажа здания, а также от нескольких метеорологических факторов наружного воздуха: температуры ($^{\circ}\text{C}$), скорости движения воздуха (м/с) и влажности атмосферного воздуха (%):

- оксида углерода (II):

$$C_{вн} = 0,89 \cdot \left(\frac{C_i}{C_{max}} \right) \cdot [2,136 + 0,028T - 0,282V], \quad (3.1)$$

- углеводородов алифатических (C1-C5):

$$C_{вн} = 1,89 \cdot \left(\frac{C_i}{C_{max}} \right) \cdot [38,445 + 0,091T - 0,029V - 0,001\varphi], \quad (3.2)$$

- фенола:

$$C_{вн} = 0,083 \cdot \left(\frac{C_i}{C_{max}} \right) \cdot [1,306 + 0,004T - 0,016V - 0,001\varphi], \quad (3.3)$$

- формальдегида:

$$C_{вн} = 0,275 \cdot \left(\frac{C_i}{C_{max}} \right) \cdot [0,174 + 0,006T - 0,004V - 0,001\varphi], \quad (3.4)$$

где $C_{вн}$ – концентрация газообразного загрязнителя внутри здания, мг/м³; T – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; V – скорость наружного воздуха, м/с; φ – относительная влажность наружного воздуха, %; $\frac{C_i}{C_{max}}$ – отношение концентрации загрязнителя к его максимальной концентрации по высоте здания в наружном воздухе, рассчитанное по формулам (2.12)-(2.15), полученных во 2 главе.

Наибольшее влияние на результат $C_{вн}$ оказывает фактор температура T и скорость наружного воздуха V. Критерий Фишера $F_{кр} = 0,77$. Определены доверительные интервалы коэффициентов регрессии с надежностью 95%. Переменная φ в формуле (3.1) не является значимой, так как $|t| < t(0,05; 46)$, все остальные – значимые $|t| > t(0,05; 46)$ (критерий Стьюдента $t(0,05; 46) = 2,030$).

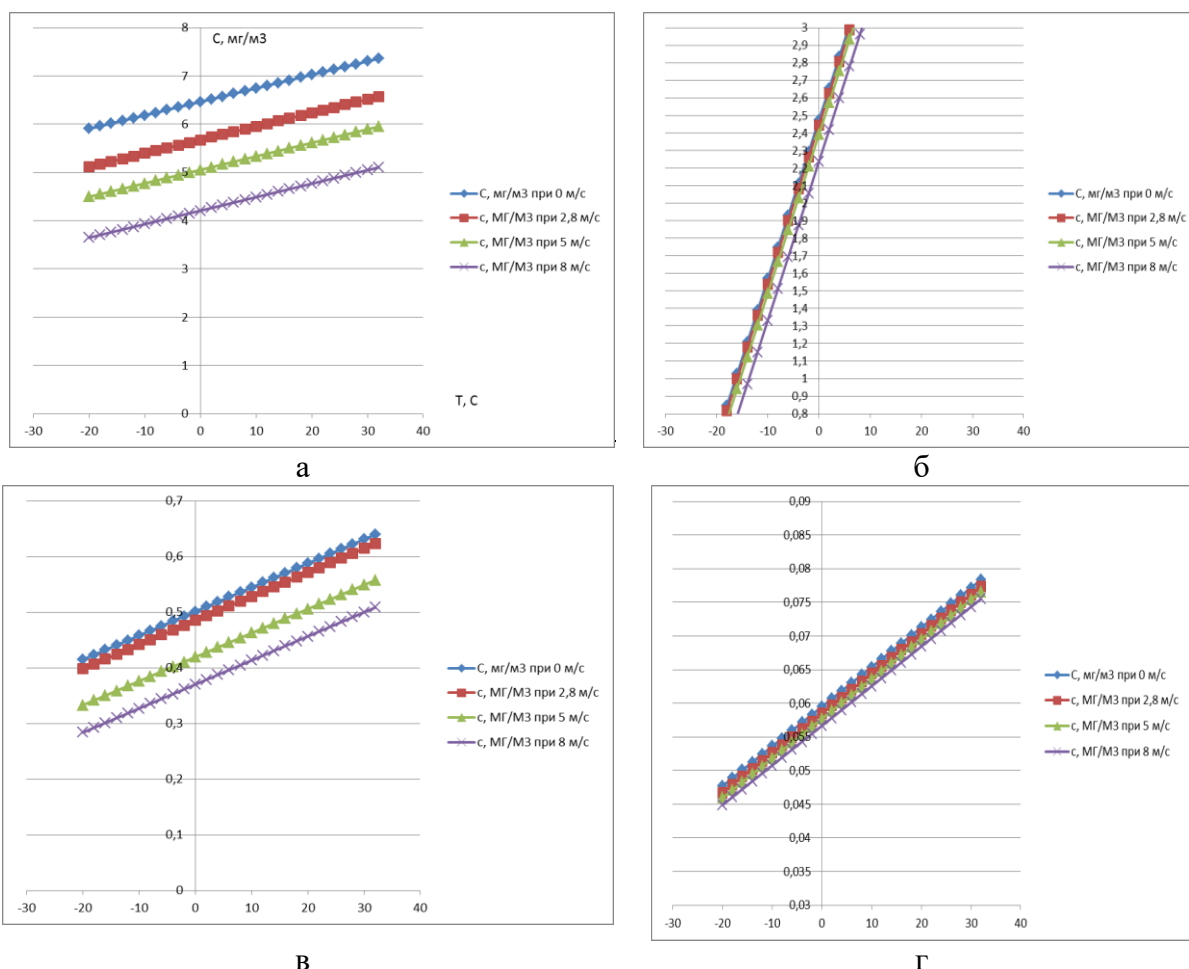


Рисунок 3.4 – Прогнозирование концентрации газообразных загрязнителей внутри зданий в зависимости от нескольких факторов окружающей среды: температура наружного воздуха (T , $^{\circ}\text{C}$), скорость движения атмосферного воздуха (V , м/с), влажность 44,7%: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

Данные уравнения (3.1)-(3.4) позволяют прогнозировать концентрации загрязнителей внутри помещений при различных метеорологических условиях (температуре, скорости, влажности наружного воздуха) и концентрациях в атмосферном воздухе загрязнителей по высоте каждого этажа зданий по наружной стене здания от магистралей с различной интенсивностью движения для выбора способа и средства защиты качества воздуха зданий с повышенным загрязнением атмосферы в различных климатических регионах (рис.3.4). Кроме того, позволяют учитывать коэффициенты типа локальной застройки с

наветренной и подветренной сторон зданий для расчёта величин концентраций с учётом аэродинамической тени здания (глава 2).

При увеличении скорости движения атмосферного воздуха с 5 м/с до 8 м/с концентрации внутри помещения СО уменьшается на 20%, углеводородов алифатических (С1-С5) на 26%, концентрации формальдегида на 2,31%. При уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация СО внутри помещения увеличивается на 38 %, углеводородов алифатических (С1-С5) на 36 %, концентрация фенола на 33,33 %, формальдегида на 6,07 %. Наименьшее влияние отмечено у фактора влажности наружного воздуха, что связано с тем, что исследуемые загрязнители не растворяется атмосферной влагой.

Таким образом, разработан алгоритм расчёта для прогнозирования параметров приточного воздуха, качества воздуха внутри помещений по высоте зданий в режиме проветривания, который включает:

1. Входные параметры: в холодный и теплый периоды года среднегодовые параметры: скорость ветра U , м/с; температура наружного воздуха T , К; давление p , мм.рт.ст. (атм.); роза ветров по всем румбам, %; от точечных: расстояние от источника до здания R_i , м; высота здания H , м; длина здания L , м; высота источника $H_{и}$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_{и}/H$; массы выбросов загрязняющих веществ, г/с (мг/ч); плотность застройки, тип локальной застройки; в случае присутствия передвижных источников: расстояние от магистрали до здания R_i , м; интенсивность движения автотранспорта I , авт./ч: до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч.

2. Принимаются поправочные коэффициенты, учитывающие изменение концентраций загрязнителей наружного воздуха в течение суток от передвижных источников, интенсивность движения автотранспорта; поправочные коэффициенты типа локальной застройки с наветренной и подветренной сторон.

3. Производится расчёт по полученным уравнениям степени загрязнения воздуха внутри помещений по высоте здания в зависимости от качества приточного воздуха, от температурно-влажностных, скоростных параметров наружного воздуха.

4. Выходные параметры: величины концентраций газообразных загрязнителей внутри помещений по высоте зданий с наветренной и подветренной сторон от источников в режиме проветривания помещений, по всем румбам розы ветров, по типу локальной застройки, по времени суток.

Выводы по 3 главе

Экспериментально исследовано влияние вертикального распределения концентраций загрязнителей в наружном воздухе на качество и параметры воздушной среды в здании по высоте:

1. В результате установлена степень влияния вертикального распределения концентраций загрязнителей на качество внутреннего воздуха от точечных и передвижных источников: в режиме проветривания в воздушной среде внутри здания концентрация загрязнителей достигает до 80-88,5% от концентрации по наружной стене здания, при закрытых проемах от 15 до 38% (от точечных источников выброса) и от 21,2 до 46,2% (от передвижных источников).

2. На основании многолетних экспериментальных исследований получены уравнения множественной регрессии взаимосвязи концентраций газообразных загрязнителей внутри помещений $C_{вн}$ от их концентраций в наружном воздухе по высоте зданий, а также от нескольких метеорологических факторов приточного воздуха: температуры ($^{\circ}\text{C}$), скорости движения воздуха (м/с) и относительной влажности (%). Данные уравнения позволяют прогнозировать концентрации загрязнителей внутри помещений при различных метеорологических условиях (температуре,

скорости, влажности наружного воздуха) и концентрациях в наружном воздухе загрязнителей по высоте каждого этажа зданий по наружной стене зданий от магистралей с различной интенсивностью движения для выбора способа и средства защиты качества воздуха системой приточной вентиляции зданий с повышенным загрязнением атмосферы в различных климатических регионах. Кроме того, позволяют учитывать коэффициенты типа локальной застройки с наветренной и подветренной сторон зданий для расчета величин концентраций загрязнителей с учетом аэродинамических теней здания.

3. При увеличении скорости движения наружного воздуха с 5 м/с до 8 м/с концентрация внутри помещения СО уменьшается на 20%, углеводородов алифатических (С1-С5) на 26%, концентрация формальдегида на 2,31%. При уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация СО внутри помещения увеличивается на 38 %, углеводородов алифатических (С1-С5) на 36 %, концентрация фенола на 33,33 %, формальдегида на 6,07 %.

4. Результаты экспериментальных исследований показали, что при увеличении влажности атмосферного воздуха с 30 до 70 % концентрация загрязнителей снаружи здания практически остается неизменной как в теплый и холодный периоды года.

5. При возрастании температуры наружного воздуха от - 20 до + 33 °С концентрации загрязнителей внутри помещений зданий увеличиваются: для оксид углерода (II) на 20 %, углеводородов алифатических - на 68,9 %, фенола - на 53,85%, формальдегида - на 43,15%. Наименьшее влияние фактора влажности наружного воздуха.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ОЧИСТКИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ОТ ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ЗДАНИЯХ

4.1. Методика экспериментальных исследований вариантов очистки приточного воздуха по высоте зданий

4.1.1. Разработка конструкции опытного образца приточных устройств для очистки воздуха

Для очистки поступающего воздуха в помещение от газообразных примесей собран опытный образец, состоящий из (рис.4.1):

1. воздуховода диаметром 100 мм длиной 400 мм;
2. осевого вентилятора производительностью от 100 м³/ч;
3. сменных фильтров с внутренним диаметром 85 мм, наружным 90 мм, толщина каждого слоя сорбента 20 мм, площадь фильтрующей поверхности во всех вариантах составила 0,00567 м².

Фильтры в установке можно размещать как по отдельности, так и несколько в ряд. Их количество изменялось в зависимости от эксперимента. Фильтры имели круглое сечение, на поверхности на входе и на выходе расположенные в ряд прямоугольные отверстия размером (2x2) мм с шагом 1 мм (рис.4.1).

4. фотокаталитического фильтра, состоящего из тонкой сетчатой пластины, покрытой диоксидом титана (TiO₂) и двух УФ-ламп с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт, включающихся по отдельности. Лампы в установке размещались вертикально.

Диоксид титана может активировать окислительные процессы на своей поверхности, что позволит органическим загрязнителям (фенолу, формальдегиду, углеводородам алифатическим) разложиться до воды (паров) и углекислого газа. Фильтр фотокаталитический тонкий толщиной 0,5 мм, покрытый диоксидом титана (TiO_2), имел круглые отверстия диаметром 1 мм с шагом 1 мм, расположенный рядом с УФ-лампами (2 шт., 365 нм), на расстоянии 1 см от ламп. Каждая лампа работала по отдельности для исследования необходимой мощности УФ-излучения и эффективности очистки атмосферного воздуха. Также для исследований сорбентов без фотокаталитического окисления имелся выключатель, который полностью отключал две УФ-лампы.

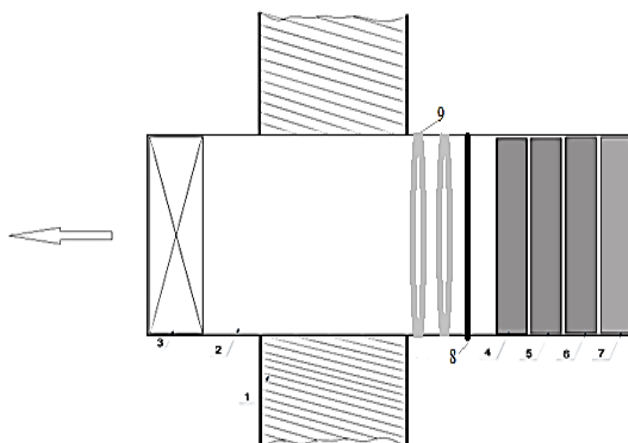


Рисунок 4.1 – Опытный образец приточных устройств по очистке воздуха: 1 – наружная стена здания; 2 – воздуховод; 3 – осевой вентилятор; 4,5,6,7 – сменные фильтры с различными вариантами сорбентов; 8 – сетчатая пластина, покрытая диоксидом титана (TiO_2); 9 – УФ-лампы (2 шт.), 365 нм, 6 Вт

Для оценки качества очистки в опытном образце с фильтрацией проводилось *пять экспериментальных исследований* по очистке поступающего приточного воздуха через опытный образец устройства с очисткой воздуха (клапана приточной принудительной вентиляции), расположенного в наружной стене здания.

4.1.2. Описание экспериментальных исследований и вариантов очистки приточного воздуха в помещениях

Для оценки качества очистки поступающего воздуха в здание проведено 5 экспериментальных исследований с различными 36 вариантами методов и способов защиты качества воздуха системы приточной вентиляции в зданиях с помощью опытного образца, расположенного в наружной стене здания:

I. Экспериментальные исследования по оценке совместного влияния сорбентов и катализатора (диоксида марганца) на качество очистки воздуха: 1 – фильтр с активированным углем; 2 – фильтр с шунгитом; 3 – фильтр с цеолитом; 4 – два последовательно расположенные фильтры: катализатор (диоксид марганца) с сорбентом силикагелем (для исключения образования гидроксидов марганца в случае повышения паров воды в воздухе); 5 – четыре фильтра: шунгит+силикагель+диоксид марганца +цеолит; 6 – четыре фильтра: активированный уголь+силикагель+диоксид марганца+цеолит.

II. Экспериментальные исследования изменения концентрации загрязнителей от времени сорбции на сорбентах (шунгит, цеолит, активированный уголь, силикагель) и катализаторе (диоксиде марганца): 1 – фильтр с диоксидом марганца; 2 – фильтр с активированным углем; 3 – фильтр с шунгитом; 4 – фильтр с цеолитом; 5- фильтр с силикагелем; 6 – два последовательно расположенные фильтры: катализатор (диоксид марганца) и с сорбентом силикагелем (для исключения образования гидроксидов марганца в случае повышения паров воды в воздухе); 7 – четыре фильтра в следующем порядке: шунгит+силикагель+диоксид марганца +цеолит; 8 – четыре фильтра: активированный уголь+силикагель+диоксид марганца+цеолит.

III. Экспериментальные исследования влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на качество очистки воздуха совместно с сорбентами: 1 – фотокаталитический фильтр (TiO_2+1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт); 2 – фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм), 6 Вт; 3 – шунгит+фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт); 4 – активированный уголь+ фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 5 – цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 6 – шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 7 – активированный уголь+цеолит + фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 8 – фильтры: шунгит+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт; 9 – активированный уголь+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 10 – цеолит+ силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 11 – шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 12 – силикагель+ + TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.

IV. Экспериментальное исследование влияния температурного фактора на процессы очистки воздуха: 1 – фотокаталитический фильтр (TiO_2+1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт); 2 – фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм), 6 Вт; 3 – шунгит+фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт); 4 – активированный уголь+ фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 5 – цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 6 – шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 7 – активированный уголь+цеолит + фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 8 – фильтры: шунгит+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт; 9 –

активированный уголь+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 10 – цеолит+ силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 11 – шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 12 – силикагель+ + TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт. Экспериментальные исследования проводились в летний период при температуре наружного воздуха от +27,5 °С; +32 °С, а также в осенне-зимний период года при температуре от -32 °С; -11,5 до 0 °С.

V. Экспериментальные исследования влияния скорости движения и влажности наружного воздуха на процессы очистки приточного воздуха. Получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей внутри помещений (оксид углерода (II), углеводороды алифатические, фенол, формальдегид) от скорости движения наружного воздуха: 2 м/с; 4 м/с; 6 м/с; 8 м/с для тех вариантов, которые показали наилучшее качество очистки поступающего воздуха с помощью опытного образца.

4.1.3. Материалы, предназначенные для исследования качества очистки атмосферного воздуха

Характеристики материалов (катализатора и сорбентов), используемых для проведения экспериментальных исследований следующие:

1. Окись марганца (IV) (марганца двуокись), представляющий собой порошок черного цвета, нерастворимый в воде, растворимый в горячей соляной кислоте (с выделением хлора). В присутствии перекиси водорода окись марганца (IV) растворима в других кислотах.

Формула диоксида марганца MnO_2 . Молекулярная масса – 86,94 г/моль (рис.4.2).



а



б

Рисунок 4.2 – Оксид марганца (IV) MnO_2 : а – фракции диоксида марганца 0,7-1 мм для загрузки в опытный образец; б – диоксид марганца в фильтре



Рисунок 4.3 – Виды фильтров

Сущность метода очистки заключается в химической реакции (хемосорбции): $MnO_2 + CO = MnCO_3$.

Диоксид марганца для экспериментальных исследований выбран фракциями 0,7-1 мм, насыпной плотностью 1400 кг/м^3 , толщиной слоя 20 мм.

2. Во избежание образования гидроксидов марганца перед слоем диоксида марганца использовался фильтр с мелкопористым силикагелем, который применяют для поглощения паров воды из воздуха при низкой его влажности, а также для сорбции некоторых других паров и газов (рис.4.4).

При насыщении сорбента адсорбционная способность его может быть восстановлена путем продувки горячим воздухом или сушкой (регенерация).



а



б

Рисунок 4.4 – Силикагель: а – фракции 2,8 мм; б – силикагель в фильтре

Технический силикагель является не только осушителем, но и сорбентом для поглощения газообразных примесей на границе раздела сорбент-воздух. В связи с этим в третьем опыте дополнительно добавлен в качестве сорбентов во все варианты исследований силикагель.

Силикагель технический выбран $x\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (марки КСКГ).

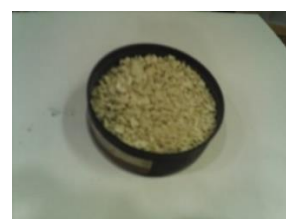
Насыпная плотность силикагеля 760 г/дм^3 , фракции 2,8 мм, толщиной слоя 21,55 мм.

3. Цеолит Холинского месторождения Читинской области (рис.4.5).

Для экспериментальных исследований выбраны фракции цеолита Холинского месторождения 1-3 мм, насыпной плотностью 1020 кг/м^3 , толщиной слоя 20,45 мм.



а



б

Рисунок 4.5 – Цеолит: а - фракции 1-3 мм; б - Цеолит Холинского месторождения в фильтре

Холинское месторождение цеолитов находится в Забайкалье на территории Читинской области и Бурятии. Месторождение располагается практически в идеальных экологических условиях и

полностью изолировано от источников загрязнения и радиации. Химический состав цеолитизированных пород в среднем составляет, мас. %: SiO_2 - 63,47; TiO_2 - 0,16; Al_2O_3 - 12,69; Fe_2O_3 - 1,27; FeO - 0,29; MnO - 0,34; MgO - 0,53; CaO - 0,92; Na_2O - 2,58; K_2O - 2,85; H_2O - 9,29; H_2O^+ - 5,55; ? = 99,94 (Р.В.Боярская и др.).

4. Активированный уголь AP-B (рис.4.6).

Это препараты в виде цилиндрических гранул черного или темно-серого цвета. Имеют высокие поглощающие и небольшие удерживающие свойства, за счет чего достигает колоссальная экономия ресурсов.



а



б

Рисунок 4.6 – Активированный уголь: а - AP-B (гранулы) 2,8 мм; б – активированный уголь в фильтре опытного образца

Технические характеристики активированного угля марки AP-B:

- внешний вид: цилиндрические гранулы темно-серого или черного цвета;
- основной размер частиц, мм 2,8 - 5,0;
- прочность гранул на истирание, %, не менее 75;
- насыпная плотность, г/дм^3 , не более 600;
- равновесная активность по толуолу, г/дм^3 , не менее 110;
- массовая доля влаги, %, не более 10.

Для исследования взят фильтр со слоем активированным углем марки AP-B: фракции 2,8 мм, насыпная плотность 600 кг/м^3 , масса 20,55 г, толщина слоя 22,69 мм.

5. Шунгит – минерал, занимающий по составу и свойствам промежуточное положение между антрацитами и графитом (рис.4.7). Химический состав шунгита включает в себя следующие соединения: SiO_2 (57,0%), Al_2O_3 (4,0%), FeO (2,5%), K_2O (1,5%), MgO (1,2%), S (1,2%), TiO_2 (0,2%).



а



б

Рисунок 4.7 – Шунгит: а - фракции 1 мм; б - шунгит в фильтре

Для исследования выбран шунгит Зажогинского месторождения, фракциями 1 мм, насыпной плотностью 1800 кг/м^3 , толщиной слоя 20,45 мм.

4.1.4. Средства измерения для проведения исследований на опытном образце

При проведении натурных исследований использовались следующие сертифицированные приборы:

1. Анемометр Testo-321 для измерения скорости воздушной среды на входе и на выходе из установки, одновременно прибор измерял температуру воздуха снаружи и внутри помещения.
2. Термогигрометр Ива-6 для измерения относительной влажности воздуха и температуры снаружи и внутри помещения.
3. Газоанализатор testo-340 для измерения концентрации оксида углерода (II) на входе и на выходе из экспериментальной установки (после очистки предложенных фильтрующих материалов).
4. Секундомер для того чтобы фиксировать как меняется концентрация CO внутри помещения с течением времени.
5. Для второго и третьего экспериментального

исследования использовался трехканальный УФ-радиометр «ТКА-ПКМ» для контроля УФ-излучения внутри установки в УФ-А, УФ-В, УФ-С области спектра излучения.

6. Для измерения концентраций органических загрязнителей в наружном и внутреннем воздухе использовался газоанализатор ГАНК-4.

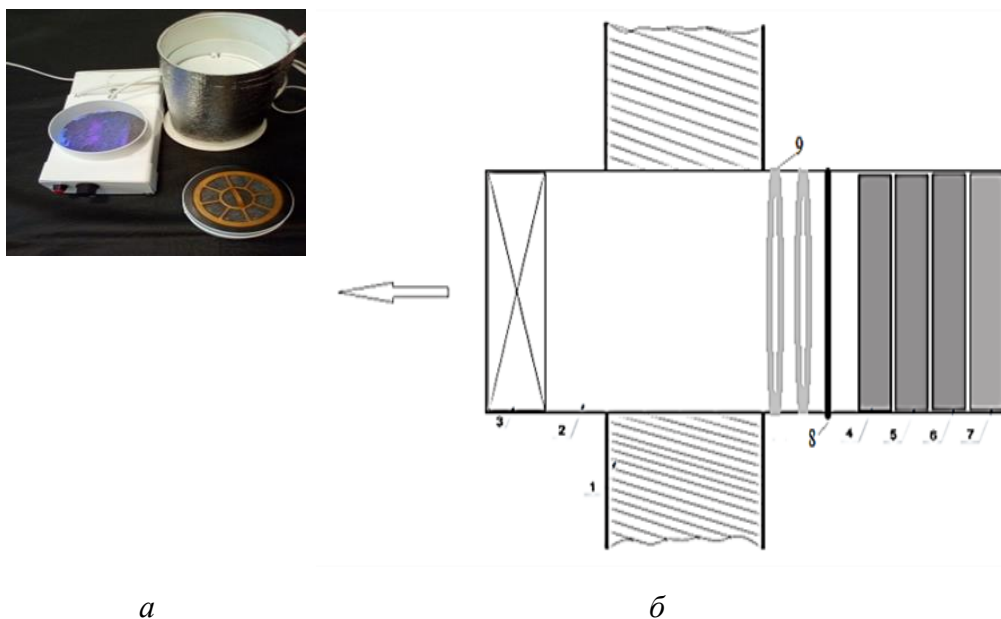


Рисунок 4.8 – Опытный образец устройства с очисткой воздуха:
 а – комплектующие приточного устройства б – схема: 1 – наружная стена; 2 – воздуховод; 3 – осевой вентилятор; 4,5,6,7 – сменные фильтры с различными вариантами сорбентов; 8 – сетчатая пластина TiO_2 ; 9 – УФ-лампы, 365 нм, 6 Вт

Разработанная конструкция опытного образца приточных устройств с очисткой воздуха монтировалась в наружную стену зданий, расположенных рядом с магистралями интенсивностью более 2600 авт./ч на расстоянии 30 м. Для очистки поступающего воздуха в здание по высоте наружной стены от газообразных примесей собран опытный образец, состоящий из (рис.4.8): 1. воздуховода диаметром 100 мм, длиной в зависимости от толщины наружной стены; 2. осевого вентилятора производительностью от 100 до 300 м³/ч в зависимости от вариантов загрузок фильтров и площади помещения; 3. сменных фильтров, толщина каждого слоя

сорбента до 20 мм, площадь фильтрующей поверхности во всех вариантах составила 0,00567 м²; 4. фотокаталитического фильтра, состоящего из тонкой сетчатой пластины, покрытой диоксидом титана (TiO₂) и двух УФ-ламп с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт.

В процессе эксперимента снаружи и внутри помещения измерялась концентрация оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5), фиксировались значения скорости воздушного потока, температура и влажность воздушной среды, рассчитывался экспериментальный расход приточного воздуха (рис. 4.9).

Опытный образец позволил испытывать различные адсорбенты и катализатор (диоксид марганца) при различных концентрациях загрязнителей (II) в приточном воздухе на входе в установку от наружных источников загрязнения.

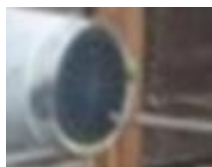


Рисунок 4.9 – Отбор проб приточного воздуха газоанализатором

На первом этапе исследований решено испытать адсорбенты по отдельности в сменных фильтрах: шунгит, активированный уголь, цеолит, силикагель, а также хемосорбент – катализатор окисления CO до CO₂ (диоксид марганца), их совместное действие при последовательном расположении фильтров в установке, то есть провести первое экспериментальное исследование изучения влияния сорбентов и хемосорбента (катализатора) на степень очистки воздуха в опытном образце.

На втором этапе экспериментальных исследований фильтры

поставлены в ряд последовательно (по три фильтра) совместно с фотокаталитическим фильтром (тонкой сетчатой пластиной диоксида титана и двух УФ-ламп), для того чтобы узнать влияние фотокаталитического окисления на степень очистки приточного воздуха.

Третье исследование - влияние фотокатализа совместно с сорбентами на степень очистки приточного воздуха, дополнительно в третьем опыте добавлен сорбент силикагель.

На четвертом этапе: исследование влияния температурного фактора на процессы очистки приточного воздуха в клапанах приточной вентиляции. Исследования проводились в летний период при температуре наружного воздуха от $+27,5$ °С, а также в зимний период года при температуре от -32 °С до $+27$ °С.

И на пятом этапе проведено экспериментально исследование влияния скорости движения наружного воздуха на концентрацию загрязнителей внутри помещения, в зависимости наружного воздуха на концентрацию внутри и снаружи помещения.

Таким образом, на данном этапе исследований разработана конструкция опытного образца клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, который монтировался в наружную стену зданий. Для оценки качества очистки в приточных клапанах принудительной вентиляции с фильтрацией проведено *пять масштабных экспериментальных исследований* по очистке поступающего воздуха в помещение через опытный образец клапана приточной принудительной вентиляции, расположенного в наружной стене здания:

I. Экспериментальные исследования по оценке совместного влияния сорбентов и катализатора диоксида марганца на степень очистки приточного воздуха в клапанах приточной вентиляции.

II. Экспериментальные исследования изменения концентрации загрязнителей от времени сорбции на сорбентах (шунгит, цеолит, активированный уголь, силикагель) и хемосорбенте - катализаторе (диоксиде марганца).

III. Экспериментальные исследования влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки приточного воздуха совместно с сорбентами в клапанах системы вентиляции.

IV. Экспериментальное исследование влияния температурного фактора на процессы очистки приточного воздуха в клапанах принудительной вентиляции.

V. Экспериментальные исследования влияния скорости движения и влажности наружного воздуха на концентрацию загрязнителей внутри помещения.

4.2. Экспериментальные исследования по оценке влияния сорбентов и катализатора на степень очистки приточного воздуха в помещения

В 1 экспериментальном исследовании «влияния сорбентов совместно с катализатором (диоксидом марганца) на качество очистки воздуха» оценивались следующие варианты очистки воздуха, поступающего в помещение:

1 – фильтр с активированным углем; 2 – фильтр с шунгитом; 3 – фильтр с цеолитом; 4 – два последовательно расположенные фильтры: катализатор (диоксид марганца) и с сорбентом силикагелем (для исключения образования гидроксидов марганца в случае повышения паров воды в воздухе); 5 – четыре фильтра: шунгит+силикагель+диоксид марганца+цеолит; 6 – четыре фильтра: активированный уголь+силикагель+диоксид марганца+цеолит.

Результаты экспериментальных данных представлены до и после очистки воздуха с помощью опытного образца, куда были загружены все варианты исследований.

На основании экспериментальных исследований получены значения эффективности очистки приточного воздуха с помощью различных испытываемых сорбентов в летний и зимний период года (табл.4.1-4.2).

Таблица 4.1 – Результаты исследований концентраций загрязняющих веществ с использованием опытного образца в летний период

№ варианта исследований	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³		Концентрация углеводородов алифатических (C1-C5), мг/м ³		Концентрация фенола, мг/м ³		Концентрация формальдегида, мг/м ³	
	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 активированный уголь	65	2	171	120	4,59	3,43	0,36	0,29
	75	2	170	123	4,58	3,44	0,35	0,25
	55	2	160	120	4,75	3,55	0,32	0,23
2 шунгит	65	2	171	155	4,59	4,2	0,36	0,32
	65	8	170	160	4,58	4	0,35	0,30
	65	9	170	159	4,75	4	0,32	0,32
3 цеолит	55	24	171	71	2,30	1,15	0,36	0,21
	75	34	170	70	2,58	1,16	0,35	0,22
	70	34	160	78	2,125	1,20	0,32	0,23
4 MnO ₂ + силикагель	80	13	141	84,5	4,59	2,7	0,36	0,216
	85	8	170	85	4,58	2,65	0,35	0,217
	80	12	160	83	4,75	2,7	0,32	0,218
5 Шунгит+ MnO ₂ + цеолит + силикагель	80	5	171	119	4,59	2,98	0,36	0,25
	75	9	170	118	4,58	2,88	0,35	0,26
	80	10	160	116	4,75	3	0,32	0,25
6 уголь + силикагель + MnO ₂ + цеолит	95	5	171	68,4	4,59	2,77	0,36	0,198
	80	22	170	69	4,58	2,78	0,35	0,198
	75	34	160	70	4,75	2,79	0,32	0,198

Таблица 4.2 – Результаты исследований концентраций загрязняющих веществ с использованием опытного образца в зимний период

№ варианта исследования	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³		Концентрация углеводородов алифатических (C1-C5), мг/м ³		Концентрация фенола, мг/м ³		Концентрация формальдегида, мг/м ³	
	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 активированный уголь	65	1,8	171	119	4,59	3,33	0,36	0,24
	75	1,7	170	118	4,58	3,34	0,35	0,23
	55	2	160	118	4,75	3,35	0,32	0,21
2 шунгит	65	1,8	171	145	4,59	4,1	0,36	0,31
	65	7,9	170	155	4,58	3,9	0,35	0,29
	65	8,5	160	159	4,75	3,8	0,32	0,28
3 цеолит	55	23	171	70	2,30	1,13	0,36	0,11
	75	32	170	74	2,58	1,14	0,35	0,12
	70	32	160	76	2,125	1,18	0,32	0,13
4 MnO ₂ + силикагель	80	12	141	83,5	4,59	2,5	0,36	0,22
	85	7	170	84	4,58	2,6	0,35	0,18
	80	11	160	82	4,75	2,4	0,32	0,19
5 Шунгит+ MnO ₂ + цеолит + силикагель	80	4	171	118	4,59	2,88	0,36	0,22
	75	8	170	116	4,58	2,78	0,35	0,22
	80	7	160	115	4,75	2,9	0,32	0,21
6 Уголь + силикагель + MnO ₂ + цеолит	95	24	171	65,4	4,59	2,67	0,36	0,188
	80	21	170	65	4,58	2,68	0,35	0,188
	75	32	160	69	4,75	2,69	0,32	0,188

Таблица 4.3 – Расчет эффективности очистки приточного воздуха от загрязняющих веществ в зимний и летний периоды года

№ варианта исследования	Эффективность очистки воздуха внутри помещения, %							
	по оксиду углерода (II)		по углеводородам алифатическим (C1-C5)		по фенолу		по формальдегиду	
	зимний	летний	зимний	летний	зимний	летний	зимний	летний
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 активированный уголь	97,23	96,92	30,41	29,82	27,45	25,27	33,33	19,44
	97,73	97,33	30,59	27,64	27,07	24,89	34,29	28,57

Продолжение таблицы 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	96,37	96,36	26,25	25	29,47	25,26	34,38	28,13
2 шунгит	97,23	96,92	15,20	9,36	10,68	8,49	13,89	11,11
	87,85	87,69	8,82	5,88	14,85	12,66	17,14	14,29
	86,92	86,15	6,25	6,47	20	15,79	12,50	3,13
3 цеолит	58,18	56,36	59,06	58,48	50,87	50	69,44	41,67
	57,33	54,67	56,47	58,82	55,81	55,04	65,71	37,14
	54,29	51,43	52,5	51,25	44,47	43,53	59,38	28,13
4 MnO ₂ +си- ликагель	85	83,75	40,78	40,07	45,53	41,18	38,89	40
	91,76	90,59	50,59	50	43,23	42,14	48,57	38
	86,25	85	48,75	48,13	49,47	43,16	40,63	31,88
5 шунгит+ MnO ₂ + цеолит+си- ликагель	95	93,75	30,99	30,41	37,25	35,08	38,89	30,56
	89,33	88	31,76	30,59	39,30	37,12	37,14	25,71
	91,25	87,5	28,13	27,50	38,95	36,84	34,38	21,88
6 уголь +силика- гель+MnO ₂ +цеолит	95,79	94,74	61,75	60	41,83	39,65	47,78	45
	73,75	72,5	61,76	59,41	41,49	39,30	46,29	43,43
	57,33	54,67	56,88	56,25	43,37	41,26	41,25	38,13

По результатам первого экспериментального исследования «по оценке влияния сорбентов и катализатора на степень очистки поступающего воздуха в помещения» самую высокую степень очистки по оксиду углерода (II) CO имел вариант (табл.4.3):

- в летний период года – «шунгит +диоксид марганца MnO₂+цеолит+силикагель» - 93,75 % и «шунгит» – 96,92%. По органическим же веществам эффективность очистки невысокая: «шунгит +MnO₂+цеолит+силикагель» - по углеводородам алифатическим всего - 30,6%, по фенолу - 37,12%, по формальдегиду - 30,6%. По варианту «шунгит» в летний период года низкая эффективность по органическим веществам: углеводороды алифатические – 5,89-9,36%, по фенолу – 8,50-15%, формальдегиду – 3,125-14,29%.

Следует отметить, что в зимний период эффективность очистки 5 варианта: «шунгит+MnO₂+цеолит+силикагель» несколько увеличивается за счет того, что газообразные вещества дольше находятся на поверхностях исследуемых сорбентов: по оксиду углерода (II) - 95%, по

углеводородам алифатическим - 32%; по фенолу - 39,3 %, по формальдегиду - 38,9 %. По «шунгиту» эффективность по СО составила – 97,23%. В зимний период по органическим веществам эффективность очистки невысокая для варианта: «шунгит»: углеводороды алифатические – 8,82-15%, фенол – 10-20%, формальдегид – 12-17%.

По углеводородам алифатическим (C1-C5) в зимний года максимальная эффективность составила 60% варианта «Уголь +силикагель+MnO₂+цеолит», в летний период года – 61, 75%.

По загрязнителю фенол максимальная эффективность в зимний период отмечена у варианта «цеолит» - 55,04%, в летний период года - 55,82%.

По загрязнителю формальдегид максимальная эффективность очистки у варианта «уголь +силикагель+MnO₂+цеолит» составила 45% в зимний период года, в летний период - 47%.

Таким образом, требовалось дальнейшее проведение экспериментальных исследований, для того чтобы найти вариант очистки приточного воздуха с высокой эффективностью и по органическим веществам, содержащихся в наружном воздухе зданий городской среды.

4.3. Экспериментальное исследование снижения концентраций загрязнителей в приточном воздухе от продолжительности очистки на сорбционных и каталитическом фильтрах

Экспериментальные исследования «концентрации загрязнителей от времени очистки с помощью различных сорбентов и катализатора» изменения концентрации загрязнителей от времени сорбции проводились на сорбентах: шунгит, цеолит, активированный уголь, силикагель и катализаторе - диоксиде марганца.

Для исследования на опытном образце (приточного клапана) выбрано 8 вариантов очистки приточного воздуха: 1 – фильтр с диоксидом

марганца; 2 – фильтр с активированным углем; 3 – фильтр с шунгитом; 4 – фильтр с цеолитом; 5- фильтр с силикагелем; 6 – два последовательно расположенные фильтры: катализатор (диоксид марганца) и с сорбентом силикагелем (для исключения образования гидроксидов марганца в случае повышения паров воды в воздухе и дополнительной очистки от газообразных веществ); 7 – четыре фильтра в следующем порядке: шунгит+силикагель+диоксид марганца +цеолит; 8 – четыре фильтра: активированный уголь+силикагель+диоксид марганца+цеолит.

Эмпирические уравнения на основании исследований величины концентрации оксида углерода (II)

В процессе опытных испытаний образца клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха изучалась величина концентрации оксида углерода (II) CO и время его очистки при использовании только катализатора диоксида марганца в фильтрах опытного образца устройства с очисткой воздуха (рис.4.10-4.11).

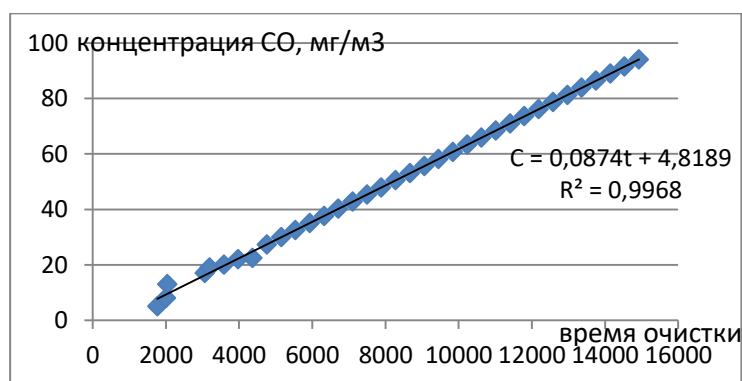


Рисунок 4.10 – Зависимость концентрации диоксида марганца от времени при концентрации на входе CO 85 мг/м³

Выяснилось, что при достаточно высоких концентрациях CO на входе в фильтр диоксида марганца (1 вариант) величина концентрации становится больше уже после 2000 секунд, примерно 0,5 часа. Прямая

зависимость объясняется, что активность катализатора резко уменьшается и концентрация резко возрастает.

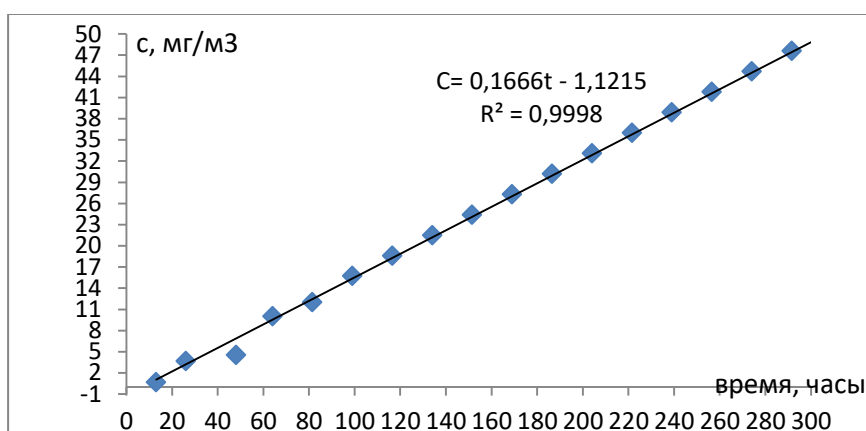


Рисунок 4.11 – Зависимость концентрации диоксида марганца от времени при концентрации на входе CO 2,5 мг/м³

При концентрациях загрязнителя на входе 2,5 мг/м³, концентрация на выходе оксида углерода (II) CO остается в пределах нормы до двух суток (48 часов): 1 вариант.

Так как сорбент «шунгит» (3 вариант) по результатам эксперимента наиболее эффективен по очистке воздуха, то построена зависимость концентрации CO от времени сорбции сначала при высокой концентрации на входе CO 61 мг/м³ (рис.4.12).

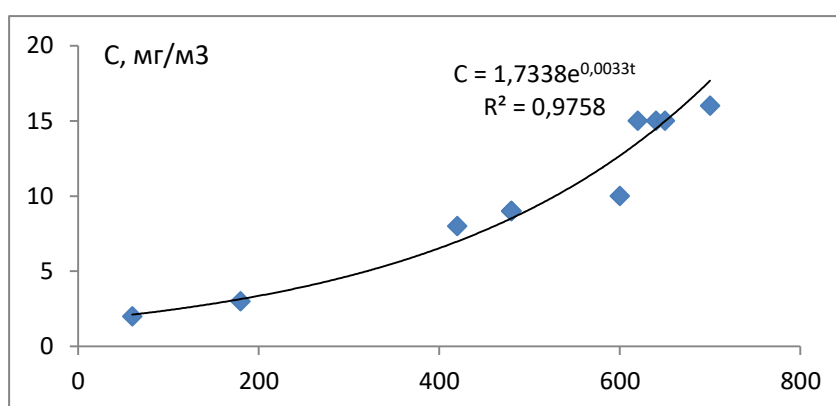


Рисунок 4.12 – Зависимость концентрации CO от времени очистки при концентрации на входе 61 мг/м³ при использовании экспериментальной установки (сорбент - шунгит)

Если концентрация загрязнителя на входе 5 мг/м^3 , то при использовании «шунгита» (3 вариант) получена зависимость концентрации СО от времени, представленная на рис. 4.13. По полученной зависимости концентрации СО будет в пределах нормы до 96 часов (4 дня), после этого будут незначительные превышения.

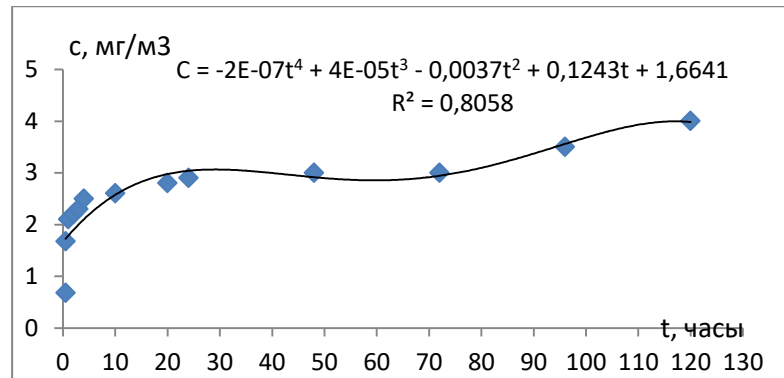


Рисунок 4.13 – Зависимость концентрации СО от времени очистки при концентрации на входе 5 мг/м^3 при использовании сорбента «шунгит»

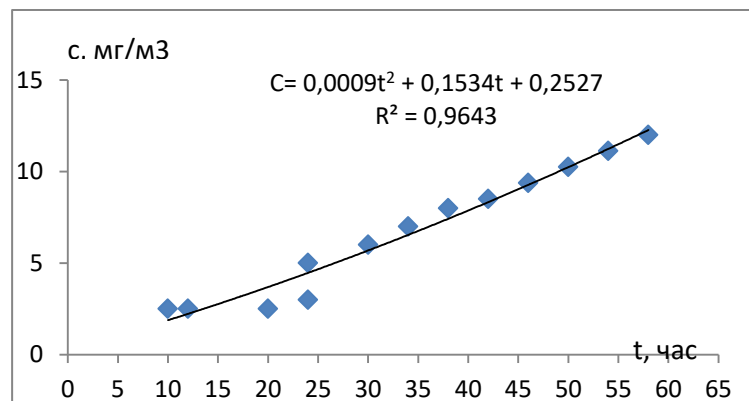


Рисунок 4.14 – Зависимость концентрации СО от времени очистки при концентрации на входе $2,5 \text{ мг/м}^3$ при использовании сорбента «цеолит»

Если концентрация загрязнителя на входе $2,5 \text{ мг/м}^3$, то при использовании цеолита (4 вариант) получена зависимость концентрации СО от времени, представленная на рис.4.14. По зависимости (рис.4.14) видно, что концентрации СО будет в пределах нормы до 24 часов (1 день), после этого будет незначительные превышения. В связи с этим при использовании «цеолита» в качестве адсорбента лучше использовать

несколько ступеней очистки воздуха, последовательное расположение нескольких фильтров с сорбентами.

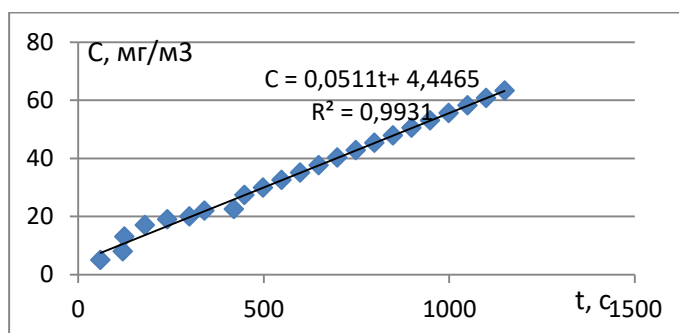


Рисунок 4.15 – Зависимость концентрации СО от времени очистки при концентрации на входе 60 мг/м^3 при использовании сорбента «активированный уголь»

Прямая зависимость на рис. 4.15 объясняется высокой концентрацией СО на входе, активность сорбции угля (2 вариант) резко падает, а затем резко возрастает концентрация загрязнителя в приточном воздухе.

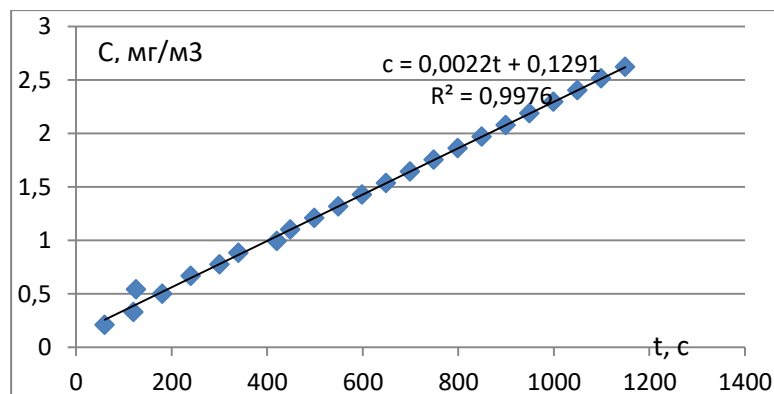


Рисунок 4.16 – Зависимость концентрации СО от времени очистки при концентрации на входе $2,5 \text{ мг/м}^3$ при использовании сорбента «активированный уголь»

Концентрация СО при небольшой концентрации загрязнителя СО в наружном воздухе на входе сорбента «активированный уголь» (2 вариант) будет превышать норму после 1400 сек (рис.4.16).

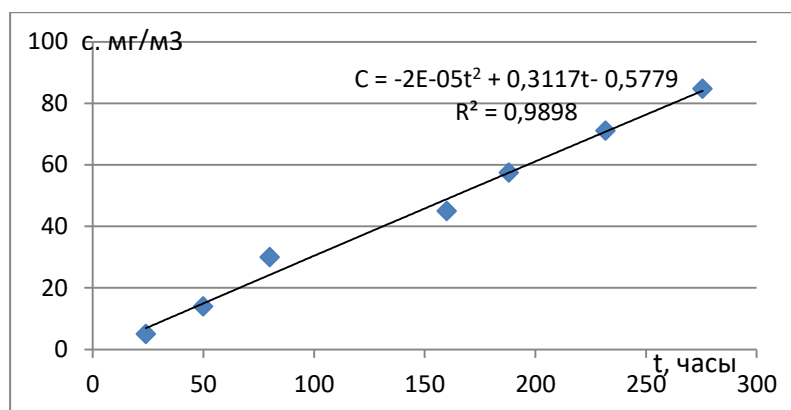


Рисунок 4.17 – Зависимость концентрации CO от времени очистки при концентрации на входе 61 мг/м^3 при использовании сорбента «силикагель» (5 вариант)

При использовании в качестве сорбента «силикагеля» (5 вариант) согласно зависимости концентрации CO будут в пределах нормы до 24 часов (1 дня), после этого отмечены превышения (рис.4.17). Это картина складывается при высокой концентрации CO на входе (61 мг/м^3).

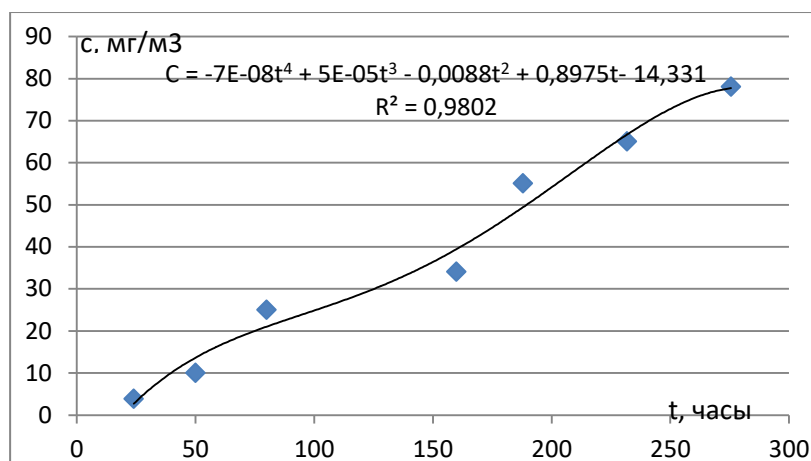


Рисунок 4.18 – Зависимость концентрации CO от времени очистки при концентрации на входе 61 мг/м^3 при использовании последовательных слоев катализатора и сорбента «MnO₂+силикагель» (6 вариант)

При использовании в качестве катализатора MnO₂ и сорбента силикагеля (6 вариант) согласно зависимости концентрации CO будут в пределах нормы до 30 часов (1,5 дня), после этого отмечены превышения (рис.4.18) при высокой концентрации CO в приточном воздухе (61 мг/м^3).

В связи с этим по результатам экспериментальных данных наиболее эффективно последовательное расположение фильтров для очистки

поступающего воздуха от СО в приточной системе вентиляции как показал опыт: «шунгит (первый фильтр), диоксид марганца (второй фильтр), третий - силикагель и цеолит (четвертый фильтр)» – 7 вариант исследований (рис.4.19).

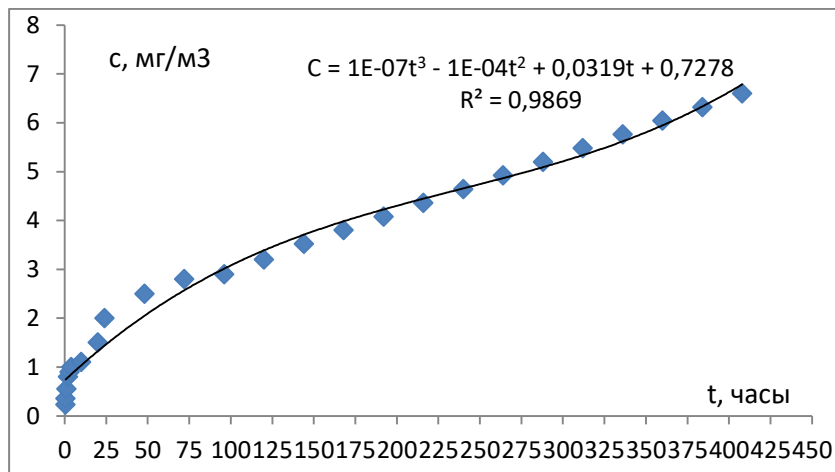


Рисунок 4.19 – Зависимость концентрации СО от времени при очистке воздуха с последовательным расположением фильтров: «шунгит, силикагель, диоксид марганца, цеолит» (7 вариант)

Концентрация СО превышает норму через 502 часа (20 суток) при размещении зданий в районах с магистралями интенсивностью более 2000 авт./час. В городских условиях сорбентов при совместной очистке при расположении здания рядом с магистралью свыше 2000 авт./час срок службы сорбентов – 20 суток, до 1000 авт./ч – 56 дней; 500 авт./ч – 90 дней.

При совместном использовании шунгита Зажогинского месторождения, силикагеля, диоксида марганца, цеолита эффективность очистки приточного воздуха составляет 95,35%.

Требуется рассмотреть дополнительные методы очистки и провести экспериментальные исследования для снижения концентраций органических газообразных загрязнителей, таких как фенол, формальдегид, углеводороды алифатические (C1-C5). Так результаты 1 экспериментального исследования показали, что в зимний период года эффективность очистки: «шунгит+MnO₂+цеолит+силикагель» по углеводородам алифатическим низкая и составляет - 32%; по фенолу - 39,3

%, по формальдегиду - 38,9 %. В зимний период по органическим веществам эффективность очистки также невысокая варианта: «шунгит»: углеводороды алифатические – 8,82-15%, фенол – 10-20%, формальдегид – 12-17%.

Таким образом, при достаточно высоких концентрациях оксида углерода (II) CO на входе в опытный образец устройства, отмечается линейная зависимость концентрации CO от времени, что объясняется высокой концентрацией CO на входе 60 мг/м^3 , активность сорбции угля резко падает, а затем резко возрастает концентрация загрязнителя в приточном воздухе помещения.

Если концентрация на входе $2,5 \text{ мг/м}^3$, то при использовании сорбента «цеолита» (4 вариант) зависимость концентрации CO от времени квадратичного вида. По полученной эмпирической зависимости концентрации CO будет в пределах нормы до 24 часов (1 день), после этого будут незначительные превышения. В связи с этим при использовании «цеолита» в качестве адсорбента необходимо использовать несколько ступеней очистки приточного воздуха, рассмотреть вариант совместно с фотокаталитическим фильтром.

Результаты исследований на опытном образце показали, что наиболее эффективно применять последовательно расположенные фильтры для очистки воздуха от CO в приточном принудительном клапане как показал вариант: «шунгит (первый фильтр), диоксид марганца (второй фильтр), третий - силикагель и цеолит (четвертый фильтр)». В данном случае концентрация CO при небольшой концентрации на входе в наружном воздухе (в 1,5-2 раза превышения от норматива) отмечены превышения нормы внутри помещений через 30 суток, необходимо предусмотреть фотокаталитический фильтр.

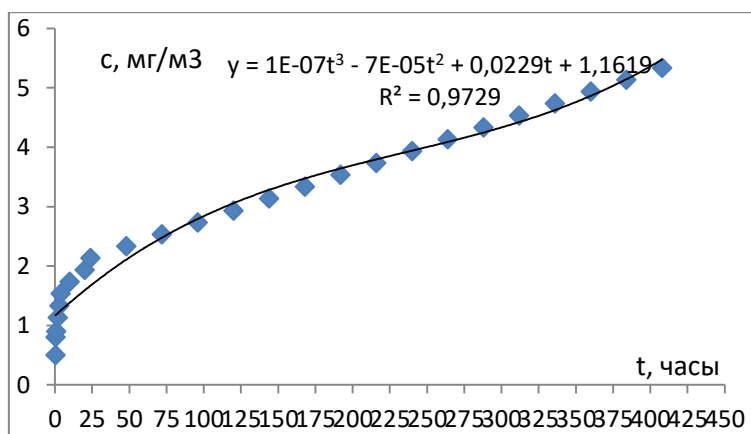


Рисунок 4.20 – Зависимость концентрации CO от времени при очистке воздуха с последовательным расположением фильтров: «активированный уголь, силикагель, диоксид марганца, цеолит» - 8 вариант

Концентрация CO при очистке приточного воздуха вариантом «активированный уголь, силикагель, диоксид марганца, цеолит» (8 вариант) превысила норму через 144 часа (6 суток) в районах с магистралями интенсивностью более 2000 авт./ч (рис.4.20). В городских условиях сорбентов при совместной очистке при расположении здания рядом с магистралью свыше 2000 авт./ч - 6 суток, до 1000 авт./ч – 15 дней; 500 авт./ч – 24 дня. Эффективность очистки данного варианта исследований составила в летний период всего 54,6-72,54 %, в зимний период 57,7-73,75%.

Проведены многолетние экспериментальные исследования «концентрации загрязнителей от времени очистки с помощью различных сорбентов и катализатора», исследованы величины концентраций загрязнителей от времени сорбции на сорбентах (шунгит, цеолит, активированный уголь, силикагель) и катализаторе (диоксиде марганца):

1. Если концентрация CO на входе 2,5 мг/м³, то при использовании цеолита (4 вариант) по зависимости концентрации CO в пределах нормы до 24 часов. При использовании «цеолита» в качестве адсорбента необходимо использовать несколько ступеней очистки воздуха. Эффективность очистки приточного воздуха от CO сорбентом «цеолита»

низкая и составила в зимний период года – 54-58%, летний период – 51-56%. По органическим загрязнителям эффективность очистки сорбентом «цеолит» не выше 50-69%.

2. При концентрации СО на входе выше 30 мг/м³ при использовании сорбента «активированный уголь» (2 вариант) концентрация загрязнителя на выходе превышала норму после 1400 сек.

3. При использовании в качестве сорбента силикагеля (5 вариант) согласно зависимости концентрации СО будут в пределах нормы до 24 часов (1 дня), отмечены превышения при высокой концентрации СО на входе (до 61 мг/м³).

4. При использовании в качестве катализатора MnO₂ и сорбента силикагеля (6 вариант) согласно зависимости концентрации СО от времени будут в пределах нормы до 30 часов (1,5 дня), после этого отмечены превышения при высокой концентрации СО на входе (61 мг/м³).

5. Концентрация СО внутри помещения при использовании «шунгита, силикагеля, диоксида марганца, цеолита» (7 вариант) превысила норму только через 502 часа (30 суток) при размещении зданий в районах с магистралями интенсивностью более 2000 авт./ч. В городских условиях сорбентов при совместной очистке при расположении здания рядом с магистралью свыше 2000 авт./ч – 20 суток, до 1000 авт./ч – 56 дней; 500 авт./ч – 90 дней. При совместном использовании шунгита Зажогинского месторождения, силикагеля, диоксида марганца, цеолита эффективность очистки составляет 95,35%. Требуется рассмотреть методы очистки и провести экспериментальные исследования для снижения концентрации органических газообразных загрязнителей, таких как фенол, формальдегид, углеводороды алифатические (C1-C5). Так результаты 1 экспериментального исследования показали, что в зимний период года эффективность очистки: «шунгит+MnO₂+цеолит+силикагель» по углеводородам алифатическим низкая и составляет - 32%; по фенолу - 39,3

%, по формальдегиду - 38,9 %. В зимний период по органическим же веществам эффективность очистки также невысокая варианта: «шунгит»: углеводороды алифатические – 8,82-15%, фенол – 10-20%, формальдегид – 12-17%.

6. В городских условиях сорбентов при совместной очистке при расположении здания рядом с магистралью свыше 2000 авт./ч – 6 суток, 500-1000 авт./ч – 15 дней; до 500 авт./ч – 24 дня. Концентрация СО при очистке вариантом «активированный уголь, силикагель, диоксид марганца, цеолит» (8 вариант) будет превышать норму через 144 часа (6 суток) при размещении здания в районах с магистралями интенсивностью более 2000 авт./час. Эффективность очистки приточного воздуха данного варианта исследований составила в летний период всего 54,6-72,54 %, в зимний период 57,7-73,75%.

4.3.1. Экспериментальные исследования расхода приточного воздуха от сопротивления фильтров по мере загрязнения

Для уточнения срока службы сорбентов экспериментально проводилось измерение сопротивления фильтров P_{ϕ} - разницы давлений в сечениях до и после фильтров шунгит, цеолит, пористая пластина диоксида титана с течением времени с наветренной и подветренной сторон зданий.

Результаты исследований установили, что по мере загрязнения фильтрующей загрузки коэффициент местного сопротивления воздуха ξ возрастает с наветренных сторон зданий, что эквивалентно сорбирующей способности загрузки фильтров (сорбентов) для зданий вблизи с магистралью свыше 2000 авт./ч – с наветренной стороны 30 суток, с подветренной 40 суток; от 500-1000 авт./ч – с наветренной стороны 56

дней; с подветренной 100 суток; до 500 авт./ч – 90 дней с наветренной стороны, 120 дней с подветренной стороны.

На рис. 4.21 представлена разность давлений P_{ϕ} (сопротивление) до загрязнения фильтров приточных клапанов, через 90 суток и 120 суток при высоких концентрациях загрязнителей в наружном воздухе (2-3ПДК_{сс}).

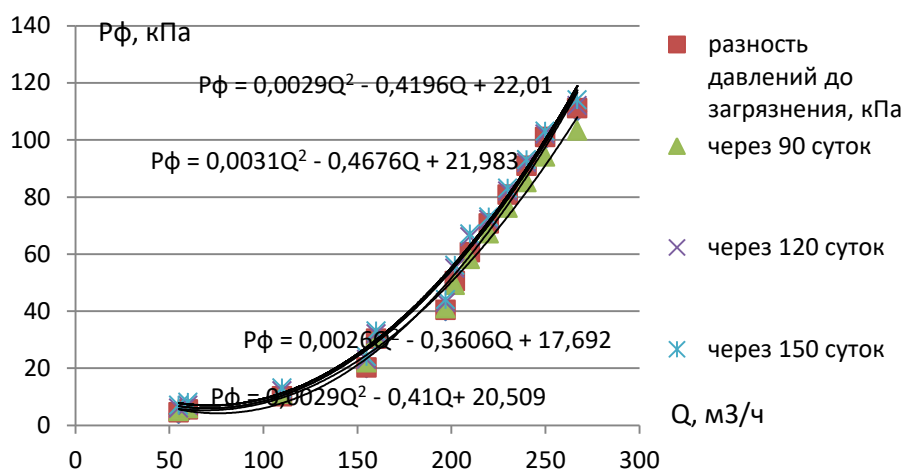


Рисунок 4.21 – Разность давлений, расход приточного воздуха по мере загрязнения фильтров с наветренной стороны зданий

Таблица 4.4 – Коэффициент сопротивления ξ по мере загрязнения фильтров клапанов с очисткой воздуха

разность давлений, Па			экспериментальный расход приточного воздуха, м³/час			коэффициент сопротивления воздуха ξ			
120 суток	90 суток	60 суток	60 суток	90 суток	120 суток	30 суток	60 суток	90 суток	120 суток
7	5	4,8	61	60	56	6,0	6,3	7,2	9,8
12	10	9,9	111	110	109	3,9	4,0	4,2	5,1
22	20	19,8	157	155	145	3,9	4,1	4,3	5,2
33	30	29,9	167	160	156	2,8	2,9	3,0	3,7
44	40	39	199	197	195	2,0	2,1	2,2	2,9
55	50	49	205	202	198	2,0	2,1	2,2	3,0
60	60	59	211	210	200	1,7	1,9	2,1	3,1
77	70	69	223	220	210	1,7	1,8	2,0	3,2
88	80	79	233	230	220	1,5	1,6	1,8	2,5
99	90	89	245	240	230	1,5	1,6	1,7	2,4
110	100	99	252	250	240	1,3	1,4	1,5	2,3
120	110	109	268	267	256	1,1	1,2	1,4	2,2

По мере загрязнения сорбентов фильтров (табл.4.4) коэффициент сопротивления воздуха ξ увеличивается с 30 суток на 90-120 сутки в 1,3 раза, разница давлений более 2 Па на 90-120 сутки (3-4 месяца).

В зависимости от степени загрязнения приточного воздуха необходимо производить замену сорбентов через оголовки клапанов приточной вентиляции при расположении зданий рядом с магистралью свыше 2000 авт./ч – после 30 суток, 500-1000 авт./ч – 56-60 дней; до 500 авт./ч – 90 дней с наветренной стороны, 120 дней с подветренной стороны. Средний срок службы сорбентов для наветренной стороны фасада зданий составляет 90 суток (3 месяца), с подветренной стороны - после 120 суток (4 месяца) необходима замена фильтрующего сорбента. Расчёт срока службы сорбентов в зависимости от производительности клапанов и степени загрязнения приточного воздуха производится на основании полученных уравнений метода расчёта параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха (глава 5), что реализовано в программном обеспечении (глава 6). Все сорбенты природные безопасные материалы. Замена фильтрующих загрузок производится через оголовки клапанов приточной вентиляции внутри помещения (оголовки легко открывается).

4.4. Экспериментальные исследования влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки приточного воздуха в помещения совместно с сорбентами

Варианты исследований:

1 – фотокаталитический фильтр (TiO_2 +1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт); 2 – фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм), 6 Вт; 3 – шунгит+фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт); 4 – активированный уголь+ фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 5 – цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 6 – шунгит+цеолит+фотокаталитический

фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 7 – активированный уголь+цеолит + фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт); 8 – фильтры: шунгит+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт; 9 – активированный уголь+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 10 – цеолит+ силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 11 – шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 12 – силикагель+ + TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.

По результатам *третьего экспериментального исследования «влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки поступающего воздуха в помещения совместно с сорбентами»* рассчитаны средние значения концентраций оксида углерода (II) CO, фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) с помощью отбора проб загрязнителей снаружи и внутри помещения при различных двенадцати вариантах исследований очистки приточного воздуха (табл.4.5-4.6) в летний и зимний периоды года.

Таблица 4.5 – Результаты исследований концентраций загрязняющих веществ с использованием опытного образца в летний период с 1 по 7 варианты исследований

№ варианта исследований	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³		Концентрация углеводородов алифатических (C1-C5), мг/м ³		Концентрация фенола, мг/м ³		Концентрация формальдегида, мг/м ³	
	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1- TiO_2+ 1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт	42,56	35,57	171	122	4,59	3,43	0,36	0,28
	41,43	34,43	170	125	4,58	3,5	0,35	0,25
	38,78	33,5	160	121	4,75	3,87	0,32	0,256
2 - TiO_2+ 2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	42,56	26	171	105	4,59	2,8	0,36	0,24
	41,43	28,33	170	104	4,58	3	0,35	0,23

Продолжение таблицы 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	38,78	29,78	160	108	4,75	3,1	0,32	0,22
3 – шун- гит+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	42,56	4,89	171	22	4,59	0,6	0,45	0,05
	41,43	4,75	170	21	4,58	0,62	0,42	0,055
	38,78	4,67	160	20	4,125	0,6858	0,32	0,06
4 – акти- ви- ро- ван- ный уголь+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	42,56	21,75	141	100	4,59	3,1	0,36	0,085
	41,43	20,65	170	120	4,58	3,12	0,35	0,077
	38,78	21,55	160	120	4,75	3,25	0,32	0,075
5 – цеолит + TiO ₂ + 2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	42,56	8	171	105	4,59	2,9	0,36	0,17
	41,43	7,6	170	107	4,58	2,8	0,35	0,16
	38,78	7,429	160	101	4,75	3	0,32	0,162
6 шун- гит+це- олит+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	42,56	4	171	11	4,59	0,18	0,36	0,01
	41,43	0,05	170	15	4,58	0,16	0,35	0,015
	38,78	2,4	160	16	4,75	0,2	0,32	0,014
7 – акти- ви- ро- ван- ный уголь+ цеолит + TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.	42,56	5,43	171	38	4,59	0,6	0,36	0,07
	41,43	4,85	170	36	4,58	0,5	0,35	0,06
	38,78	5,22	150	37	4,75	0,6	0,32	0,063

Таблица 4.6 – Результаты исследований концентраций загрязняющих веществ с использованием опытного образца в зимний период с 1 по 7 вариант

№ варианта исследований	Концентрация оксида углерода (II), мг/м ³		Концентрация углеводородов алифатических (C1-C5), мг/м ³		Концентрация фенола, мг/м ³		Концентрация формальдегида, мг/м ³	
	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1- TiO ₂ + 1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт	49	38	172	124	5	3,7	0,5	0,38
	48	39	173	127	5,2	3,9	0,52	0,35
	49	38	162	129	5,3	4,2	0,53	0,31
2 - TiO ₂ + 2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	49	30	172	109	5	3,1	0,5	0,34
	48	32	173	105	5,2	3,1	0,52	0,33
	49	33	162	109	5,3	3,8	0,53	0,32
3 – шун- гит+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	49	5,1	172	23	5	0,8	0,5	0,08
	48	5,5	173	22	5,2	0,7	0,52	0,06
	49	5,2	162	22	5,3	0,75	0,53	0,08
4 – акти- ви- ро- ван- ный уголь+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	49	23	172	101	5	3,3	0,5	0,095
	48	21	173	123	5,2	3,5	0,52	0,087
	49	24	162	123	5,3	3,7	0,53	0,085
5 – цеолит + TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	49	9,7	172	108	5	3,1	0,5	0,19
	48	10	173	109	5,2	3	0,52	0,2
	49	10	162	104	5,3	3,4	0,53	0,21
6 шун- гит+ цеолит + TiO ₂ + 2 УФ - 365 нм, 6 Вт	49	4	172	14	5	0,2	0,5	0,05

Продолжение таблицы 4.6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	48	5	173	17	5,2	0,19	0,52	0,035
	49	4	162	18	5,3	0,25	0,53	0,045
7 – акти- ви- ро- ван- ный уголь+ цеолит + TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.	49	6	172	39	5	0,75	0,5	0,09
	48	5,5	173	38	5,2	0,65	0,52	0,09
	49	6	162	39	5,3	0,75	0,53	0,078

По результатам экспериментальных исследований рассчитаны эффективности очистки поступающего воздуха при различных вариантах исследований, каждый вариант повторялся в трехкратной повторности (табл.4.7).

Таблица 4.7 – Расчет эффективности очистки приточного воздуха от загрязняющих веществ при различных вариантах исследований в летний и зимний периоды года с 1 по 7 вариант

№ варианта исследований	Эффективность очистки воздуха внутри помещения, %							
	по оксиду углерода (II)		по углеводородам алифатическим (C1-C5)		по фенолу		по формальде- гиду	
	зим- ний	лет- ний	зимний	летний	зимний	летний	зим- ний	лет- ний
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1- TiO ₂ + 1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт	22,45	16,42	27,91	28,65	26	25,27	24	22,22
	18,75	16,89	26,59	26,47	25	23,58	32,69	28,57
	22,45	13,62	20,37	24,38	20,75	18,53	41,51	20
2 - TiO ₂ + 2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	38,78	38,91	36,63	38,59	38	38,99	32	33,33
	33,33	31,62	39,31	38,82	40,38	34,49	36,54	34,29
	32,65	21,04	32,72	32,5	28,30	37,74	39,62	31,25

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 – шунгит+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	89,59	88,51	86,63	87,1345	84	86,93	84	88,89
	88,54	88,53	87,28	87,65	86,54	86,46	88,46	86,90
	89,39	87,97	86,42	87,5	85,85	83,57	84,91	81,25
4 – активированный уголь+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	53,06	48,89	41,28	29,2	34	32,46	81	76,39
	56,25	50,16	28,90	29,41	32,69	31,88	83,27	78
	51,02	44,43	24,07	25	30,19	31,58	83,96	76,56
5 – цеолит+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	81,20	62,40	37,21	38,59	38	36,82	62	52,78
	81,66	58,97	36,99	37,06	42,31	38,86	61,54	54,29
	80,84	58,74	35,80	36,88	35,85	36,84	60,38	49,22
6 – шунгит+цеолит+ TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт	90,61	81,66	91,86	93,57	96	96,08	90	97,22
	99,88	80,84	90,17	91,18	96,35	96,51	93,27	95,71
	93,81	90,61	88,89	90	95,28	95,79	91,51	95,63
7 – активированный уголь+цеолит + TiO ₂ +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.	87,24	99,88	77,33	77,78	85	86,93	82	80,56
	88,29	93,81	78,03	78,82	87,5	89,08	82,69	82,86
	86,53	87,24	75,93	75,33	85,85	87,37	85,28	80,46

По результатам эксперимента с 1 по 7 вариант исследований «влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки поступающего воздуха в помещения совместно с сорбентами» (табл.4.7) наименьшие значения концентраций загрязнений внутри помещений показал 6 вариант очистки приточного воздуха:

- «шунгит+цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт»: эффективность очистки (табл.4.5-4.8) по оксиду углерода (II) СО в летний период составила от 90,6% до 99,88% (в зимний 89,5 до 91,83%), по фенолу от 95,79-96,07% в летний (95,2 до 96,34% в зимний период), по формальдегиду от 95,63-97,22% в летний период (90 до 93,27% в зимний период), по углеводородам алифатическим (С1-С5) от 90-93,57% в летний период (в зимний период от 88,89 до 91,86%).

Наименьшие показатели по эффективности очистки приточного воздуха у 1 варианта исследований при использовании одного фотокаталитического фильтра, эффективность очистки воздуха по СО составила всего в летний период 13-16% (в зимний период 18,75 – 22,44%), по углеводородам алифатическим (С1-С5) – 24-28% в летний период (от 20,37 до 27,9% в зимний период), по фенолу 18-25% в летний период (от 20,75 до 26%), по формальдегиду в летний период от 20-28% (в зимний период от 24 до 41,51%), а также у 4 варианта исследований: активированный уголь+фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2УФ лампы 365 нм, 6 Вт), эффективность очистки воздуха по оксиду углерода (II) составила всего до 50,16%, по углеводородам алифатическим до 29,41%, по фенолу до 32,46%, по формальдегиду до 76,56%.

При понижении температуры отмечается во многих случаях возрастания процесса сорбции газообразных загрязнителей на сорбентах, более подробно процесс сорбции описан в 5 главе (разработка метода расчета параметров клапанов), в разделе моделирование процесса сорбции в клапанах.

Влияние фотокатализа на качество очистки приточного воздуха

С помощью сертифицированного УФ-радиометра проведен контроль интенсивности УФ-излучения (Вт/м^2) внутри приточного клапана при включенной одной УФ-лампы с длиной волны 365 нм, мощность 6 Вт и одновременно работающих двух одинаковых УФ-лампах (табл.4.8).

Результаты оценки УФ-излучения показали, что уровень интенсивности УФ-излучения увеличивается при возрастании мощности ламп до 12 Вт (при одновременно включенных двух УФ-лампах) до 8,6 Вт/м^2 (УФ-А), до 0,072 Вт/м^2 (УФ-В), до 0,68 Вт/м^2 (УФ-С).

Таблица 4.8 – Результаты контроля интенсивности УФ-излучения ($\text{Вт}/\text{м}^2$) внутри приточного клапана от УФ-ламп с длиной волны 365 нм, мощностью 6-12Вт

Количество УФ-ламп, длина волны 365 нм	Расстояние от источника излучения до пластины диоксида титана, см	УФ-излучение, $\text{Вт}/\text{м}^2$		
		УФ-А	УФ-В	УФ-С
1	5	6,3	0,053	0,56
1	5	6,4	0,055	0,59
1	3	5,07	0,044	0,111
1	3	5,05	0,082	0,55
1	1,5	4,2	0,045	0,506
1	1,5	2,09	0,017	0,099
1	1	3,8	0,034	0,406
1	1	1,08	0,016	0,094
2	5	8,6	0,072	0,68
2	5	8,2	0,073	0,67
2	3	6,55	0,054	0,222
2	3	6,45	0,053	0,275
2	1,5	5,44	0,049	0,605
2	1,5	5,43	0,050	0,606

В опытном образце (табл.4.8) приточного клапана создается наибольшая интенсивность излучения равная $8,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ на расстоянии 1 см (в месте расположения пластины TiO_2) от двух ламп с длиной волны 365 нм в УФ-А диапазоне (315-400) нм и наименьшая интенсивность излучения до $3,8 \text{ Вт}/\text{м}^2$ (УФ-А) при работе одной лампы, мощностью 6 Вт.

Наименьшие показатели по эффективности очистки воздуха (табл.4.7) внутри помещения показал 1 вариант исследований, что доказывает неэффективность фотокаталитического фильтра без предварительной очистки приточного воздуха сорбентами.

При исследовании только фотокаталитического окисления диоксидом титана наиболее эффективен фотокаталитический фильтр для очистки воздуха по органическим примесям, при включенных двух УФ-ламп эффективность очистки по фенолу составляет до 38,99%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) до 38,82%. Внутри помещений

УФ-излучение при работе приточного устройства не обнаружено, так УФ-лампы находятся внутри корпуса (внутри оголовка).

По результатам обработки экспериментальных данных установлена зависимость эффективности очистки приточного воздуха (Ξ_i) от газообразных загрязнителей от интенсивности УФ-излучения и расстояния до пористой пластины TiO_2 :

$$\Xi_{CO} = 12,43 + 4,30 \cdot I + 8,56 \cdot R, \quad (4.1)$$

$$\Xi_{\text{углеводороды (C1-C5)}} = 13,40 + 4,91 \cdot I + 7,62 \cdot R, \quad (4.2)$$

$$\Xi_{\text{фенол}} = 18,653 - 0,504 \cdot I + 16,076 \cdot R, \quad (4.3)$$

$$\Xi_{\text{формальдегид}} = 12,805 - 0,521 \cdot I + 16,470 \cdot R, \quad (4.4)$$

где I – интенсивность УФ-А излучения, $Вт/м^2$; R – расстояние от источника УФ-излучения до пластины диоксида титана, м.

Наибольшее влияние на результат эффективности очистки приточного воздуха оказывает фактор расстояние до пластины TiO_2 R . Критерий Фишера $F_{кр}=0,78$.

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что наиболее эффективно использовать 6-ой вариант исследований совместно с фотокаталитическим фильтром после очистки воздуха с помощью сорбентов (шунгита и цеолита), эффективность очистки по всем исследуемым загрязнителям составила от 90 до 99,89%.

Кроме того, что активированный уголь совместно с фотокаталитическим фильтром недостаточно справляется с органическими загрязнителями, эффективность очистки по углеводородам алифатическим (C1-C5) составила всего 25-29%, по фенолу 31,57-32%, по формальдегиду от 76,56-78%.

В экспериментальной установке приточного клапана создается наибольшая интенсивность излучения равная $8,6 \text{ Вт/м}^2$ на расстоянии 1 см (в месте расположения пластины TiO_2) от двух ламп с длиной волны 365

нм в УФ-А диапазоне (315-400) нм и наименьшая интенсивность излучения до $3,8 \text{ Вт/м}^2$ (УФ-А) при работе одной лампы, мощностью 6 Вт.

Наименьшие показатели по эффективности очистки воздуха внутри помещения показал 1 вариант исследований, что доказывает неэффективность фотокаталитического фильтра без предварительной очистки приточного воздуха сорбентами.

Результаты исследований с 1 по 7 вариант «Экспериментальные исследования влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки поступающего воздуха в помещения совместно с сорбентами»:

1. Наименьшие значения концентраций загрязнений внутри помещений показал 6 вариант очистки приточного воздуха (табл.4.6-4.7):

- шунгит+цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт): эффективность очистки по оксиду углерода (II) СО в летний период составила от 90,6% до 99,88% (в зимний 89,5 до 91,83%), по фенолу от 95,79-96,07% в летний (95,2 до 96,34% в зимний период), по формальдегиду от 95,63-97,22% в летний период (90 до 93,27% в зимний период), по углеводородам алифатическим (С1-С5) от 90-93,57% в летний период (в зимний период от 88,89 до 91,86%).

3. При исследовании влияния УФ-излучения на эффективность очистки воздуха от газообразных примесей внутри помещения выяснено, что воздействие оказывает интенсивность УФ-А-излучения на расстояние 1 см, на котором расположена УФ-лампа от пластины, покрытой диоксидом титана. Так, при интенсивности УФ-А излучения в экспериментальной установке приточного клапана $8,6 \text{ Вт/м}^2$, на расстоянии 1 см от двух ламп (по 6 Вт каждая) в УФ-А диапазоне (315-400) нм эффективность очистки воздуха от газообразных примесей составила по оксиду углерода (II) до 38%, по углеводородам алифатическим до 39%, по фенолу до 39%, по формальдегиду до 34%. При

интенсивности излучения УФ-А 3,8 Вт/м² (одна лампа) эффективность очистки от всех загрязнений составила от 16,42 до 28,65%.

4. Представленные результаты исследований следует использовать для выбора и обоснования варианта очистки наружного воздуха в приточных воздушных клапанах зданий городской среды с высоким загрязнением атмосферного воздуха от внешних источников выбросов.

В вариантах с 8 по 12 исследований «влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки поступающего воздуха в помещения совместно с сорбентами» дополнительно был добавлен силикагель: 8 – фильтры: шунгит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт; 9– активированный уголь+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 10 – цеолит+ силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 11 – шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт; 12 – силикагель+ + TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.

Толщина слоя всех сорбентов в различных вариантах исследования составила 20 мм.

Вследствие того, что при работе клапана может изменяться влажность наружного воздуха, то помимо сорбентов обладающих сорбционными свойствами в опытном образце клапана использовался сорбент для уменьшения избытка влаги в помещении (силикагель технический).

По результатам эксперимента рассчитаны средние значения концентраций оксида углерода (II) CO, фенола, формальдегида, углеводородов алифатических с помощью экспериментальной установки снаружи и внутри помещения при различных вариантах исследования с 8 по 12 (табл.4.9).

По результатам исследований выяснен наилучший способ очистки воздуха с использованием опытного образца с дополнительным сорбентом силикагелем.

Таблица 4.9 – Результаты исследований концентраций загрязняющих веществ в зимний период с 8 по 12 вариант исследований

№ варианта	снаружи оксид углерода (II), мг/м ³	внутри оксид углерода (II), мг/м ³	углеводородов алифатических снаружи, мг/м ³	углеводородов внутри помещения, мг/м ³	снаружи фенола, мг/м ³	внутри фенола, мг/м ³	снаружи формальдегид, мг/м ³	внутри формальдегида, мг/м ³
8 – шунгит+сикагель+TiO ₂ +2УФ лампы	42,56	3,0	83	8,3	4,43	0,1	0,45	0,05
	41,43	2,9	82	7,5	4,58	0,12	0,43	0,056
	38,78	3,1	80	6,5	4,13	0,18	0,33	0,04
9 – активированный уголь+сикагель + TiO ₂ +2УФ лампы	42,56	9,375	83	40,5	4,43	2,2	0,45	0,2
	41,43	9,15	82	42,5	4,58	2,12	0,43	0,18
	38,78	10,5	80	43	4,13	2,25	0,33	0,19
10 – цеолит+сикагель + TiO ₂ +2УФ лампы	42,56	6,29	83	30,5	4,43	1,9	0,45	0,05
	41,43	5,3	82	32,4	4,58	1,8	0,43	0,06
	38,78	5,2	80	33,1	4,13	1,9	0,33	0,07
11 – шунгит+цеолит+сикагель + TiO ₂ +2УФ лампы	42,56	0,01	83	5	4,43	0,16	0,45	0,01
	41,43	0,05	82	4	4,58	0,14	0,43	0,015
	38,78	1,4	80	5,5	4,13	0,1	0,33	0,014
12- силикагель+TiO ₂ +2УФ лампы	42,56	15	83	45	4,43	2,3	0,45	0,3
	41,43	14	82	46	4,58	2,5	0,43	0,35
	38,78	11	80	47	4,13	2,4	0,33	0,28

Таблица 4.10 – Результаты исследований концентраций загрязняющих веществ в летний период с 8 по 12 вариант исследований

№ варианта	снаружи оксид углерода (II), мг/м ³	внутри оксид углерода (II), мг/м ³	углеводородов алифатических снаружи, мг/м ³	углеводородов алифатических внутри помещения, мг/м ³	снаружи фенола, мг/м ³	внутри фенола, мг/м ³	снаружи формальдегид, мг/м ³	внутри формальдегид, мг/м ³
8 – шунгит+силькагель+TiO ₂ +2 УФ лампы	42,6	3,5	83	9	4,43	0,15	0,45	0,08
	41,4	3	82	8	4,58	0,18	0,43	0,09
	38,8	3,9	80	7	4,13	0,19	0,33	0,06
9 - активированный уголь+силькагель + TiO ₂ +2 УФ лампы	42,6	9,8	83	42	4,43	2,8	0,45	0,25
	41,4	9,9	82	48	4,58	2,9	0,43	0,26
	38,8	10,8	80	47	4,13	2,8	0,33	0,26
10 – цеолит+силькагель + TiO ₂ +2 УФ лампы	42,6	7	83	31	4,43	2	0,45	0,08
	41,4	7	82	33	4,58	2,1	0,43	0,09
	38,8	7,1	80	33	4,13	2,2	0,33	0,09
11 - шунгит+цеолит+силькагель + TiO ₂ +2 УФ лампы	42,6	0,01	84	5	4,43	0,18	0,45	0,05
	41,4	0,05	83	4	4,58	0,19	0,43	0,02
	38,8	1,4	85	5,5	4,13	0,2	0,33	0,03
12-силькагель+TiO ₂ +2 УФ лампы	42,6	16	83	45	4,43	2,3	0,45	0,4
	41,4	17	82	48	4,58	2,5	0,43	0,45
	38,8	16	80	49	4,13	2,4	0,33	0,3

По результатам экспериментальных исследований рассчитаны эффективности очистки приточного воздуха при различных вариантах исследований (с 8 по 12), каждый вариант повторялся в трехкратной повторности в зимний и летний периоды года (табл.4.10-4.11). Для наглядности на рис. 4.22.

Таблица 4.11 – Расчет эффективности очистки воздуха от загрязняющих веществ при 8 по 12 вариантах исследования в зимний и летний периоды года

№ варианта исследований	Эффективность очистки воздуха внутри помещения, %							
	по оксиду углерода (II)		по углеводородам алифатическим (C1-C5)		по фенолу		по формальдегиду	
	зимний	летний	зимний	летний	зимний	летний	зимний	летний
8 –шунгит+ силикагель+ TiO ₂ +2 УФ лампы	92,95	91,78	90	89,16	94,54	93,45	88,89	82,22
	93,00	92,76	90,85	90,24	100	100	86,98	79,07
	92,01	89,94	91,88	91,25	89,17	88,94	87,88	81,82
9 – активированный уголь+ силикагель+ TiO ₂ + 2 УФ лампы	77,97	76,97	51,20	49,40	48,69	35,59	55,56	44,44
	77,91	76,10	48,17	41,46	59,56	40,68	58,14	39,53
	72,92	72,15	46,25	41,25	42,44	30,02	42,42	21,21
10 – цеолит+ силикагель+ + TiO ₂ + 2 УФ лампы	85,22	83,55	63,25	62,65	55,24	53,06	88,89	82,22
	87,21	83,10	60,49	59,76	67,31	60,05	86,05	79,07
	86,59	81,69	58,63	58,75	50,34	43,57	78,79	72,73
11 - шунгит+ цеолит+ силикагель+ TiO ₂ +2 УФ лампы	99,98	99,98	93,98	94,05	93,23	92,79	97,79	88,89
	99,88	99,88	95,13	95,18	100	100	96,51	95,35
	96,39	96,39	93,13	93,53	90,97	88,71	95,76	90,91
12- силикагель+ TiO ₂ + 2 УФ лампы	64,76	62,40	45,78	45,78	46,51	46,51	33,33	11,11
	66,21	58,97	43,90	41,46	50,36	50,36	18,60	6,98
	71,63	58,74	41,25	38,75	41,89	41,89	15,15	9,09

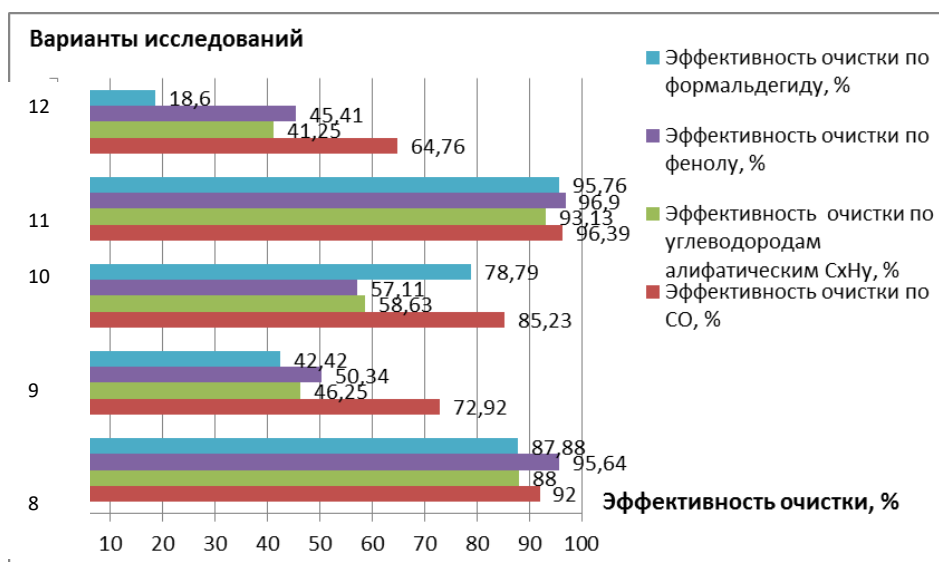


Рисунок 4.22 – Показатели эффективности очистки приточного воздуха по оксиду углерода (II), углеводородам алифатическим (C1-C5), фенолу, формальдегиду при 8 - 12 варианте исследований (совместно с силикагелем) в зимний период

По результатам эксперимента (табл.4.11) наименьшие значения концентраций загрязнений внутри помещений показал 11 вариант очистки приточного воздуха «шунгит+силикагель+цеолит+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт»: эффективность очистки в зимний период года (рис.4.22) по СО составила от 96,39% до 99,98%, по фенолу от 96,39-97,89%, по формальдегиду от 95,76-97,78%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 93,13-95,12%. В летний период года по СО составила до 99,9%, по фенолу от 88 до 93 %, по формальдегиду от 89 до 95 %, по углеводородам алифатическим (C1-C5) до 94%.

Наиболее высокую эффективность очистки приточного воздуха от всех загрязнителей показал 8 вариант исследований: «шунгит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт», эффективность очистки в зимний период немного выше по СО составила 92-93%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) 88,0-91,88%, по фенолу от 95,64-97,74%, по формальдегиду от 86,98-88,89%. В летний период по СО составила 96,38-99,98%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) 94,05-95,18%, по фенолу до 88,71%, по формальдегиду до 88,89%.

Исследования 12 варианта, где из сорбентов только силикагель и фотокаталитический фильтр: «силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм» показали, что эффективность очистки приточного воздуха по СО составила в зимний период от 64,76-71,63%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 41,25-45,78%, по фенолу от 45,41-49,47%, по формальдегиду от 15,15 до 33,33%. В летний период по СО эффективность очистки составила от 58,74-62,41%, по СО составила 92-93%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 30,75-45,78%, по фенолу от 41,09-50,36%, по формальдегиду от 6,98 до 11,11%.

Таким образом, экспериментальные исследования вариантов фотокаталитического окисления газообразных веществ с силикагелем с 8 по 12 показали, что наиболее эффективно использовать 11 вариант исследований совместно с фотокаталитическим фильтром после очистки воздуха на сорбентах (шунгит, цеолит, силикагель): эффективность очистки по всем исследуемым загрязнителям составила в зимний и летний период года от 96 до 99,89%.

Следует отметить, что вариант исследований «активированный уголь+силикагель совместно с фотокаталитическим фильтром» плохо справляется с органическими загрязнителями, эффективность очистки по углеводородам алифатическим (C1-C5) составила всего 40,5-43%, по фенолу 50,34-53,71%, по формальдегиду от 42,42-58,14% в зимний период года, в летний по углеводородам алифатическим (C1-C5) составила всего 41%, по фенолу 35,59-40,67%, по формальдегиду от 21,21-44,44%

Таким образом, целесообразней использовать последовательное расположение фильтров для очистки воздуха в приточных клапанах систем вентиляции, так как анализ результатов экспериментальных данных показал, что при использовании традиционных сорбентов (активированного угля) в фильтрах приточных клапанов с фотокаталитическим фильтром эффективность очистки приточного

воздуха по оксиду углерода (II) составила всего до 50,16%, по углеводородам алифатическим до 29,41%, по фенолу до 32,46%, по формальдегиду до 76,56%. При совместном использовании нескольких сорбентов с фотокаталитическим фильтром результаты достигают до 96-99,8%.

Выводы по третьему экспериментальному исследованию «влияния фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки поступающего воздуха в помещения совместно с сорбентами»:

1. Проведен отбор проб концентраций газообразных загрязнителей снаружи и внутри помещения для оценки влияния фотокатализа совместно с сорбентами на эффективность очистки приточного воздуха с помощью опытного образца приточного клапана в зимний и летний периоды.

2. По результатам третьего экспериментального исследования (влияния фотокатализа совместно с сорбентами на степень очистки приточного воздуха) наименьшие значения концентраций загрязнений внутри помещений показали 6 вариант очистки приточного воздуха, а также 11 вариант исследования:

- 6 вариант «шунгит+цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт)»: эффективность очистки по оксиду углерода (II) CO в летний период составила от 90,6% до 99,88% (в зимний 89,5 до 91,83%), по фенолу от 95,79-96,07% в летний период (95,2 до 96,34% в зимний период), по формальдегиду от 95,63-97,22% в летний период (90 до 93,27% в зимний период), по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 90-93,57% в летний период (в зимний период от 88,89 до 91,86%).

- результаты оценки влияния фотокатализа совместно с сорбентами с 8 по 12 вариант исследований (дополнительно с силикагелем) в зимний

период на экспериментальной установке показали, что наиболее эффективно применять 11 вариант очистки воздуха от газообразных загрязнителей наружного воздуха: «шунгит+цеолит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт»: эффективность очистки в зимний период по СО составила от 96,39% до 99,98%, по фенолу от 96,39-97,89%, по формальдегиду от 95,76-97,78%, по углеводородам алифатическим (С1-С5) от 93,13-95,12%. В летний период года по СО составила до 99,9%, по фенолу от 88 до 93 %, по формальдегиду от 89 до 95 %, по углеводородам алифатическим (С1-С5) до 94%. Силикагель дополнительно рекомендуется включать в зданиях, расположенных вблизи с магистралями с высокой интенсивностью движения автотранспорта свыше 2500 авт./час, а также в городах с повышенной влажностью атмосферного воздуха.

- затем по эффективности очистки от всех загрязнителей 8 вариант исследований: «шунгит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт», эффективность очистки по оксиду углерода (II) СО в зимний период составила 92-93%, по углеводородам алифатическим (С1-С5) 88,0-91,88%, по фенолу от 95,64-97,74%, по формальдегиду от 86,98-88,89%.

Данные показатели получены при одинаковой высоте каждого фильтрующего слоя сорбента 20 мм и фильтрующей поверхности 0,00567 м², с диаметром каждого фильтра 85 мм.

3. Наименьшие показатели по эффективности очистки приточного воздуха у:

- 1 варианта исследований при использовании одного фотокаталитического фильтра, эффективность очистки воздуха по СО составила всего в летний период 13-16% (в зимний период 18,75 – 22,44%), по углеводородам алифатическим (С1-С5) – 24-28% в летний период (от 20,37 до 27,9% в зимний период), по фенолу 18-25% в летний период (от 20,75 до 26%), по формальдегиду в летний период от 20-28% (в

зимний период от 24 до 41,51%), также у 4 варианта исследований: активированный уголь+фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2УФ лампы 365 нм, 6 Вт), эффективность очистки воздуха по оксиду углерода (II) составила всего до 50,16%, по углеводородам алифатическим до 29,41%, по фенолу до 32,46%, по формальдегиду до 76,56%.

4. При исследовании влияния УФ-излучения на эффективность очистки воздуха от газообразных примесей внутри помещения выяснено, что воздействие оказывает интенсивность УФ-А-излучения на расстояние 1 см, на котором расположена УФ-лампа от пластины, покрытой диоксидом титана. Так, при интенсивности УФ-А излучения в экспериментальной установке приточного клапана $8,6 \text{ Вт/м}^2$, на расстоянии 1 см от двух ламп (по 6 Вт каждая) в УФ-А диапазоне (315-400) нм эффективность очистки воздуха от газообразных примесей составила по оксиду углерода (II) до 38%, по углеводородам алифатическим до 39%, по фенолу до 39%, по формальдегиду до 34%. При интенсивности излучения УФ-А $3,8 \text{ Вт/м}^2$ (одна лампа) эффективность очистки от всех загрязнений составила от 16,42 до 28,65%. Данная интенсивность УФ-А спектра излучения $8,6 \text{ Вт/м}^2$, с длиной волны 365 нм от УФ-лампы 6 Вт эффективна при использовании совместно с сорбентами шунгитом, цеолитом, силикагелем - эффективность очистки достигает свыше 90%.

5. Наименьшие показатели по эффективности очистки показали 1,2 вариант исследований, что доказывает неэффективность фотокаталитического фильтра (диоксид титана) без предварительной очистки приточного воздуха на сорбентах. Так эффективность очистки 6 варианта исследований с 1 УФ-лампой мощностью 6Вт на пластину TiO_2 , 365 нм, интенсивность УФ-А излучения $3,8 \text{ Вт/м}^2$ по СО составила всего от 13-16%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 24-28%, по фенолу от 18-25%, по формальдегиду от 20-28%.

б. Целесообразней использовать последовательное расположение фильтров (шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр) для повышения качества очистки воздуха в приточных клапанах систем вентиляции, так как анализ результатов эксперимента показал, что при использовании традиционных сорбентов (активированного угля) в фильтрах приточных клапанов с фотокаталитическим фильтром эффективность очистки поступающего воздуха по оксиду углерода (II) составила всего до 50,16%, по углеводородам алифатическим до 29,41%, по фенолу до 32,46%, по формальдегиду до 76,56%. При совместном использовании нескольких сорбентов с фотокаталитическим фильтром результаты достигают до 96-99,8%.

4.5. Экспериментальные исследования влияния метеорологических факторов наружного воздуха на процессы очистки приточного воздуха помещений

4.5.1. Исследования по влиянию температурного фактора

Все варианты очистки приточного воздуха исследовались при различных температурах наружного воздуха как в летний период года при положительных температурах, так и в зимний период года, при отрицательных температурах наружного воздуха.

Исследования проводились в летний период при средней температуре наружного воздуха от +27,5 °С, а также в зимний период года при температуре от -11,5 до 0 °С (рис.4.23-4.26).

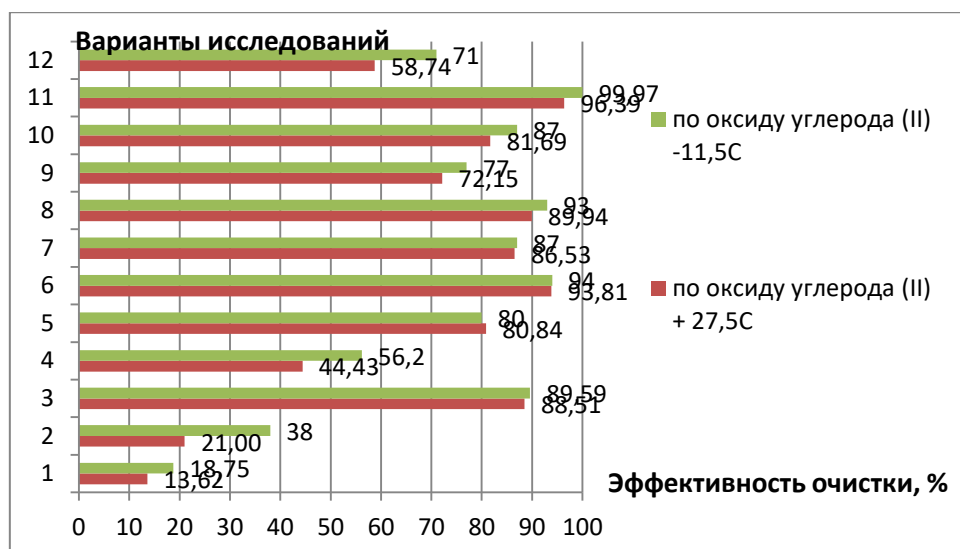


Рисунок 4.23 – Результаты эффективности очистки приточного воздуха по оксиду углерода (II) при различных вариантах исследования при положительных и отрицательных температурах наружного воздуха

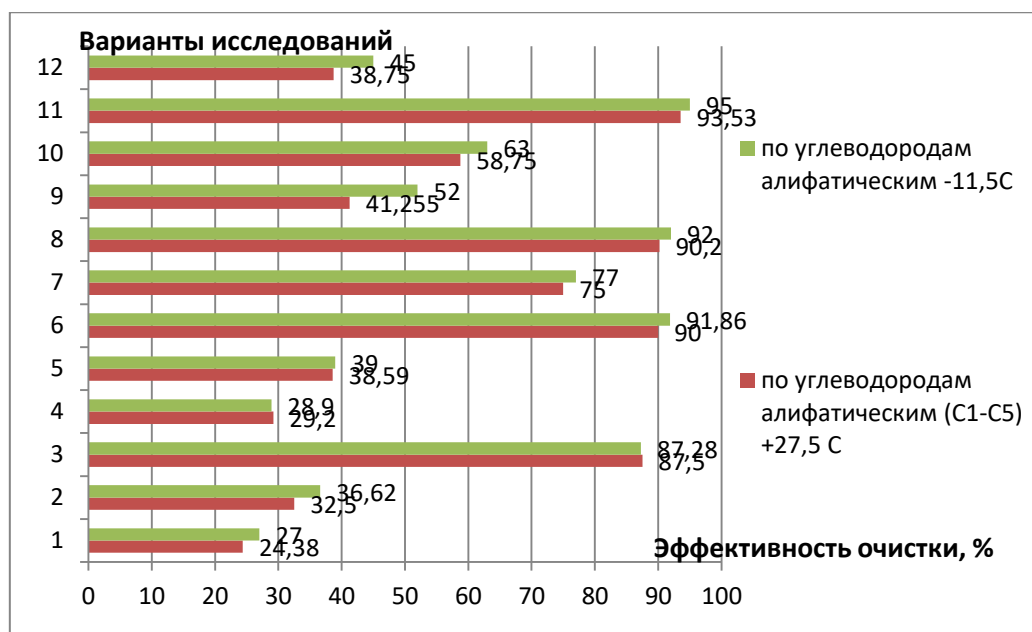


Рисунок 4.24 – Результаты эффективности очистки приточного воздуха от углеводородов алифатических (C1-C5) при различных вариантах исследования при положительных и отрицательных температурах наружного воздуха:

1 – фотокаталитический фильтр (TiO_2 +1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт); 2 – TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 3 – шунгит+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, мощностью 6 Вт; 4 – активированный уголь+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 5 – цеолит+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 6 – шунгит+цеолит+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 7 – активированный уголь+цеолит + TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 8 – фильтры: шунгит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, мощностью 6 Вт; 9 – активированный уголь+силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 10 – цеолит+ силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 11 – шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 12 – силикагель+ + TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.

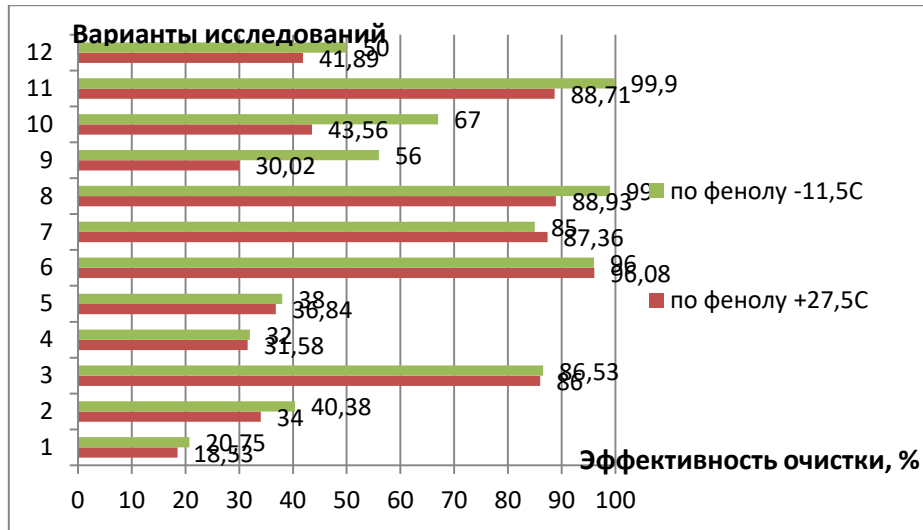


Рисунок 4.25 – Результаты эффективности очистки от фенола приточного воздуха при различных вариантах исследования при положительных и отрицательных температурах наружного воздуха

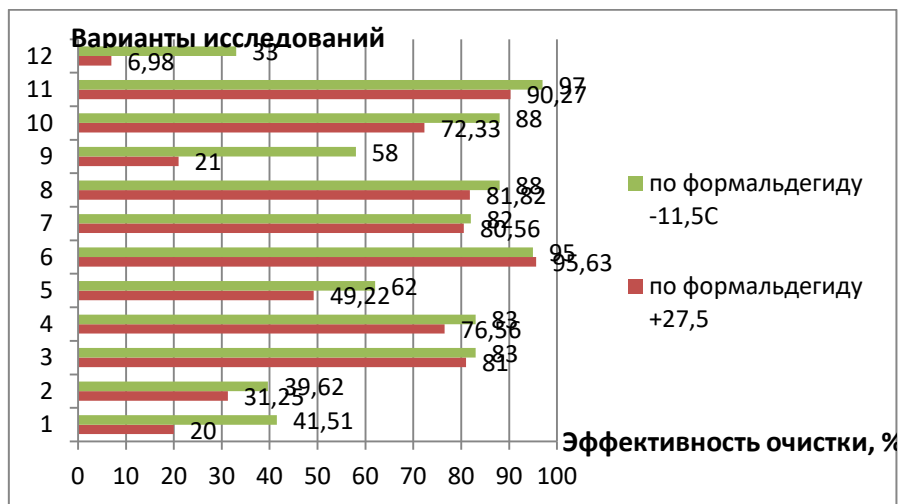


Рисунок 4.26 – Результаты эффективности очистки приточного воздуха от формальдегида при различных вариантах исследования при положительных и отрицательных температурах наружного воздуха: 1 – фотокаталитический фильтр (TiO_2 +1 УФ лампа 365 нм, 6 Вт); 2 – фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ 365 нм), 6 Вт; 3 – шунгит+фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ 365 нм, мощностью 6 Вт); 4 – активированный уголь+ фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт); 5 – цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт); 6 – шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт); 7 – активированный уголь+цеолит + фотокаталитический фильтр (TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт); 8 – фильтры: шунгит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, мощностью 6 Вт; 9 – активированный уголь+силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 10 – цеолит+ силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 11 – шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ 365 нм, 6 Вт; 12 – силикагель+ + TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт.

Результаты экспериментального исследования «влияния температурного фактора наружного воздуха на эффективность очистки воздуха» по всем газообразным загрязнителям показали, что с понижением температуры от + 27,5 до - 11,5⁰С эффективность очистки почти всех загрязнителей увеличивается, но незначительно:

- по оксиду углерода (II) эффективность очистки всех вариантов при отрицательных температурах (при понижении температуры воздуха) возрастает: для наилучших вариантов очистки 6 «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» – с 93,81% до 94%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» – с 96,5 до 99,97%. Та же динамика наблюдается и для всех вариантов исследования (рис.4.23).

-по углеводородам алифатическим эффективность очистки всех вариантов при отрицательных температурах возрастает: так для наилучших вариантов очистки 6 «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» – с 90% до 91,86%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» – с 93,53% до 95%. Аналогичная динамика наблюдается и для всех вариантов исследования (рис.4.24).

- по фенолу эффективность очистки для наилучшего варианта очистки 6 «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» – практически не изменяется 96,0 до 96,1%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» при понижении температуры наружного воздуха до -11,5⁰С эффективность очистки возрастает – с 88,7% до 99,9%. Аналогичная динамика наблюдается и для всех вариантов исследования (рис.4.25).

- по формальдегиду эффективность очистки для наилучшего варианта очистки 6 «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» – практически не изменяется 95%, для 11

варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» при понижении температуры наружного воздуха до $-11,5^{\circ}C$ эффективность очистки возрастает – с 90,2% до 97%. Аналогичная динамика наблюдается и для всех вариантов исследования (рис. 4.26).

4.5.2. Исследования влияния скорости движения воздуха

При экспериментальных исследованиях отмечено влияние скорости ветра наружного воздуха на изменение концентрации загрязнений (CO , углеводородов алифатических, фенола, формальдегида) внутри помещения. В связи с этим по результатам исследований получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей для 6 варианта «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр: TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» и 11 варианта исследования «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» пятого экспериментального исследования, имеющих наилучшие показатели эффективности по очистке загрязнений в приточном воздухе (табл.4.12).

Таблица 4.12 – Эмпирические зависимости концентрации (c) загрязнений внутри помещения от скорости ветра наружного воздуха (V) при 6 варианте

загрязняющее вещество	эмпирическая зависимость, коэффициент достоверности аппроксимации (R^2)
оксид углерода (II)	$c = -0,156V^2 + 1,327V + 0,020, R^2=0,997$
углеводороды алифатические	$c = -0,119V^2 - 0,211V + 17,338, R^2=0,9998$
фенол	$c = -0,0008V^2 + 0,0021V + 0,200, R^2=0,9995$
формальдегид	$c = -0,0002V^2 + 0,001V + 0,013, R^2=0,992$

Результаты экспериментальных исследований показали, что при всех вариантах исследований по очистки приточного воздуха при увеличении скорости ветра с 2 до 8 м/с наружного воздуха концентрация загрязнителей внутри помещения уменьшается.

По результатам пятого эксперимента получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей для 6 варианта

«шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр: TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт», имеющего наилучшие показатели эффективности по очистке приточного воздуха от загрязнений (табл.4.27).

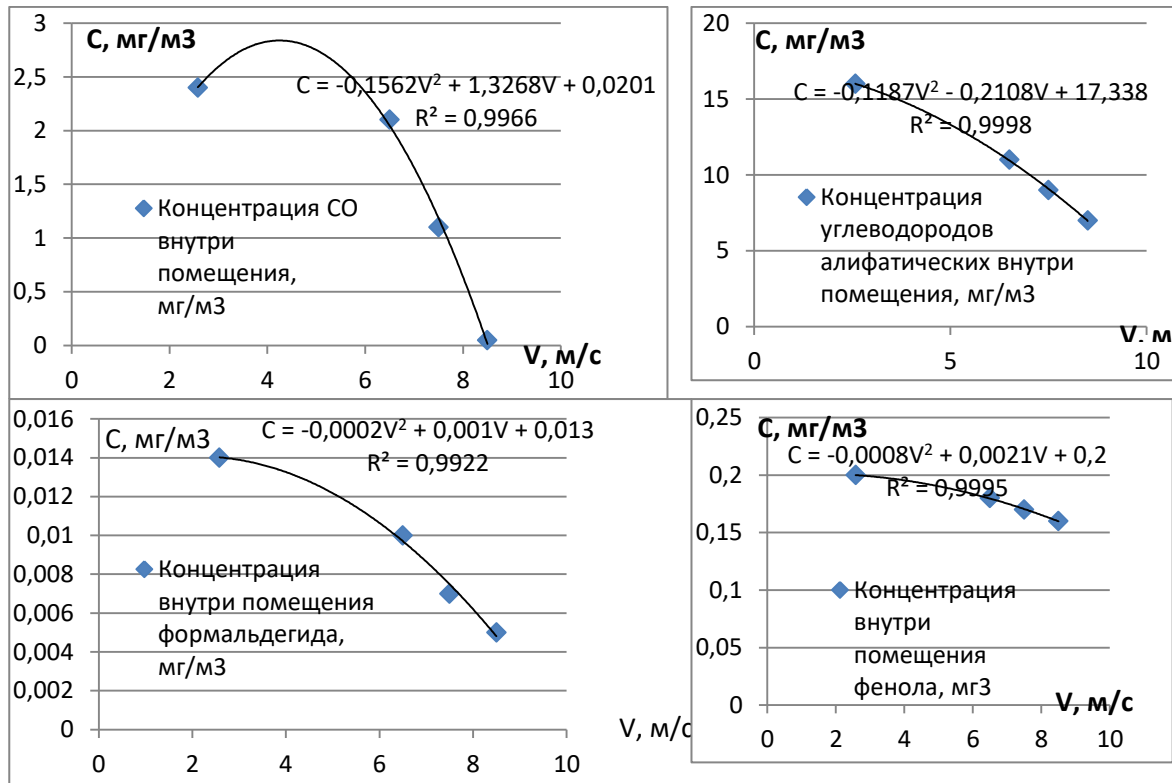


Рисунок 4.27 – Эмпирические зависимости концентраций загрязнителей внутри помещений в зависимости от скорости ветра наружного воздуха при наилучшем 6 варианте очистки воздуха «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр: TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт»

По результатам эксперимента получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей также и для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт», имеющего наилучшие показатели эффективности по очистке загрязнений (табл. 4.28).

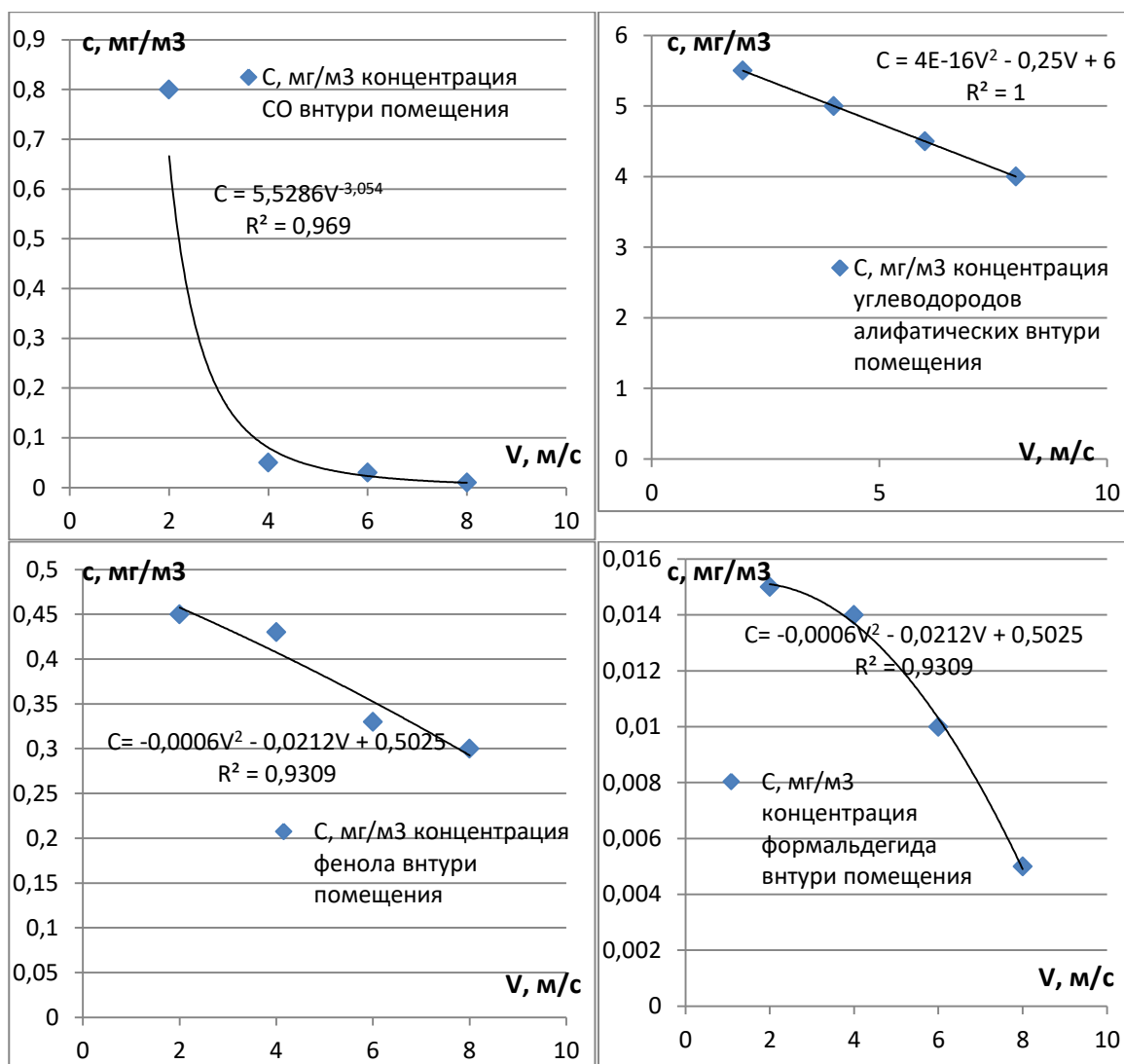


Рисунок 4.28 – Эмпирические зависимости концентраций загрязнителей внутри помещений в зависимости от скорости ветра наружного воздуха при 11 варианте исследований очистки воздуха «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт»

По данным эмпирическим зависимостям можно спрогнозировать концентрацию загрязнителей внутри помещения при наилучших способах очистки приточного воздуха (шунгит+цеолит+TiO₂+2 УФ-лампы, 8,6 Вт/м² и шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт) при различных скоростях наружного воздуха, что позволит использовать данные варианты очистки приточного воздуха в районах с различными ветровыми режимами, прогнозировать концентрацию загрязнителей внутри помещений при различной скорости ветра

наружного воздуха и понять при какой скорости ветра качество очистки сорбентами и УФ окислением в приточном клапане выше. Из полученных уравнений видно, что с повышением скорости наружного ветра выше 6 м/с до 8 м/с качество приточного воздуха увеличивается, следовательно, необходимое время сорбции также увеличивается.

1. Получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей от скорости ветра наружного воздуха при 6 варианте исследований последовательных слоёв сорбентов с фотокаталитическим фильтром «шунгит+цеолит+TiO₂+2 УФ-лампы, 8,6 Вт/м²» и 11 варианте исследований «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт».

2. По данным эмпирическим зависимостям можно спрогнозировать концентрации загрязнителей внутри помещений при наилучших способах очистки приточного воздуха при различных скоростях наружного воздуха, что позволит использовать его в районах с разными ветровыми режимами и спрогнозировать концентрацию загрязнителей внутри помещений при разных скоростях ветра наружного воздуха.

3. Из полученных уравнений видно, что с повышением скорости ветра наружного воздуха выше 6 м/с до 8 м/с качество приточного воздуха увеличивается, продолжительность сорбции увеличивается на 30-40%.

4.5.3. Исследования по влиянию влажности воздуха

При экспериментальных исследованиях изучено влияние влажности наружного воздуха на изменение концентрации загрязнений (СО, углеводородов алифатических, фенола, формальдегида) снаружи и внутри помещений зданий городской территории. В связи с этим по результатам исследований получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей внутри и снаружи помещений от влажности

наружного воздуха для 6 варианта «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр: TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» и 11 варианта исследования «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» пятого экспериментального исследования, имеющих наилучшие показатели эффективности по очистке загрязнений в приточном воздухе.

По результатам пятого эксперимента получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей от относительной влажности наружного воздуха снаружи и внутри помещения зданий для 6 варианта «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр: TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт», имеющего наилучшие показатели эффективности по очистке воздуха от загрязнений (рис.4.29).

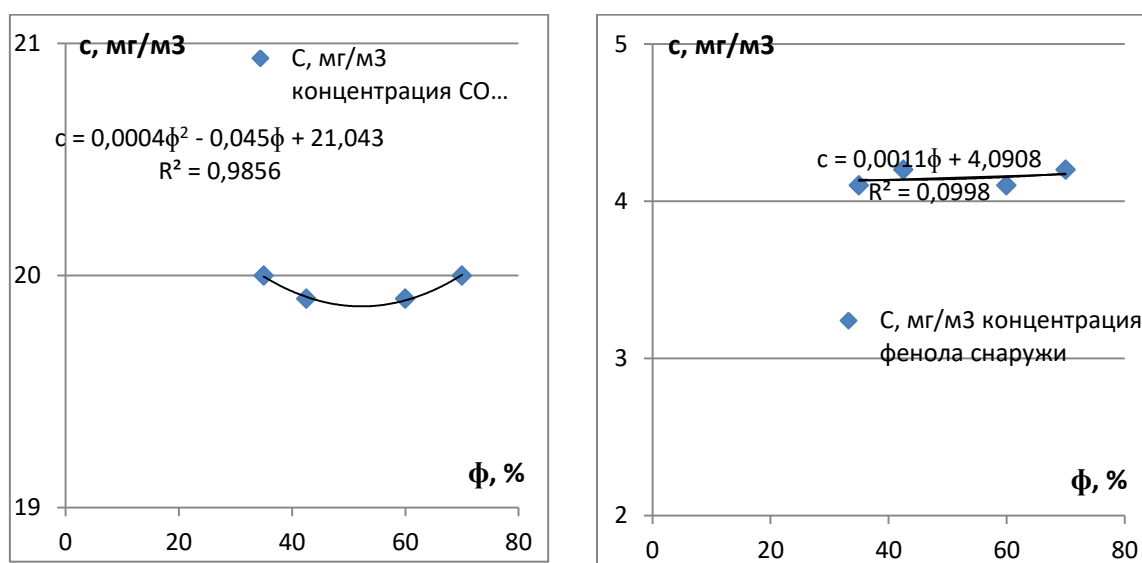


Рисунок 4.29 – Эмпирические зависимости концентрации загрязнителей снаружи здания от относительной влажности атмосферного воздуха

Результаты исследований показали, что при всех вариантах исследований по очистки приточного воздуха при увеличении влажности наружного воздуха с 30 до 70 % концентрация загрязнителей внутри помещения уменьшается, а концентрация загрязнителей снаружи здания практически остается неизменной, в связи

с тем, что все газообразные загрязнители не вступают в химическое взаимодействие с атмосферной влагой, атмосферного самоочищения не происходит, что подтверждает необходимость использования очистки приточного воздуха зданий в теплый и холодный периоды года (рис.4.30).

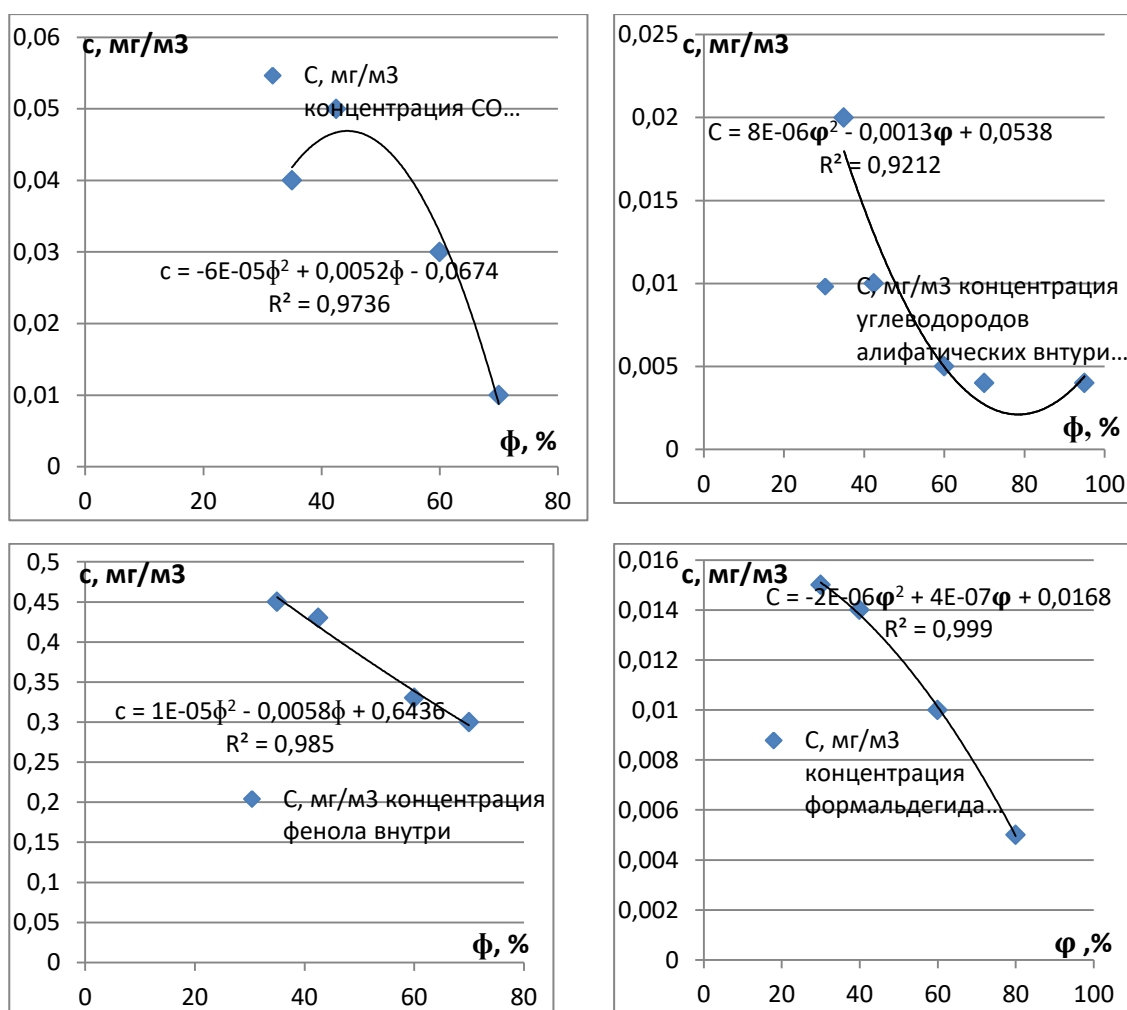


Рисунок 4.30 – Эмпирические зависимости концентраций загрязнителей внутри помещений в зависимости от относительной влажности наружного воздуха при наилучшем 6 варианте очистке «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр: TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт»

По результатам эксперимента получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей также и для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт», имеющего наилучшие показатели эффективности по очистке

загрязнений (рис.4.31).

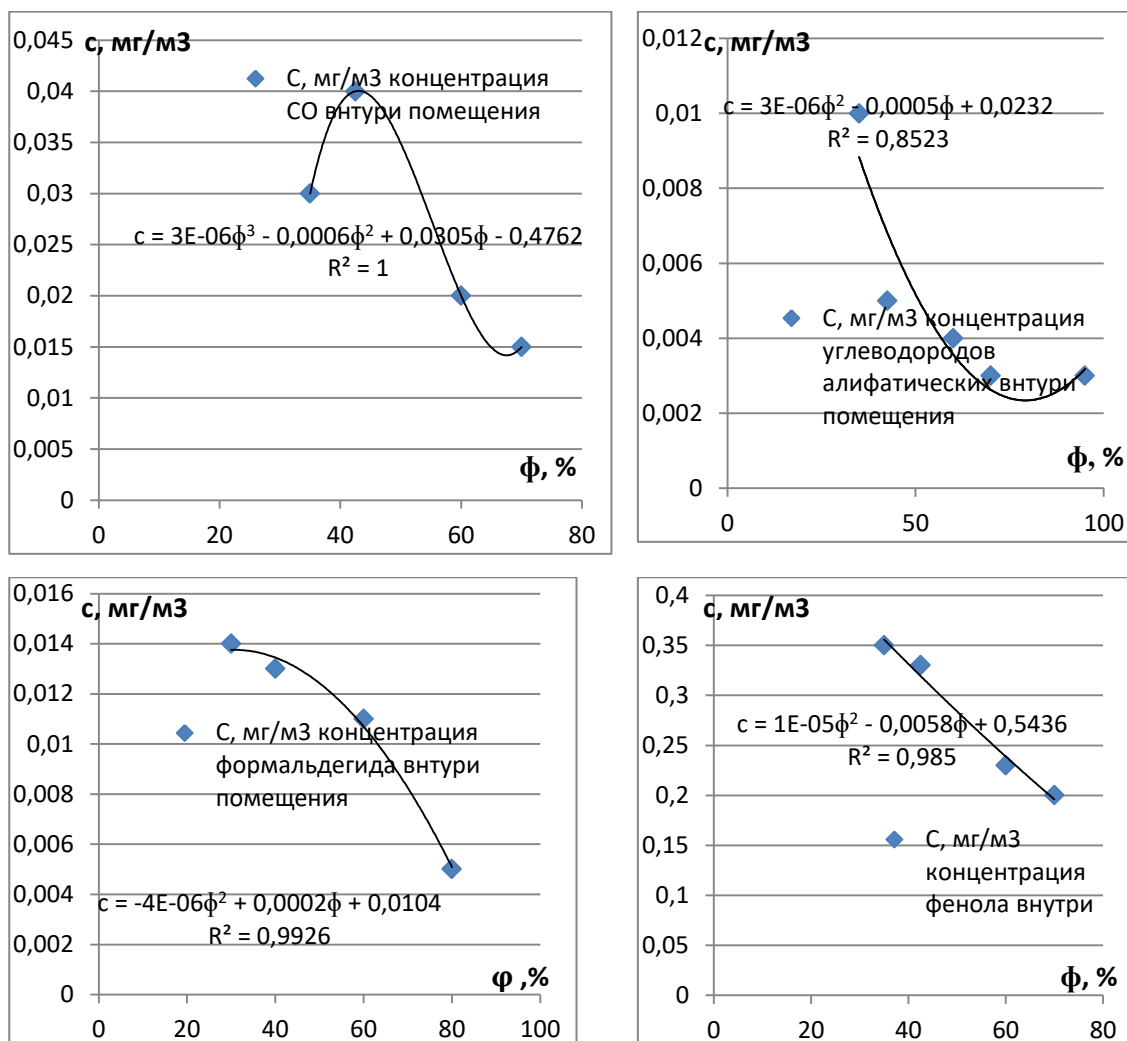


Рисунок 4.31 – Эмпирические зависимости концентраций загрязнителей внутри помещений в зависимости от скорости ветра наружного воздуха при 11 варианте исследований очистке воздуха «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт»

По данным эмпирическим зависимостям можно спрогнозировать концентрации загрязнителей внутри помещений при наилучших способах очистки приточного воздуха (шунгит+цеолит+ TiO_2 +2 УФ-лампы, $8,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$ и шунгит+цеолит+силикагель+ TiO_2 +2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт) при различных показателях влажности наружного воздуха, что позволит использовать данные варианты очистки приточного воздуха в районах с различными климатическими характеристиками, прогнозировать концентрацию загрязнителей внутри помещений при

различной влажности наружного воздуха. Из полученных уравнений (рис.4.13) видно, что с повышением относительной влажности наружного воздуха от 30 % до 60%, особенно для холодного периода года и периода выпадения атмосферных осадков летнего периода года, качество очистки приточного воздуха увеличивается за счет того, что адсорбционная поверхность сорбентов также увеличивается.

С ростом влагосодержания сорбента, полученного при нахождении разности массы исходного образца сорбента и высушенного сорбента до 110°C до постоянной массы в сушильном шкафу получено то, что объем очищенного воздуха от газообразных загрязнителей увеличивается для шунгита, цеолита, активированного угля, силикагеля за счет того что при возрастании влажности возможно набухание сорбента, увеличения пространства пор и адсорбционной поверхности сорбентов, в частности при использовании выбранных мелких фракций сорбентов с мезо – и микропористой структурой.

Для предотвращения взаимодействия катализатора (диоксид марганца) с парами воды предусмотрен в 11 варианте очистки воздуха сорбент силикагель в качестве осушителя, позволяющий одновременно поглощать газы и пары воды.

На рис. 4.32 представлены зависимости объема очищенного воздуха, м^3 от газообразных загрязнителей (полученных по Фрейндлиху) от весового влагосодержания сорбентов (W), % для сорбции на границах раздела фаз активированный уголь – CO , активированный уголь-углеводороды алифатические, активированный уголь-фенол, активированный уголь – формальдегид, а также на шунгите, цеолите и силикагеле.

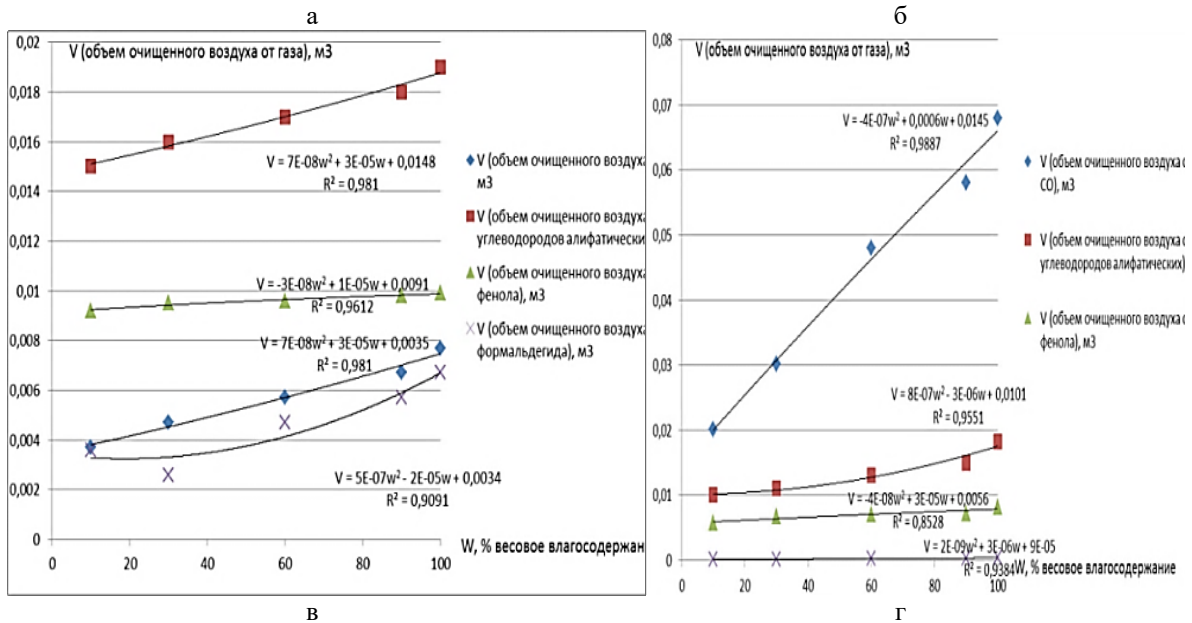
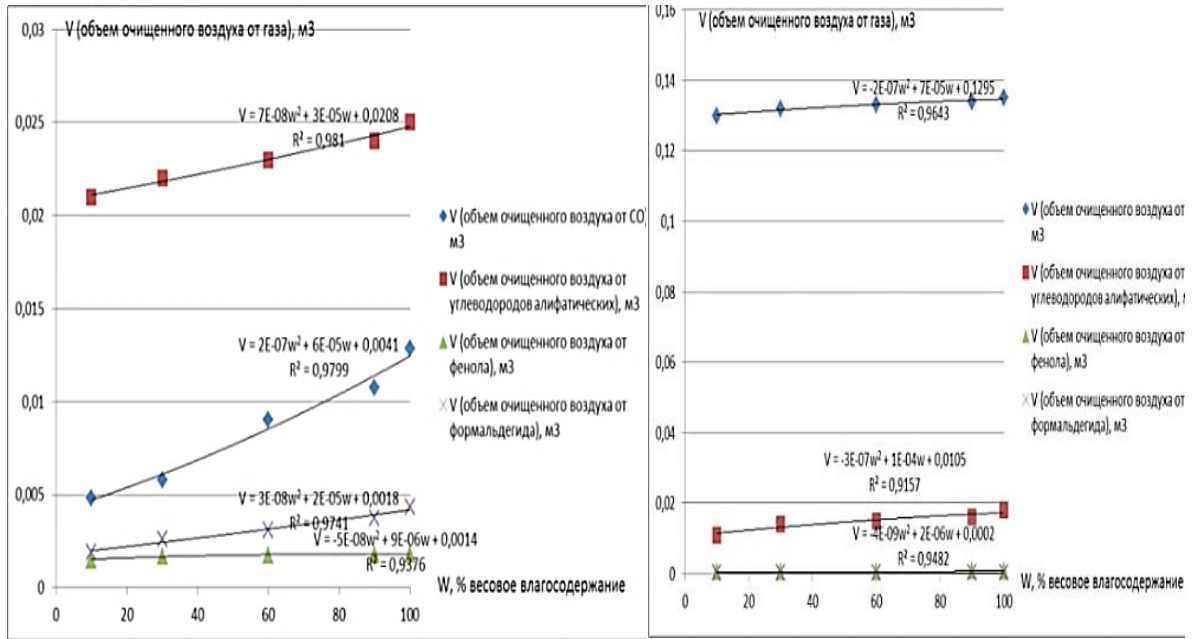


Рисунок 4.32 – Эмпирические зависимости объема очищенного воздуха (V), м³ от газообразных загрязнителей (по Фрейндлиху) от весового влагосодержания сорбентов (W), %: а – активированный уголь; б – шунгит; в – цеолит; г – силикагель

С ростом влагосодержания (W) сорбента, полученного при нахождении разности массы исходного образца сорбента и высушенного сорбента до 110 °С до постоянной массы в сушильном шкафу (рис.4.32) получено, что объем очищенного воздуха от газообразных загрязнителей увеличивается для шунгита на 7-10%, цеолита на 30-35%, активированного угля на 75-80%, силикагеля на 71% за счет того что при возрастании

влажности возможно набухание сорбента, увеличение пространства пор и адсорбционной поверхности сорбентов.

Выводы:

1. Получены эмпирические зависимости концентраций загрязнителей от относительной влажности воздуха снаружи и внутри помещения при 6 варианте «шунгит+цеолит+TiO₂+2 УФ-лампы, 8,6 Вт/м²» и 11 варианте исследований «шунгит+цеолит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» очистки приточного воздуха в здания.

2. По данным эмпирическим зависимостям можно спрогнозировать концентрации загрязнителей внутри помещений при наилучших способах очистки приточного воздуха (шунгит+цеолит+TiO₂+2 УФ-лампы, 8,6 Вт/м² и шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт) при различных показателях влажности наружного воздуха, что позволит использовать данные варианты очистки приточного воздуха в районах с различными климатическими характеристиками, прогнозировать концентрацию загрязнителей внутри помещений при различной влажности наружного воздуха. Из полученных уравнений видно, что с повышением относительной влажности наружного воздуха от 30 % до 60%, что наиболее характерно для холодного периода года и выпадению атмосферных осадков летнего периода года качество очистки приточного воздуха увеличивается за счет того что адсорбционная поверхность сорбентов также увеличивается.

3. С ростом влагосодержания сорбента, полученного при нахождении разности массы исходного образца сорбента и высушенного сорбента до 110 °С до постоянной массы в сушильном шкафу объем очищенного воздуха от газообразных загрязнителей увеличивается для шунгита, цеолита, активированного угля, силикагеля за счет того, что при возрастании влажности возможно набухание сорбента, увеличение пространства пор и адсорбционной поверхности сорбентов, в частности

при использовании выбранных мелких фракций сорбентов с мезо- и микропористой структурой.

4. Для предотвращения взаимодействия катализатора (диоксид марганца) с парами воды предусмотрен в 11 варианте очистки воздуха сорбент силикагель в качестве осушителя, позволяющий одновременно поглощать газы и пары воды.

5. Получены зависимости объема очищенного воздуха, м³ от газообразных загрязнителей (полученных по модели Фрейндлиха) от весового влагосодержания сорбентов (W), % для сорбции на границах раздела фаз активированный уголь – СО, активированный уголь-углеводороды алифатические, активированный уголь-фенол, активированный уголь - формальдегид, а также на границах раздела фаз на шунгите, цеолите и силикагеле, подтверждающие, что с ростом влагосодержания сорбентов объем очищенного воздуха от газообразных загрязнителей увеличивается.

4.5.4. Зависимости концентраций загрязняющих веществ внутри помещений от нескольких факторов при наиболее эффективном варианте очистки поступающего воздуха в помещении

Получены уравнения множественной регрессии зависимости концентраций загрязняющих веществ внутри помещений от факторов таких как: температура наружного воздуха (°С), интенсивность УФ-излучения внутри приточного клапана (Вт/м²), скорость движения наружного воздуха (м/с), относительная влажность наружного воздуха (%) и продолжительность сорбции (ч).

- для оксида углерода (II):

$$C=2,136 + 0,028T-0,012W-0,282V + 0,013t, \quad (4.5)$$

где C – концентрация оксида углерода (II) СО внутри помещения после очистки воздуха в клапане, мг/м³; T – температура наружного воздуха, °С;

W – интенсивность УФ-излучения, Вт/м²; V – скорость наружного воздуха, м/с; t – время сорбции, ч. Фактор относительная влажность воздуха φ незначимый.

Возможна интерпретация параметров уравнения (4.5): увеличение температуры наружного воздуха T на 1 ед.изм. приводит к увеличению концентрации оксида углерода (II) C в среднем на 0,028 ед.изм.; увеличение W интенсивности УФ-излучения на 1 ед.изм. приводит к уменьшению концентрации C в среднем на 0,0117 ед.изм.; увеличение V – скорости движения наружного воздуха на 1 ед.изм. приводит к уменьшению концентрации C в среднем концентрации в среднем на 0,0132 ед.изм.; увеличение влажности приводит к незначительному снижению концентрации на 0,000003 φ един.изм. По максимальному коэффициенту $\beta_4=0.959$ делаем вывод, что наибольшее влияние на результат C (концентрацию СО) оказывает фактор t – время сорбции. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 99,44% общей вариабельности Y объясняется изменением факторов X_j .

Наименьшее влияние влажности наружного воздуха, что связано с тем, что загрязнитель не растворяется атмосферной влагой (не растворим в воде), а выбранные значение мезопор и микропор сорбентов при смачивании набухают, увеличивая поверхность адсорбционного пространства, что приводит к снижению концентрации оксида углерода (II).

При увеличении скорости движения наружного воздуха с 5 м/с до 8 м/с концентрация внутри помещения СО уменьшается на 20%, при уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация СО внутри помещения увеличивается на 38 %. Также видно, что с ростом температуры наружного воздуха концентрация СО внутри помещения также увеличивается, за счет того что молекулы газа меньше находятся на

сорбентах и увеличивается их подвижность. При скорости наружного воздуха от 5 до 8 м/с отмечено снижение концентрации СО внутри помещений. В летний период года при температуре наружного воздуха выше +10⁰С необходимо уменьшить срок службы сорбентов, в часах, для более эффективной работы приточного клапана.

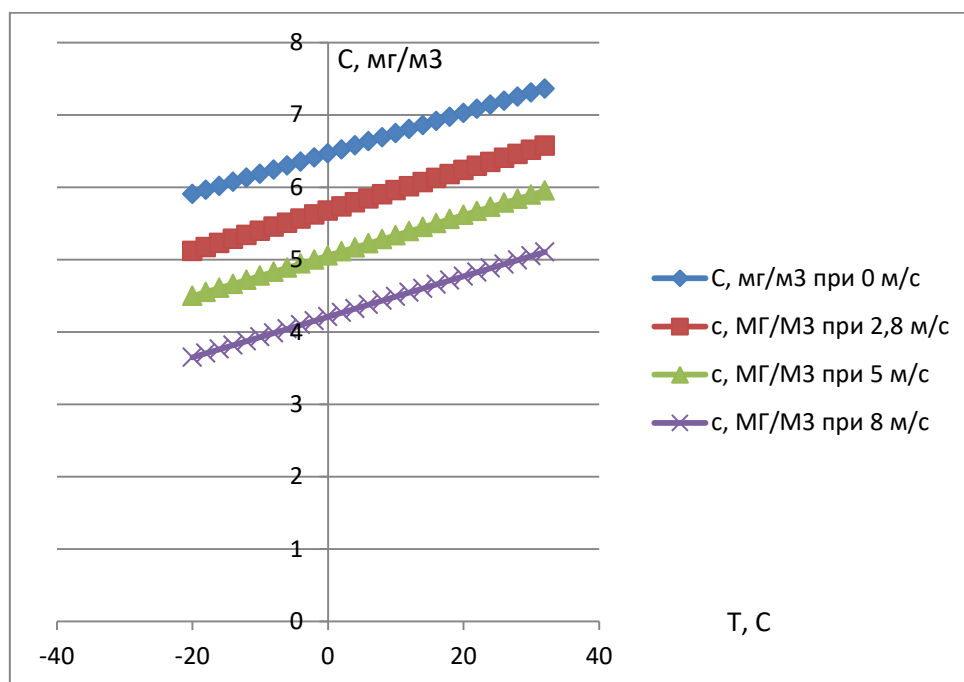


Рисунок 4.33 – Прогнозирование концентрации оксида углерода (II) внутри помещения при использовании разработанной конструкции клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха от нескольких факторов: температура наружного воздуха (Т, °С), скорость движения воздуха (V, м/с), интенсивность УФ-излучения 8,6 Вт/м², время сорбции две недели t=336 часов

- для углеводородов алифатических (C1-C5):

$$C = 38,445 + 0,091T - 4,104W - 0,0296V - 0,002t, \quad (4.6)$$

где C – концентрация углеводородов алифатических (C1-C5) внутри помещения после очистки воздуха в клапане, мг/м³; T – температура наружного воздуха, °С; W – интенсивность УФ-излучения, Вт/м²; V – скорость наружного воздуха, м/с, t – время сорбции, ч.

Фактор относительная влажность воздуха φ незначимый.

Возможна интерпретация параметров уравнения (4.6): увеличение температуры T на 1 ед.изм. приводит к увеличению концентрации углеводородов алифатических в среднем на 0,0905 ед.изм.; увеличение интенсивности УФ-излучения W на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на 4,104 ед.изм.; увеличение скорости движения наружного воздуха на 1 ед.изм. приводит к уменьшению концентрации углеводородов алифатических C в среднем на 0,0296 ед.изм.; увеличение времени сорбции t на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на 0,00202 ед.изм.; увеличение влажности приводит к незначительному снижению концентрации на 0,000001 ед.изм. По максимальному коэффициенту $\beta_1=0.214$ сделан вывод, что наибольшее влияние на результат C (концентрации углеводородов алифатических) оказывает фактор температура наружного воздуха T .

Выяснено наименьшее влияние влажности наружного воздуха, что связано с тем, что загрязнитель не растворяется атмосферной влагой (не растворим в воде), а выбранные значение мезопор и микропор сорбентов при смачивании набухают, увеличивая поверхность адсорбционного пространства, что приводит к снижению концентрации углеводородов алифатических.

При увеличении скорости движения наружного воздуха (рис.4.34) с 5 м/с до 8 м/с концентрация внутри помещения углеводородов алифатических (C1-C5) уменьшается на 26%, при уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация углеводородов алифатических (C1-C5) внутри помещения увеличивается на 36 % (рис.4.34). С ростом температуры наружного воздуха концентрация углеводородов алифатических (C1-C5) внутри помещения уменьшается. При скорости наружного воздуха от 5 до 8 м/с отмечено снижение концентрации углеводородов алифатических (C1-C5) внутри помещений. В летний и зимний период года при температуре наружного воздуха выше - 10⁰С

необходимо уменьшить срок службы сорбентов, в часах, для более эффективной работы приточного клапана.

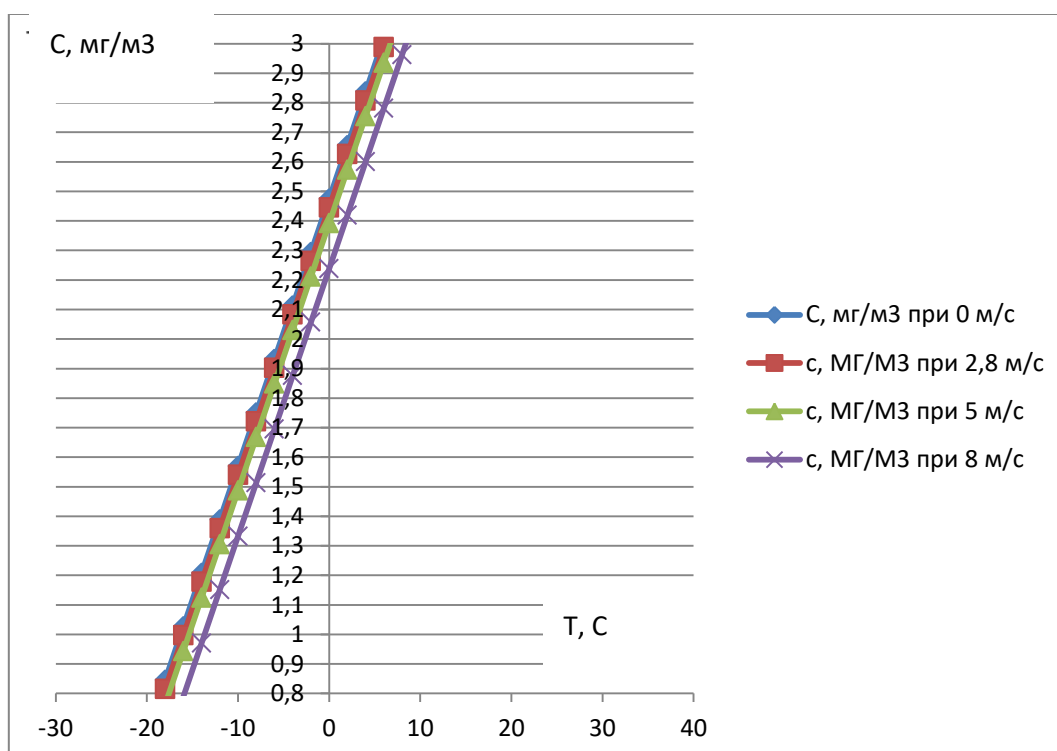


Рисунок 4.34 – Прогнозирование концентрации углеводородов алифатических (С1-С5) внутри помещения при использовании разработанной конструкции клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха от нескольких факторов: температура наружного воздуха (Т, °С), скорость движения воздуха (V, м/с), интенсивность УФ-излучения 8,6 Вт/м², время сорбции две недели t=336 часов

- для фенола:

$$C = 1,306 + 0,0046T - 0,089W - 0,0164V - 0,0001t, \quad (4.7)$$

где С – концентрация фенола внутри помещения после очистки воздуха в клапане, мг/м³; Т – температура наружного воздуха, °С; W – интенсивность УФ-излучения, Вт/м²; V – скорость наружного воздуха, м/с, t – время сорбции, ч.

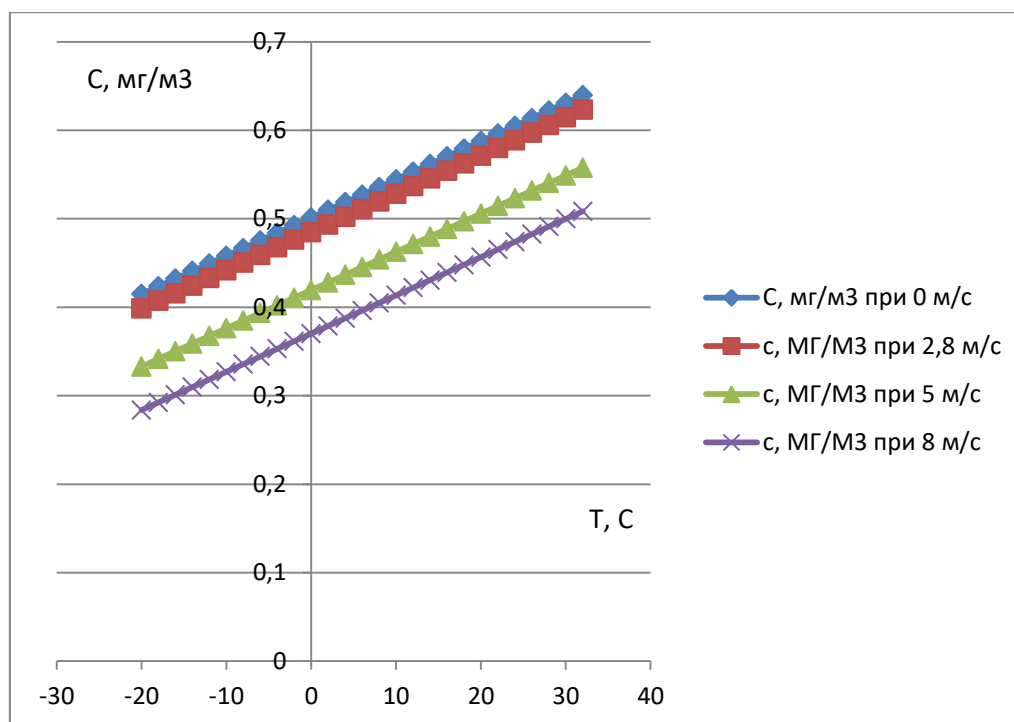


Рисунок 4.35 – Прогнозирование концентрации фенола внутри помещения при использовании разработанной конструкции клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха от нескольких факторов: температура наружного воздуха (T , $^{\circ}\text{C}$), скорость движения воздуха (V , м/с), интенсивность УФ-излучения постоянная и равна $8,6 \text{ Вт/м}^2$, время сорбции две недели $t=336 \text{ ч}$

Возможна интерпретация параметров уравнения (4.7): увеличение T на 1 ед. изм. приводит к увеличению C в среднем на $0,00432$ ед.изм.; увеличение W на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на $0,0889$ ед.изм.; увеличение V на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на $0,0164$ ед.изм.; увеличение t времени сорбции на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на $0,000118$ ед.изм (рис.4.35). По максимальному коэффициенту $\beta_1=0,41$ делаем вывод, что наибольшее влияние на результат концентрации фенола внутри помещения C оказывает фактор наружная температура воздуха T .

При увеличении скорости движения наружного воздуха с 8 м/с до 5 м/с концентрация внутри помещения фенола увеличивается на 15% , при уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация фенола внутри помещения увеличивается на $33,33 \%$ (рис.4.35). С ростом

температуры наружного воздуха концентрация фенола внутри помещений уменьшается. При скорости наружного воздуха от 5 до 8 м/с отмечено снижение концентрации фенола внутри помещений.

- для формальдегида:

$$C = 0,174 + 0,0006T - 0,0136W - 0,0004V, \quad (4.8)$$

где C – концентрация формальдегида внутри помещения после очистки воздуха в клапане, мг/м³; T – температура наружного воздуха, °С; W – интенсивность УФ-излучения, Вт/м²; V – скорость наружного воздуха, м/с.

Возможна интерпретация параметров уравнения (4.8): увеличение температуры наружного воздуха на 1 ед.изм. приводит к увеличению C в среднем на 0,000589 ед.изм.; увеличение интенсивности УФ-излучения W на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на 0,0136 ед.изм.; увеличение скорости движения наружного воздуха V на 1 ед.изм. приводит к уменьшению C в среднем на 0,000355 ед.изм.; увеличение t времени сорбции на 1 ед.изм. приводит к увеличению C в среднем на $7.0E-6$ ед.изм.; увеличение φ влажности приводит к уменьшению концентрации на 0,0000008 ед.изм. По максимальному коэффициенту $\beta_1=0,33$ делаем вывод, что наибольшее влияние на результат концентрации формальдегида оказывает фактор температура наружного воздуха T .

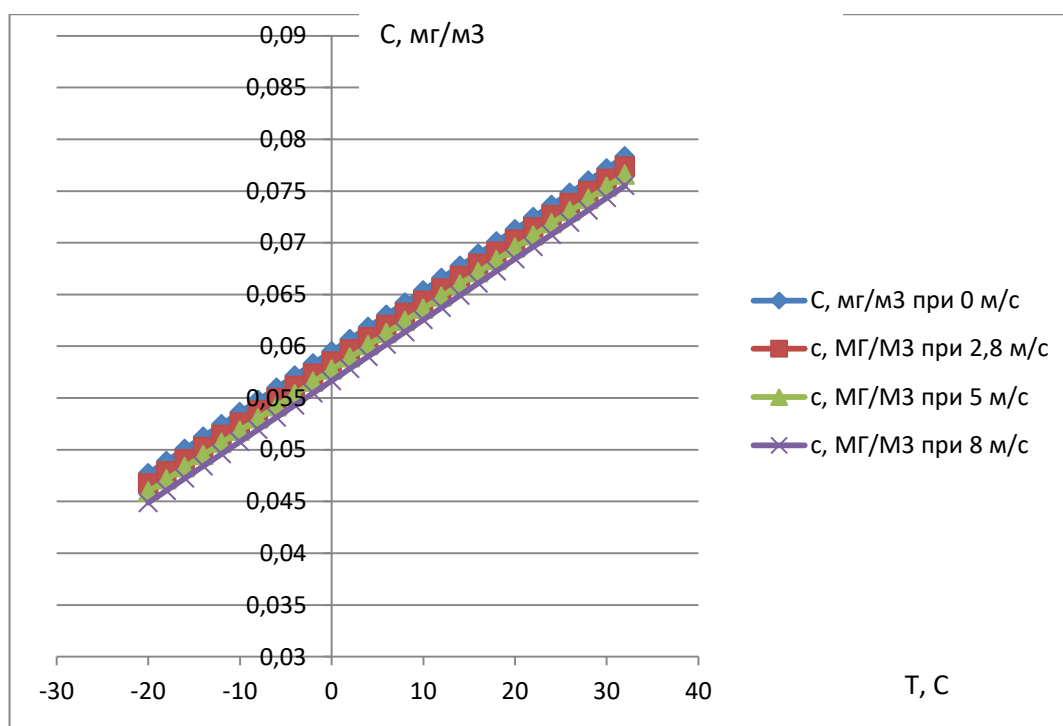


Рисунок 4.36 – Прогнозирование концентрации формальдегида внутри помещения при использовании разработанной конструкции клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха от нескольких факторов: температура наружного воздуха (T , °С), скорость движения воздуха (V , м/с), интенсивность УФ-излучения постоянная и равна $8,6 \text{ Вт/м}^2$, время сорбции две недели $t=336$ часов

При увеличении скорости движения наружного воздуха с 5 м/с до 8 м/с концентрация внутри помещения формальдегида (рис.4.36) уменьшается на 2,31%, при уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация формальдегида внутри помещения увеличивается на 6,07%. Также видно, что с ростом температуры наружного воздуха концентрация формальдегида внутри помещения увеличивается. То есть наиболее оптимальной скоростью наружного воздуха является скорость от 5 до 8 м/с, при этом наблюдается снижение концентрации формальдегида внутри помещения.

Выводы по 4 главе

Проведены экспериментальные исследования по обоснованию инженерно-технических средств и способов снижения концентраций

газообразных загрязнителей в приточном воздухе зданий от наружных источников выброса:

- проведены 5 экспериментальных исследований различных 36 вариантов очистки приточного воздуха зданий с помощью разработанной конструкции опытного образца устройства с очисткой воздуха (патент на изобретение) с учётом вертикального распределения газообразных загрязняющих веществ от передвижных и точечных источников выброса в атмосферу и способа очистки поступающего атмосферного воздуха (патент на изобретение):

1. Исследовано влияния сорбентов совместно с катализатором (диоксидом марганца) на качество очистки приточного воздуха:

- в летний период года – «шунгит +MnO₂+цеолит+силикагель» эффективность очистки по оксиду углерода (II) составила - 93,75 % и «шунгит» – 96,92%. По органическим веществам эффективность очистки невысокая: по углеводородам алифатическим всего - 30,6% , по фенолу - 37,12%, по формальдегиду - 30,6%. По варианту «шунгит» в летний период года низкая эффективность по органическим веществам – углеводороды алифатические – 5,89-9,36%, по фенолу – 8,50-15%, формальдегиду – 3,125-14,29%;

- в зимний период эффективность очистки 5 варианта: «шунгит+MnO₂+цеолит+силикагель» несколько увеличивается за счет того, что газообразные вещества дольше находятся на поверхностях исследуемых сорбентов: по оксиду углерода (II) - 95%, по углеводородам алифатическим - 32%; по фенолу - 39,3 %, по формальдегиду - 38,9 %. По «шунгиту» эффективность по СО составила – 97,23%;

- в зимний период по органическим веществам эффективность очистки также невысокая у варианта: «шунгит»: углеводороды алифатические – 8,82-15%, фенол – 10-20%, формальдегид – 12-17%. По углеводородам алифатическим (C1-C5) в зимний года максимальная

эффективность составила 60% варианта «уголь +силикагель+MnO₂+цеолит», в летний период года – 61,75%. По загрязнителю фенол максимальная эффективность в зимний период отмечена у варианта «цеолит» - 55,04%, в летний период года - 55,82%. По загрязнителю формальдегид максимальная эффективность очистки у варианта «уголь +силикагель+MnO₂+цеолит» составила 45% в зимний период года, в летний период - 47%.

2. Исследовано влияние фотокаталитического окисления газообразных загрязнителей на степень очистки приточного воздуха совместно с сорбентами:

- исследована зависимость величины интенсивности УФ-излучения с длиной волны 365 нм (6-12 Вт) от расстояния до пористой пластины диоксида титана TiO₂ совместно с послойно расположенными сорбентами (шунгит, цеолит) на эффективность очистки приточного воздуха в клапанах приточной вентиляции: наилучший результат показал 6 вариант исследований «шунгит+цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт)»: эффективность очистки по оксиду углерода (II) СО в летний период составила от 90,6% до 99,88% (в зимний 89,5 до 91,83%), по фенолу от 95,79-96,07% в летний период (95,2 до 96,34% в зимний период), по формальдегиду от 95,63-97,22% в летний период (90 до 93,27% в зимний период), по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 90-93,57% в летний период (в зимний период от 88,89 до 91,86%);

- результаты оценки влияния фотокатализа совместно с сорбентами с 8 по 12 вариант исследований (дополнительно с силикагелем) в зимний период показали, что наиболее эффективно применять 11 вариант очистки воздуха от газообразных загрязнителей наружного воздуха: «шунгит+цеолит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт»: эффективность очистки в зимний период по СО составила от 96,39% до

99,98%, по фенолу от 96,39-97,89%, по формальдегиду от 95,76-97,78%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) от 93,13-95,12%. В летний период года по СО составила до 99,9%, по фенолу от 88 до 93 %, по формальдегиду от 89 до 95 %, по углеводородам алифатическим (C1-C5) до 94%.

- затем по эффективности всех загрязнителей идет 8 вариант исследований: «шунгит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт», эффективность очистки по СО в зимний период составила 92-93%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) 88,0-91,88%, по фенолу от 95,64-97,74%, по формальдегиду от 86,98-88,89%.

- наименьшие показатели по эффективности очистки поступающего воздуха в помещения у 1 варианта исследований при использовании одного фотокаталитического фильтра, эффективность очистки воздуха по СО составила всего в летний период 13-16% (в зимний период 18,75 – 22,44%), по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 24-28% в летний период (от 20,37 до 27,9% в зимний период), по фенолу 18-25% в летний период (от 20,75 до 26%), по формальдегиду в летний период от 20-28% (в зимний период от 24 до 41,51%), также у 4 варианта исследований: активированный уголь+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2УФ лампы 365 нм, 6 Вт), эффективность очистки воздуха по оксиду углерода (II) составила всего до 50,16%, по углеводородам алифатическим до 29,41%, по фенолу до 32,46%, по формальдегиду до 76,56%.

- при интенсивности излучения УФ-А 3,8 Вт/м² (одна лампа) эффективность очистки от всех загрязнений составила от 16,42 до 28,65%. Данная интенсивность УФ-А спектра излучения 8,6 Вт/м², с длиной волны 365 нм от УФ-лампы 6 Вт эффективна при использовании с последовательно расположенными сорбентами шунгитом, цеолитом, силикагелем. Эффективность очистки достигает свыше 90%.

- наименьшие показатели по эффективности очистки показали 1,2 вариант исследований, что доказывает неэффективность фотокаталитического фильтра (диоксид титана) без предварительной очистки воздуха на сорбентах. Эффективность очистки 6 варианта исследований с 1 УФ-лампой мощностью 6Вт на пластину TiO_2 , 365 нм, интенсивность УФ-А излучения $3,8 \text{ Вт/м}^2$ по СО составила всего 13-16%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 24-28%, по фенолу от 18-25%, по формальдегиду от 20-28%.

3. Проведены экспериментальные исследования изменения концентраций загрязнителей от продолжительности сорбции на сорбентах (шунгит, цеолит, активированный уголь, силикагель) и катализаторе (диоксиде марганца):

- концентрация СО при очистке 8 вариантом «активированный уголь, силикагель, диоксид марганца, цеолит» превысила норму через 144 часа (6 суток). В городских условиях сорбентов при совместной очистке приточного воздуха при расположении зданий рядом с магистралью свыше 2000 авт./ч концентрация загрязнителя не превышает норму до 6 суток, до 1000 авт./ч – 15 дней; 500 авт./ч – 24 дня. Эффективность очистки данного варианта исследований составила в летний период всего 54,6-72,54 %, в зимний период 57,7-73,75%;

- при концентрациях СО на входе $2,5 \text{ мг/м}^3$ при использовании диоксида марганца, концентрация на выходе оксида углерода (II) СО остается в пределах нормы до 48 часов;

- если концентрация СО на входе 5 мг/м^3 , то при использовании шунгита (3 вариант) по полученной зависимости концентрации СО в пределах нормы до 96 часов;

- при невысоких концентрациях на входе $2,5 \text{ мг/м}^3$ при использовании цеолита (4 вариант) по полученной зависимости концентрации СО в пределах нормы до 24 часов. Эффективность очистки

приточного воздуха от СО сорбента «цеолита» низкая, составила в зимний период года - 54-58%, летний период – 51-56%. По органическим загрязнителям эффективность очистки «цеолит» не выше 50-69%;

- при использовании в качестве сорбента силикагеля (5 вариант) концентрации СО в пределах нормы до 24 часов (1 дня), при высокой концентрации СО на входе (61 мг/м^3);

- при использовании в качестве катализатора MnO_2 и сорбента силикагеля (6 вариант) концентрации СО в пределах нормы до 30 часов (1,5 дня), при высокой концентрации СО на входе (61 мг/м^3);

- концентрация СО внутри помещения при последовательном расположении сорбентов «шунгита, силикагеля, диоксида марганца, цеолита» (7 вариант) превысила норму через 502 часа (20 суток). В городских условиях сорбентов при совместной очистке при расположении здания рядом с магистралью свыше 2000 авт./ч концентрации загрязнителя не превысила норму – до 20 суток, до 1000 авт./ч – 56 дней; 500 авт./ч – 90 дней. При совместном использовании шунгита, силикагеля, диоксида марганца, цеолита эффективность очистки приточного воздуха составляет 95,35%;

- по мере загрязнения сорбентов фильтров коэффициент сопротивления воздуха ξ увеличивается с 30 суток на 90-120 сутки в 1,3 раза, разница давлений более 2 Па на 90-120 сутки (3-4 месяца). В зависимости от степени загрязнения приточного воздуха необходимо производить замену сорбентов через оголовок клапанов приточной вентиляции при расположении зданий рядом с магистралью свыше 2000 авт./час – после 30 суток, 500-1000 авт./ч – 56-60 дней; до 500 авт./ч – 90 дней с наветренной стороны, 120 дней с подветренной стороны зданий от наружных источников выброса. Средний срок службы сорбентов для наветренной стороны фасада зданий составляет 90 суток (3 месяца), с

подветренной стороны - после 120 суток (4 месяца) необходима замена фильтрующего сорбента.

4. Проведено экспериментальное исследование влияния температурного фактора на процессы очистки приточного воздуха:

- с понижением температуры от +27,5 до -11,5 °С эффективность очистки воздушной среды почти от всех загрязнителей увеличивается:

- по оксиду углерода (II) эффективность очистки для 6 варианта исследований «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)»: с 93,81% до 94%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» – с 96,5 до 99,97%.

- по углеводородам алифатическим эффективность очистки для 6 варианта исследований «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» – с 90% до 91,86%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» – с 93,53% до 95%.

- по фенолу эффективность очистки для 6 варианта исследований «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» – практически не изменяется 96,0 до 96,1%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» при понижении температуры атмосферного воздуха до -11,5⁰С эффективность очистки возрастает – с 88,7% до 99,9%.

- по формальдегиду эффективность очистки для 6 варианта исследований «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» – практически не изменяется 95%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» при понижении температуры атмосферного воздуха до -11,5⁰С эффективность очистки возрастает – с 90,2% до 97%.

5. Проведены экспериментальные исследования влияния скорости движения атмосферного воздуха и влажности воздуха на концентрацию загрязнителей и процессы очистки воздуха:

- при увеличении влажности наружного воздуха с 30 до 70 % концентрация загрязнителей после прохождения воздуха через слои сорбентов внутри помещения уменьшается в теплый и холодный периоды года: для СО на 75%, углеводородов алифатических на 80%, фенола на 50-60%, формальдегида на 60 %.

- с ростом весового влагосодержания сорбента получено, что объем очищенного воздуха от газообразных загрязнителей увеличивается для шунгита на 7-10%, цеолита на 30-35%, активированного угля на 75-80%, силикагеля на 71%.

- при увеличении скорости движения наружного воздуха с 5 м/с до 8 м/с концентрация внутри помещения СО уменьшается на 20%, углеводородов алифатических (С1-С5) на 26%, концентрация формальдегида на 2,31% . При уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация СО внутри помещения увеличивается на 38 %, углеводородов алифатических (С1-С5) на 36 %, концентрация фенола на 33,33 %, формальдегида на 6,07 %.

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ КЛАПАНОВ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ С ОЧИСТКОЙ ВОЗДУХА И СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ПРИТОЧНОМ ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ

5.1. Описание технических решений конструкции клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха

Задача разработанного опытного образца приточного клапана с очисткой воздуха является повышение качества воздуха внутри помещений путем его принудительного проветривания для зданий, находящихся в условиях высокой загрязненности наружного воздуха, с очисткой воздуха от газообразных неорганических и органических веществ, таких как оксид углерода (II), углеводороды алифатические, фенол, формальдегид.

Техническим результатом является повышение качества воздуха внутри помещений путем его принудительного проветривания и очистки поступающего в помещение приточного воздуха от газообразных неорганических и органических веществ.

Технический результат достигается тем, что устройство содержит последовательно расположенные фильтры внутри пластикового оголовка прямоугольной формы с щелями, устанавливаемого в пластиковую трубу: первый и второй фильтр - с сорбционными загрузками шунгитом (фракции 1 мм) и цеолитом (фракции 1-3 мм), толщина каждого слоя сорбента 20 мм, и третий фильтр - фотокаталитический, состоящий из тонкой пористой пластины диоксида титана (TiO_2) и двух ультрафиолетовых ламп с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая, расположенных вертикально в ряд. Фильтры с сорбционной загрузкой шунгит (фракции 1

мм) и с сорбционной загрузкой цеолит (фракции 1-3 мм) адсорбируют твердые и газообразные примеси и затем приточный воздух проходит через фотокаталитический фильтр, где газообразные вещества между тонкой пористой пластиной диоксида титана (TiO_2) и двумя УФ-лампами окисляются до простых соединений (углекислый газ и пары воды). Далее воздух с высоким качеством после очистки в клапане поступает во внутрь помещения.

На рис.5.1 изображен клапан приточной вентиляции с очисткой воздуха. На рис. 5.1, *а* изображен вертикальный разрез А-А клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха. На рис.5.1, *б* изображен вид сверху.

Клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха состоит из пластиковой трубы 1 (ПВХ-труба) с наружным диаметром 100 мм и длиной до 1000 мм, которая подрезается в зависимости от толщины наружной стены 2. Для теплоизоляции и шумопоглощения пластиковая труба обернута фольгированным изолоном 12 толщиной 5 мм. Пластиковая труба 1 монтируется в наружную стену здания 2. Пластиковая труба 1 после монтажа образует две стороны: А с улицы и В внутри здания. Со стороны А пластиковой трубы 1 (рис. 5.1) располагается решетка с сеткой 3, которая предотвращает попадание в воздуховод воды и снега, насекомых, тополиного пуха и листьев.

Со стороны В пластиковой трубы 1, которая расположена внутри помещения, устанавливается пластиковый оголовок 4 прямоугольной формы размером 200 на 200 мм с щелями 5 для равномерного проникновения воздуха во внутрь помещения. Приточный поступающий воздух в помещение очищается в следующей последовательности со стороны А пластиковой трубы 1 (рис. 5.1), в соответствии с последовательно расположенными фильтрами внутри пластикового оголовка 4 прямоугольной формы с щелями 5: первый фильтр с

сорбционной загрузкой шунгитом 6 (фракции 1 мм), толщина слоя сорбента 20 мм; второй фильтр 7 с сорбционной загрузкой цеолитом (фракции 1-3 мм), толщина слоя сорбента 20 мм; третий - фотокаталитический фильтр, состоящий из тонкой пористой пластины 8 диоксида титана (TiO_2), выступающей в роли катализатора и двух ультрафиолетовых ламп 9 с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая, расположенных вертикально в ряд (рис. 5.1, б).

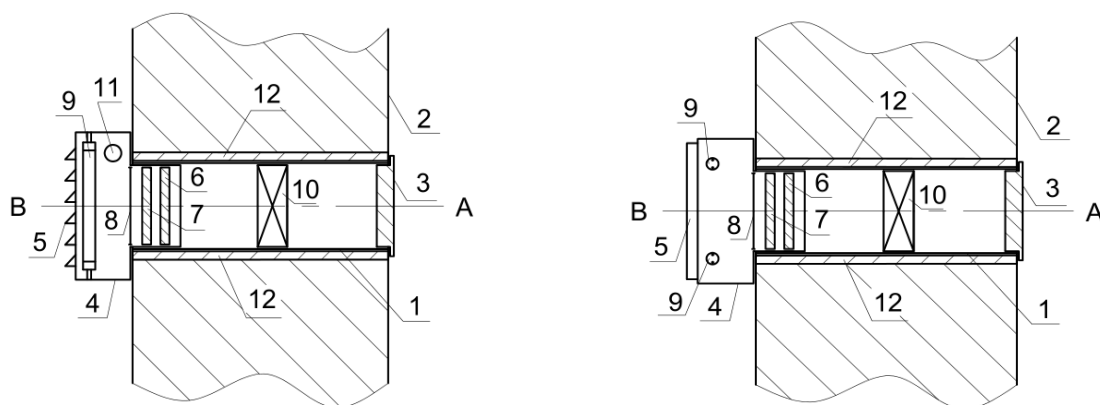
Для нагнетания наружного воздуха с улицы в середине пластиковый трубы 1 расположен осевой электрический вентилятор 10 (производительностью от $55 \text{ м}^3/\text{ч}$). Включение осевого электрического вентилятора 10 осуществляется с помощью регулятора оборотов с выключателем 11, расположенного на торце пластикового оголовка 4 прямоугольной формы. Регулирование расхода поступающего воздуха может также осуществляться автоматически за счёт встроенного программатора по сезонам года и времени суток на основании разработанного программного обеспечения (глава 6).

Клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха работает следующим образом.

Включается осевой электрический вентилятор 10, который нагнетает наружный воздух с улицы. Управление, которым, осуществляется с помощью регулятора оборотов с выключателем 11, расположенного на торце пластикового оголовка 4.

Наружный воздух с улицы через решётку с сеткой 3 поступает в пластиковую трубу 1 со стороны А (рис.5.1). Последовательно приточный воздух в пластиковом оголовке 4 проходит через первый фильтр 6 с сорбционной загрузкой шунгитом, затем проходит через второй фильтр 7 с сорбционной загрузкой цеолитом, данные фильтры адсорбируют твердые и газообразные примеси (рис.5.1). На последнем этапе приточный воздух проходит через фотокаталитический фильтр, где газообразные вещества

между тонкой пористой пластиной диоксида титана 8 и двумя УФ-лампами 9 окисляются до простых соединений (углекислый газ и парообразной воды). Две ультрафиолетовые лампы 9 с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая, расположены вертикально в ряд, для того чтобы УФ-излучение равномерно попадало на тонкую пористую пластину диоксида титана 8. Далее очищенный воздух поступает через щели 5 пластикового оголовка 4 прямоугольной формы во внутрь помещения со стороны В пластиковой трубы 1.



а

б



в



г

Рисунок 5.1 – Клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха: а - вертикальный разрез А-А клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха; б - вид сверху клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха: 1 – пластиковая труба; 2 – наружная стена; 3 – решетка с сеткой; 4 – пластиковый оголовок прямоугольной формы; 5 – щели; 6 – фильтр с сорбционной загрузкой шунгитом (фракции 1 мм); 7 – фильтр с сорбционной загрузкой цеолитом (фракции 1-3 мм); 8 – тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO_2); 9 – две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая; 10 – электровентилятор; 11 – регулятор оборотов с выключателем; 12 – фольгированный изолон

На разработанный клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха получен патент на изобретение № 2 744 623 С1.

Клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха, устанавливаемый в наружной стене помещения, содержащий электровентилятор и фильтр, отличающийся тем, что содержит последовательно расположенные фильтры внутри пластикового оголовка размером 200 на 200 мм прямоугольной формы с щелями, устанавливаемого в пластиковую трубу с наружным диаметром 100 мм, причем фильтры с сорбционной загрузкой шунгитом фракции 1 мм и цеолитом фракции 1-3 мм имеют толщину слоя сорбента 20 мм, а фотокаталитический фильтр выполнен из тонкой пористой пластины диоксида титана (TiO_2) и двух ультрафиолетовых ламп с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая, расположенных вертикально в ряд.

5.2. Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха и технических характеристик загрузок фильтров

Результаты проведенных экспериментальных исследований на опытном образце показали, что в конструкции приточного клапана с очисткой воздуха можно использовать такие сорбенты как шунгит, активированный уголь, цеолит, силикагель.

Далее запроектируем конструкцию приточного клапана в наружной стене здания. Выбираем круглое сечение приточного клапана, зная расход воздуха (Q , $\text{м}^3/\text{ч}$), начальную концентрацию на входе в приточный клапан по газообразным загрязнителям C_0 , $\text{мг}/\text{м}^3$, скорость воздушного потока в сечении клапана V , $\text{м}/\text{с}$, плотность сорбирующего вещества ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$.

Динамическая активность a_d (кг/м³) – это число молекул, поглощенных поверхностью адсорбента при движении вещества (газа) через слой адсорбента:

$$a_d = \frac{V c_0 t}{H}, \quad (5.1)$$

где V – скорость газового потока, м/с; C_0 – начальная концентрация извлекаемого вещества, кг/м³, T – продолжительность процесса адсорбции, с; H – высота слоя адсорбента, м.

Диаметр приточной установки (воздушного клапана в стене) определяем по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0.785 \cdot 3600 \cdot V}}, \quad (5.2)$$

где V – скорость газового потока, м/с; Q – расход газа, м³/ч.

Принимаем массу сорбента постоянной величиной $G_{\text{сорбента}} = \text{const}$, а также динамическую активность постоянной величиной $a_d (X_1, X_2) = \text{const}$, $\rho = \text{const}$.

Требуемое количество адсорбента для поглощения газов (СО, фенола, формальдегида, углеводородов алифатических) рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{Q \cdot t \cdot c_0}{X_2 - X_1}, \quad (5.3)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; c_0 – начальная концентрация извлекаемого вещества, кг/м; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.

Высота слоя адсорбента, м:

$$H = \frac{G}{0.785 D^2 \rho}, \quad (5.4)$$

где G – масса сорбента, необходимая для сорбции на поверхности газ-твердое вещество, кг; D – диаметр приточного клапана, м; ρ – плотность сорбента, кг/м³.

Выразим количество адсорбента из формулы (5.4):

$$G = (0,785 \cdot D^2 \rho)H \quad (5.5)$$

Подставим G по формуле (5.3) в формулу (5.5):

$$(0,785 \cdot D^2 \rho)H = \frac{Q \cdot t \cdot c_0}{X_2 - X_1} \quad (5.6)$$

Выразим высоту слоя сорбента из выражения (5.6):

$$H = \frac{Q \cdot t \cdot c_0}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \quad (5.7)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час, c_0 – начальная концентрация извлекаемого вещества, кг/м³; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³.

5.2.1. Расчёт параметров конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха

Принимаем следующие параметры величины за постоянное число: расхода газа (м³/час) Q – const, диаметр установки (клапана) D (м) – const, плотность сорбента (кг/м³) ρ – const, X_2 , X_1 – динамическая активность сорбента по i -газу (% масс.) и остаточная активность после десорбции (% масс.) – const, продолжительность сорбции (время) – t (ч) будет переменной величиной.

Находим производную первого порядка для $H(t)$, после подстановки концентрации в зависимости от времени для каждого слоя сорбента,

используем (5.8)-(5.11) эмпирическую зависимость $c_0(t)$, подставляя $c_0(t)$ в формулу (5.3).

По результатам экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости концентрации загрязнителей (мг/м^3) от продолжительности сорбции (t):

- для шунгита:

$$c_0 = 1,733 \cdot e^{0,0033t}, \quad (5.8)$$

где t – продолжительность сорбции, ч.

-для активированного угля:

$$c_0 = 0,051 \cdot t + 4,446, \quad (5.9)$$

где t – продолжительность сорбции, ч.

-для цеолита:

$$c_0 = 0,022t^2 + 3,682t + 6,065, \quad (5.10)$$

где t – продолжительность сорбции, ч.

-для силикагеля:

$$c_0 = -0,00002t^2 + 0,312t - 0,578, \quad (5.11)$$

где t – продолжительность сорбции, ч.

Поставляем $c_0(t)$ формулу (5.5) в уравнение (5.3), получим для сорбента шунгита высоту (толщину) слоя в фильтре, м:

$$H = \frac{Q \cdot t \cdot 1,734 \cdot e^{0,0033t}}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho}, \quad (5.12)$$

где Q – расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м^3 .

Дифференцируем уравнение (5.12), находим производную первого порядка:

$$H'(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{Q \cdot t \cdot 1,733 \cdot e^{0,0033t}}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \right),$$

После необходимых преобразований (5.12) и приведения всех единиц измерения получаем зависимость для расчёта необходимой высоты (толщины) сорбционного слоя, м (5.13):

$$H'(t) = \frac{1,733 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (e^{0,0033t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,0033t}), \quad (5.13)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³; D – диаметр приточного клапана, м.

Из формулы (5.13) выражаем величину минимально необходимого диаметра приточного клапана (5.14) в зависимости от расхода газа Q и толщины (высоты) слоя сорбента (шунгита) H :

$$D = \sqrt{\frac{0,102 \cdot Q \cdot (X_2 - X_1) \cdot \rho}{H} \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t})}, \quad (5.14)$$

Подставляем в формулу (5.5) в полученную формулу (5.13) и получаем зависимость массы сорбента от времени:

$$G = (0,785 \cdot D^2 \rho) H = (0,785 \cdot D^2 \rho) \cdot \frac{1,733 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t}) = \frac{1,733 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t}), \quad \text{преобразуем выражение в (5.15).}$$

Таким образом, получаем необходимую массу (мг) для сорбента (шунгита) в зависимости от времени:

$$G(t) = \frac{1,733 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t}), \quad (5.15)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, ч; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.

Так как эмпирическое уравнение (5.8) получено для достаточно высоких концентраций при опытных испытаниях образца клапана приточной принудительной вентиляции по газообразным веществам (оксида углерода (II) CO) на входе в вентиляционные клапаны, то в городских условиях от передвижных источников, необходимо умножить уравнение на коэффициент пересчёта, полученный по уравнению многофакторной регрессии в зависимости от интенсивности автотранспортного потока магистралей (табл.5.1).

Таблица 5.1 – Поправочный коэффициент массы сорбента шунгит

свыше 2000 авт./ч	от 1000 до 2000 авт./ч	от 500-1000 авт./ч	менее 500 авт./ч
0,25	0,19	0,13	0,067
$G(t) = \frac{0,433 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (e^{0,0033t} + t \cdot 0,0033 \cdot e^{0,0033t})$	$G(t) = \frac{0,329 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,0033 \cdot e^{0,003t})$	$G(t) = \frac{0,225 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,0033 \cdot e^{0,003t})$	$G(t) = \frac{0,116 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t})$
$H(t) = \frac{0,433 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t})}$	$H(t) = \frac{0,329 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t})}$	$H(t) = \frac{0,225 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t})}$	$H(t) = \frac{0,067 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (e^{0,003t} + t \cdot 0,003 \cdot e^{0,003t})}$

Для сорбента активированного угля также выводим уравнения, подставив (5.9) эмпирическое уравнение $C_0(t)$:

$$H'(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{Q \cdot t \cdot (0,0511 \cdot t + 4,4465)}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \right) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,1022t + 4,4465) \quad (5.16)$$

$$H'(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,102t + 4,447), \quad (5.17)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³; D – диаметр приточного клапана, м.

Из формулы (5.17) выражаем величину минимально необходимого диаметра приточного клапана (5.18) в зависимости от расхода газа Q и толщины (высоты) слоя сорбента (активированного угля) H :

$$D = \sqrt{\frac{Q \cdot (X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot \rho}{H} \cdot (0,102t + 4,447)} \quad (5.18)$$

Подставляем в формулу (5.5) полученную формулу (5.17) и получаем зависимость массы сорбента (угля) от времени в мг:

$$G(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,102t + 4,447), \quad (5.19)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.

Эмпирическое уравнение $c_0(t)$, (5.9) получено для достаточно высоких концентраций при опытных испытаниях СО на входе в опытный образец, то в городских условиях, необходимо умножить на коэффициент, полученный в зависимости от интенсивности автотранспортного потока (табл.5.2)

Таблица 5.2 – Расчёт массы сорбента (угля) в приточных клапанах в зависимости от интенсивности движения

свыше 2000 авт./ч	от 1000 до 2000 авт./ч	от 500-1000 авт./ч	менее 500 авт./ч
0,25	0,19	0,13	0,0667
$G(t) = \frac{0,25 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,102t + 4,447)$	$G(t) = \frac{0,19 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,102t + 4,447)$	$G(t) = \frac{0,13 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,102t + 4,447)$	$G(t) = \frac{0,067 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,102t + 4,447)$
$H(t) = \frac{0,25 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot (0,102t + 4,447)}$	$H(t) = \frac{0,19 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot (0,102t + 4,447)}$	$H(t) = \frac{0,13 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot (0,102t + 4,447)}$	$H(t) = \frac{0,067 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot (0,102t + 4,447)}$

Для цеолита выводим уравнения (5.20), подставив $c_0(t)$ эмпирическое уравнение (5.10):

$$H'(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{Q \cdot t \cdot (0,0216t^2 + 3,6816t + 6,0648)}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \right) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065) \quad (5.20)$$

После необходимых преобразований получаем для цеолита высоту слоя сорбента, м:

$$H'(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065), \quad (5.21)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³; D – диаметр приточного клапана, м.

Подставляем в формулу (5.5) в полученную формулу (5.20) и получаем зависимость массы сорбента (цеолита) от времени:

$$G = (0,785 \cdot D^2 \rho) H = (0,785 \cdot D^2 \rho) \cdot \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648) = \frac{Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065) \quad (5.22)$$

Таким образом, получаем необходимую массу (мг) для сорбента (цеолита) в зависимости от времени:

$$G(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065), \quad (5.23)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.

Также получаем необходимую массу (мг) для сорбента (цеолита) совместно с двумя слоями последовательных в фильтрах

«шунгит+цеолит» для разработанного приточного клапана в зависимости от времени, с учетом эффективности очистки 96,92% загрязнителя на сорбенте шунгит (мг):

$$G(t) = \frac{0,1308 \cdot Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065), \quad (5.24)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.

После необходимых преобразований получаем для цеолита совместно с двумя последовательными слоями в фильтрах клапана «шунгит+цеолит» высоту слоя сорбента, м:

$$H(t) = \frac{0,1308 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065), \quad (5.25)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³; D – диаметр приточного клапана, м.

Из формулы (5.25) выражаем величину минимально необходимого диаметра приточного клапана в зависимости от расхода газа Q и толщины (высоты) слоя сорбентов последовательно расположенных в клапане (шунгит+цеолит) H :

$$D = \sqrt{\frac{0,131 \cdot Q \cdot (X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot \rho}{H} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065)}, \quad (5.26)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³.

Так как эмпирическое уравнение (5.10) $c_0(t)$ получено для достаточно высоких концентраций при опытных испытаниях СО на входе в опытный образец клапанов, то в городских условиях необходимо

умножить на коэффициент, полученный в зависимости от интенсивности автотранспортного потока (табл.5.3).

Таблица 5.3 – Поправочный коэффициент сорбента цеолит для расчёта массы

свыше 2000 авт./ч	от 1000 до 2000 авт./ч	от 500-1000 авт./ч	менее 500 авт./ч
0,25	0,19	0,13	0,0667
$H(t) = \frac{0,25 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$	$H(t) = \frac{0,19 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$	$H(t) = \frac{0,13 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$	$H(t) = \frac{0,0667 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$
$G(t) = \frac{0,25 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$	$G(t) = \frac{0,19 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$	$G(t) = \frac{0,13 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$	$G(t) = \frac{0,0667 \cdot Q}{(X_2 - X_1) \cdot (0,0648 \cdot t^2 + 7,363t + 6,0648)}$

Для силикагеля получены уравнения, подставив эмпирическое уравнение (5.11) $c_0(t)$:

$$H'(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{Q \cdot t \cdot (-0,00002t^2 + 0,3117t - 0,5779)}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \right) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,623t - 0,578) \quad (5.27)$$

После необходимых преобразований получаем для силикагеля высоту слоя сорбента:

$$H'(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,623t - 0,578), \quad (5.28)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³; D – диаметр приточного клапана, м.

Подставляем в формулу (5.5) полученную формулу (5.28) и получаем зависимость массы сорбента (силикагеля) от времени:

$$G = (0,785 \cdot D^2 \rho) H = (0,785 \cdot D^2 \rho) \cdot \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (-0,00006 \cdot t^2 + 0,6234t - 0,5779) = \frac{Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,623t - 0,578) \quad (5.29)$$

Таким образом, получаем необходимую массу (мг) для сорбента (силикагеля) в зависимости от времени:

$$G(t) = \frac{Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,623t - 0,578), \quad (5.30)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.

В городских условиях необходимо умножить на коэффициенты, полученные по результатам многолетних экспериментальных исследований в зависимости от интенсивности автотранспортного потока (табл.5.4).

Таблица 5.4 – Поправочный коэффициент для сорбента силикагель для расчёта массы в зависимости от интенсивности движения автотранспорта

свыше 2000 авт./ч	от 1000 до 2000 авт./ч	от 500-1000 авт./ч	менее 500 авт./ч
0,25	0,19	0,13	0,0667

В итоге получаем расчетные формулы массы сорбента (мг) и высоты слоя сорбента (м) в зависимости от времени, для зданий, находящихся рядом с магистралями разной интенсивности движения, авт./час.

С учетом последовательной очистки слоев сорбентов «шунгит+цеолит+силикагель» получаем для силикагеля высоту слоя сорбента, м:

$$H(t) = 0,01 \cdot \frac{Q}{(X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot \rho} \cdot (0,623t - 0,578), \quad (5.31)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³; D – диаметр приточного клапана, м.

Из формулы (5.31) выражаем величину минимально необходимого диаметра приточного клапана в зависимости от расхода газа Q и толщины (высоты) слоя последовательных сорбентов (шунгит+цеолит+силикагель) H :

$$D = \sqrt{\frac{0,01 \cdot Q \cdot (X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot \rho}{H}} \cdot (0,623t - 0,578) \quad (5.32)$$

Необходимая масса (мг) для сорбента (силикагеля) в зависимости от времени после последовательной очистки «шунгит+цеолит+силикагель»:

$$G(t) = 0,01 \cdot \frac{Q}{(X_2 - X_1)} \cdot (0,623t - 0,578), \quad (5.33)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X_2 – динамическая активность сорбента по i -газу, % масс.; X_1 – остаточная активность после десорбции, % масс.

По результатам многолетних исследований с 2008 по 2020 гг. построены уравнения многофакторной регрессии концентрации (c) в зависимости от нескольких факторов для высотных источников.

Используя результаты расчета по данным уравнениям (5.13)-(5.33), прогнозу концентрации по высоте здания в наружном воздухе можно произвести расчёт массы сорбента и толщины его слоя в клапане приточной вентиляции с очисткой воздуха, умножая на поправочный коэффициент, представленный в табл. 5.5-5.9.

Данные коэффициенты для СО представлены в табл.5.5-5.9.

- для $H_{и}=H$ ($H_{и}$ – высота источника; H – высота здания) (табл.5.5):

Таблица 5.5 – Коэффициенты пересчета для источника высотой равного высоте здания

Отношение расстояния к высоте источника (трубы), м: R/H_n	$H_n=H_z$ шунгит	$H_n=H_z$ цеолит
	5	0,2557
0,2302		0,1475
7,5	0,2557	0,1328
	0,2302	0,1328
10	0,2018	0,1164
	0,2018	0,1164
12,5	0,1699	0,098
	0,1699	0,098
15	0,1560	0,090
	0,1560	0,090
17,5	0,142	0,082
	0,142	0,082
20	0,096	0,056
	0,096	0,056

Для точечного источника (табл.5.6) выше здания $H_n=2H$ (H_n – высота источника; H – высота здания)

Таблица 5.6 – Коэффициенты пересчета для источника высотой $H_n=2H$

Отношение расстояния к высоте источника (трубы), м: R/H_n	$H_n=2H_z$ шунгит	$H_n=2H_z$ цеолит
	5	$G=0,2018$
$H=0,2018$		0,1164
7,5	0,1875	0,1082
	0,1875	0,1082
10	0,1733	0,1000
	0,1733	0,1000
12,5	0,1612	0,093
	0,1612	0,093
15	0,1560	0,090
	0,1560	0,090
17,5	0,1534	0,0885
	0,1534	0,0885
20	0,1420	0,08197
	0,1420	0,08197

Для точечного источника (табл.5.7) выше здания $H_n=0,5H$ (H_n – высота источника; H – высота здания).

Таблица 5.7 - Коэффициенты пересчета для источника высотой $H_{и}=0,5H$

Отношение расстояния к высоте источника (трубы), м: $R/H_{и}$	масса сорбента, мг/толщина сорбента, м	$H_{и}=0,5H$ шунгит	$H_{и}=0,5H$ цеолит
5	G	0,2075	0,1197
	H	0,2075	0,1197
7,5	G	0,1989	0,1148
	H	0,1989	0,1148
10	G	0,1932	0,1115
	H	0,1932	0,1115
12,5	G	0,1876	0,1082
	H	0,1876	0,1082
15	G	0,1862	0,1074
	H	0,1862	0,1074
17,5	G	0,1848	0,1066
	H	0,1848	0,1066
20	G	0,1818	0,1049
	H	0,1818	0,1049

Если отношение $H_{и}$ к H будет иным, то коэффициент находим с помощью интерполяционного полинома Лагранжа (табл.5.8).

Таблица 5.8 – Коэффициенты пересчета для расчета массы сорбента (шунгита), толщины слоя сорбента от источников разной высоты по отношению к зданию (высотных источников)

Отношение расстояния к высоте источника (трубы), м: $R/H_{и}$	масса сорбента, мг/толщина сорбента, м	$H_{и}=2H$ шунгит	$H_{и}=H$ шунгит	$H_{и}=0,5H$ шунгит
5	G	0,2018	0,2557	0,2075
	H	0,2018	0,2302	0,2075
7,5	G	0,1875	0,2557	0,1989
	H	0,1875	0,2302	0,1989
10	G	0,1733	0,2018	0,1932
	H	0,1733	0,2018	0,1932
12,5	G	0,1612	0,1699	0,1876
	H	0,1612	0,1699	0,1876
15	G	0,1560	0,1560	0,1862
	H	0,1560	0,1560	0,1862
17,5	G	0,1534	0,142	0,1848
	H	0,1534	0,142	0,1848
20	G	0,1420	0,09654	0,1818
	H	0,1420	0,09654	0,1818

Таблица 5.9 – Коэффициенты пересчета для расчета массы сорбента (цеолита), толщины слоя сорбента от источников разной высоты по отношению к зданию (высотных источников)

Отношение расстояния к высоте источника (трубы), м: R/H _и	масса сорбента, мг/толщина сорбента, м	H _и =2H цеолит	H _и =H цеолит	H _и =0,5H цеолит
5	G	0,1164	0,1475	0,1197
	H	0,1164	0,1475	0,1197
7,5	G	0,1082	0,1328	0,1148
	H	0,1082	0,1328	0,1148
10	G	0,1000	0,1164	0,1115
	H	0,1000	0,1164	0,1115
12,5	G	0,093	0,098	0,1082
	H	0,093	0,098	0,1082
15	G	0,090	0,090	0,1074
	H	0,090	0,090	0,1074
17,5	G	0,0885	0,082	0,1066
	H	0,0885	0,082	0,1066
20	G	0,08197	0,0557	0,1049
	H	0,08197	0,0557	0,1049

Расчет параметров приточных устройств с очисткой воздуха

Величина минимально необходимого диаметра приточных клапанов в зависимости от расхода газа Q и толщины (высоты) слоя сорбентов (шунгит+цеолит) H:

$$D = \sqrt{\frac{0,1308 \cdot Q \cdot (X_2 - X_1) \cdot 0,785 \cdot \rho}{H} \cdot (0,065 \cdot t^2 + 7,363t + 6,065)}, \quad (5.34)$$

где Q – расход газа, м³/ч; t – продолжительность процесса сорбции, час; X₂ – динамическая активность сорбента по i-газу, % масс.; X₁ – остаточная активность после десорбции, % масс; ρ – плотность сорбирующего вещества, кг/м³.

Диаметр приточного клапана в наружной стене здания при расходе воздуха через клапан 100 м³/ч будет составлять D = 0,10 м.

Принимаем минимальный окончательный диаметр приточных клапанов 100 мм, скорость воздуха в сечении клапана 2,81 м/с, что

соответствует запроектированному опытному образцу при испытаниях приточного принудительного клапана с очисткой воздуха.

Рассчитана высота адсорбента (фильтрующего слоя) в приточном клапане, количества сорбента, необходимого для фильтрации.

Согласно полученным экспериментальным данным динамическая активность шунгита по оксиду углерода (II) будет составлять 1,0183 г/100 г (0,010183 % масс.), остаточная активность после десорбции составляет 0,137 г/100 г (0,00137 % масс.).

Для активированного угля динамическая активность по оксиду углерода (II) будет составлять по результатам эксперимента 2,23 г/100 г (0,0223% масс.), остаточная активность активированного угля будет 0,0075 % масс.

Для цеолита динамическая активность по оксиду углерода (II) будет составлять 0,8392 г/100 г (0,008392 % масс.), остаточная активность цеолита будет 0,002375 % масс.

Для силикагеля динамическая активность по оксиду углерода (II) будет составлять 0,0046 г/100 г (0,000046 % масс.), остаточная активность цеолита будет 0,000011 % масс.

5.2.2. Расчёт технических характеристик загрузок фильтров клапанов системы приточной вентиляции

На основании разработанных уравнений из табл.5.10 видно, что при максимальной интенсивности движения автотранспорта свыше 2000 авт./час сорбента «шунгит» на время действия около четырех месяцев (124 дня или 2976 часов) по полученным формулам необходимо минимальную высоту (толщину) слоя сорбента 20-21 мм, массой 13,5 г, при плотности сорбента 1800 кг/м³ и максимальном расходе воздуха 300 м³/ч, что подтверждает разработанную конструкцию приточного клапана с очисткой воздуха.

Таблица 5.10 – Расчет и обоснование технических характеристик шунгита в приточном клапане по полученным уравнениям: толщины слоя сорбента (мм), массы (г)

V, м/с	t, час	D, м	Q, м ³ /ч	H (толщина слоя сорбента), мм	G, масса сорбента, г	плотность шунгита, кг/м ³
2,81	2976	0,12	300	20,8	13,5	1800

Таким образом, полученные формулы массы сорбента и толщины его слоя (5.13)-(5.33) необходимы при проектировании клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха для помещений с различной площадью, это также позволит при проектировании клапанов приточной вентиляции рационально их использовать и сэкономить на расходах не только сорбентов, но и на производительности электровентилятора в приточном клапане с очисткой воздуха, расположенного в помещениях зданий с повышенной загрязненностью наружного воздуха городской среды.

Таблица 5.11 – Расчет приточного клапана по шунгиту по полученным уравнениям толщины слоя сорбента (мм) и его массы (г) при различной интенсивности движения

V, м/с	t, час	D, м	Q, м ³ /ч	H (толщина слоя сорбента), мм свыше 2000 авт./ч	G, масса сорбента, г свыше 2000 авт./ч	H, мм от 1000 до 2000 авт./ч	G, г от 1000 до 2000 авт./ч	H, мм св. 500 до 1000 авт./ч	G, г, св. 500 до 1000 авт./ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,81	2976	0,1	100	6,93	3,15	5,27	2,40	3,61	1,64
2,81	2976	0,1	115	7,97	3,63	6,06	2,76	4,15	1,89
2,81	2976	0,1	130	9,01	4,09	6,85	3,11	4,69	2,13
2,81	2976	0,1	145	10,05	4,57	7,64	3,47	5,23	2,38
2,81	2976	0,1	160	11,09	5,04	8,43	3,83	5,77	2,62

Продолжение таблицы 5.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,81	2976	0,1	175	12,13	5,52	9,22	4,19	6,31	2,87
2,81	2976	0,1	190	13,17	5,992	10,01	4,559	6,85	3,11
2,81	2976	0,1	205	14,21	6,46	10,8	4,91	7,39	3,36
2,81	2976	0,1	220	15,25	6,94	11,59	5,27	7,93	3,60
2,81	2976	0,1	235	16,29	7,41	12,38	5,63	8,47	3,85
2,81	2976	0,1	250	17,33	7,88	13,17	5,99	9,01	4,09
2,81	2976	0,1	265	18,37	8,356	13,96	6,35	9,55	4,34
2,81	2976	0,1	280	19,41	8,83	14,75	6,71	10,1	4,59
2,81	2976	0,1	300	20,45	9,45	15,54	7,19	10,64	4,92

Самый высокий срок действия у сорбента «шунгит», что связано с его высокой эффективностью очистки по оксиду углерода (II) свыше 95% (табл.5.11). В течение 124 дня (2976 часов) сорбент «шунгит» при увеличении расхода воздуха от 100 м³/ч до 300 м³/ч и интенсивности свыше 2000 авт./ч будет справляться при минимальной толщине слоя сорбента от 6,93 мм до 20,45 мм, массой от 3,15 до 9,45 г, при интенсивности движения автотранспорта 1000-2000 авт./ч минимальная высота сорбента от 5,27 до 15,54 мм, массой от 2,40 до 8 г, при интенсивности 500-1000 авт./ч высота слоя сорбента от 3,61 до 10,64 мм, массой 1,64 до 5 г. В конструкции разработанного опытного образца клапана приточной вентиляции предусмотрена максимально возможная толщина слоя сорбента «шунгит» 20 мм, плотностью сорбента 1800 кг/м³, фракции 1 мм, при диаметре клапана 0,1 м, что теоретически и экспериментально обосновывает все технические характеристики сорбента «шунгит» в фильтре клапана приточной принудительной вентиляции.

Таблица 5.12 – Расчет приточного клапана по цеолиту после очистки шунгитом по полученным уравнениям толщины слоя сорбента (мм) и его массы (г)

V, м/с	t, час	D, м	Q, м ³ /ч	H (толщина слоя сорбента), мм свыше 2000 авт./ч	G, масса сорбента, г свыше 2000 авт./ч	H, мм от 1000 до 2000 авт./ч	G, г, от 1000 до 2000 авт./ч	H, мм св. 500 до 1000 авт./ч	G, г, св. 500 до 1000 авт./ч
2,81	1200	0,1	100	6,93	5,55	6,03	4,22	3,61	2,89
2,81	1200	0,1	115	7,97	6,38	6,93	4,85	4,15	3,32
2,81	1200	0,1	130	9,01	7,22	7,84	5,49	4,69	3,75
2,81	1200	0,1	145	10,05	8,05	8,74	6,12	5,23	4,19
2,81	1200	0,1	160	11,09	8,88	9,64	6,75	5,77	4,62
2,81	1200	0,1	175	12,13	9,72	10,55	7,38	6,31	5,05
2,81	1200	0,1	190	13,17	10,55	11,45	8,02	6,85	5,49
2,81	1200	0,1	205	14,21	11,38	12,36	8,65	7,39	5,92
2,81	1200	0,1	220	15,25	12,21	13,26	9,28	7,93	6,35
2,81	1200	0,1	235	16,29	13,05	14,17	9,92	8,47	6,78
2,81	1200	0,1	250	17,33	13,88	15,07	10,55	9,01	7,22
2,81	1200	0,1	265	18,37	14,71	15,97	11,18	9,55	7,65
2,81	1200	0,1	280	19,41	15,54	16,88	11,81	10,1	8,08
2,81	1200	0,1	300	20,45	16,38	18,08	12,45	10,64	8,52

Из табл.5.12 видно, что для сорбента «цеолит» при расходе воздуха 300 м³/ч необходимо на 50 дней (1200 часов), около двух месяцев, при интенсивность движения свыше 2000 авт./ч толщиной слоя 20,45 мм, фракции 1-3 мм, плотностью 1020 кг/м³, при интенсивности от 1000-2000 авт./ч - 18 мм, от 500 до 1000 авт./ч - 10 мм. При этом максимальная толщина сорбента «цеолит» должна составлять 20,45 мм, массой 16,38 г, плотностью цеолита 1020 кг/м³, фракций 1-3 мм. Это также подтверждает разработанную конструкцию приточного клапана с очисткой воздуха.

По полученным уравнениям (5.13)-(5.33) можно рассчитать, сколько будет необходимо сорбента в граммах и высоту (толщину) его слоя в мм в фильтре приточного клапана вентиляции в наружной стене здания на различный период времени. На основании теоретического обоснования рекомендованы технические параметры приточного клапана с очисткой воздуха: оптимальная скорость в клапане 2,81 м/с, минимальный диаметр 0,1 м, расход воздуха от 55 до 300 м³/ч в зависимости от площади помещения, необходимой времени сорбции 1200 часов и толщины слоя сорбента от 7 мм до 20 мм для сорбента шунгит, от 6,93 мм до 20 мм для сорбента «цеолит» в зависимости от расположения здания с магистралями различной интенсивности движения.

Аналогичным образом по полученным теоретическим уравнениям (5.13)-(5.33) с использованием эмпирических зависимостей проведены расчеты для фильтра с активированным углем (табл.5.13) и силикагелем (табл.5.15).

Таблица 5.13 – Расчет приточного клапана по активированному углю по полученным уравнениям толщины слоя сорбента (мм) и его массы (г), плотность 600 кг/м³

V, м/с	t, час	D, м	Q, м ³ /ч	H (толщина слоя сорбента), мм свыше 2000 авт./ч	G, масса сорбента, г свыше 2000 авт./ч	H, мм от 1000 до 2000 авт./ч	G, г от 1000 до 2000 авт./ч	H, мм от 500 до 1000 авт./ч	G, г от 500 до 1000 авт./ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,81	360	0,1	100	14,79	6,97	11,24	5,29	7,69	3,62
2,81	360	0,1	115	17,01	8,01	12,93	6,09	8,84	4,17
2,81	360	0,1	130	19,23	9,06	14,61	6,88	10	4,71
2,81	360	0,1	145	21,45	10,1	16,3	7,68	11,15	5,25

Продолжение таблицы 5.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,81	360	0,1	160	23,66	11,15	17,98	8,47	12,31	5,8
2,81	360	0,1	175	25,88	12,19	19,67	9,26	13,46	6,34
2,81	360	0,1	190	28,1	13,24	21,36	10,06	14,61	6,88
2,81	360	0,1	205	30,32	14,28	23,04	10,85	15,77	7,43
2,81	360	0,1	220	32,54	15,33	24,73	11,65	16,92	7,97
2,81	360	0,1	235	34,76	16,37	26,41	12,44	18,07	8,51
2,81	360	0,1	250	36,97	17,41	28,1	13,24	19,23	9,06
2,81	360	0,1	265	39,19	18,46	29,79	14,03	20,38	9,6
2,81	360	0,1	280	41,41	19,5	31,47	14,82	21,53	10,14
2,81	360	0,1	300	43,63	20,55	33,16	15,62	22,69	10,69

Из табл.5.13 видно, что оптимальная толщина сорбента «активированного угля» при расходе воздуха $300 \text{ м}^3/\text{час}$ и интенсивности движения автотранспорта свыше 2000 авт./ч – $43,63 \text{ мм}$, на время сорбции всего 360 часов (15 дней), масса – $20,55 \text{ г}$, на расход $100 \text{ м}^3/\text{час}$ толщина сорбента – 15 мм , масса – 7 г . При уменьшении интенсивности движения автотранспорта магистрали достаточно при $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщину слоя угля – 11 мм , масса – 5 г , при увеличении расхода воздуха до $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщина слоя угля – 33 мм , масса – 16 г , менять сорбент необходимо через две недели, при уменьшении интенсивности движения $500\text{-}1000 \text{ авт./ч}$ при $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщина слоя сорбента – $22,69 \text{ мм}$, массой $10,69 \text{ г}$.

При интенсивности магистрали свыше 2000 авт./ч срок действия сорбента 360 часов при расходе воздуха от 100 до $160 \text{ м}^3/\text{ч}$ необходимая высота (толщина) слоя сорбента (Активированный уголь АР-В, фракции $2,8 \text{ мм}$) от $14,79 \text{ мм}$ до $23,66 \text{ мм}$ при массе от $6,97$ до $11,15 \text{ г}$. Необходимо уменьшить срок службы (действия) сорбента в днях при расходе воздуха от $175 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $295 \text{ м}^3/\text{ч}$, так как высота (толщина) слоя сорбента не

подходит для фильтра клапана приточной принудительной вентиляции, требуется перерасчет характеристик сорбента.

При интенсивности движения магистрали 1000 -2000 авт./ч срок действия сорбента 360 часов при расходе воздуха от 100 до 220 м³/ч необходимая высота (толщина) слоя сорбента (Активированный уголь AP-B, фракции 2,8 мм) от 11,24 мм до 24,73 мм при массе от 5,29 до 11,65 г. Необходимо уменьшить срок службы (действия) сорбента в днях при расходе воздуха от 235 м³/ч до 295 м³/ч, так как высота (толщина) слоя сорбента не подходит для фильтра клапана приточной принудительной вентиляции, требуется перерасчет характеристик сорбента.

При интенсивности магистрали свыше 500-1000 авт./ч срок действия сорбента 360 часов при расходе воздуха от 100 до 295 м³/ч необходимая высота (толщина) слоя сорбента (Активированный уголь AP-B, фракции 2,8 мм) от 7,69 мм до 22,69 мм, при массе от 3,62 до 10,69 г.

Таблица 5.14 – Расчет и обоснование технических характеристик по активированному углю в приточном клапане: толщины (высоты) слоя сорбента Н (мм) и его массы G (г), плотность 600 кг/м³

t, час	D, м	Q, м ³ /ч	H, мм	G, грамм
1	2	3	4	5
168	0,1	100	7,75	3,65
168	0,1	115	8,92	4,2
168	0,1	130	10,08	4,75
168	0,1	145	11,24	5,29
168	0,1	160	12,4	5,84
168	0,1	175	13,57	6,39
168	0,1	190	14,73	6,94
168	0,1	205	15,89	7,49
168	0,1	220	17,06	8,03
168	0,1	235	18,22	8,58
168	0,1	250	19,38	9,13
168	0,1	265	20,54	9,68
168	0,1	280	21,71	10,22
168	0,1	295	22,87	10,77

При интенсивности магистрали свыше 2000 авт./ч срок действия сорбента 168 часов при расходе воздуха от 100 до 295 м³/ч необходимая

высота (толщина) слоя сорбента (Активированный уголь AP-B, фракции 2,8 мм) от 7,75 мм до 22,87 мм при массе от 3,65 до 10,77 г. Для производительности 300 м³/ч для разработанной конструкции приточного клапана толщина слоя сорбента должна составлять максимальная – 22,87 мм, массой – 11 г (табл.5.14).

Таблица 5.15 – Расчет приточного клапана по силикагелю по полученным уравнениям толщины слоя сорбента (мм) и его массы (г), плотность 720 кг/м³

V, м/с	t, час	D, м	Q, м ³ /ч	H (толщина слоя сорбента), мм свыше 2000 авт./ч	G, масса сорбента, г свыше 2000 авт./ч	H, мм от 1000 до 2000 авт./ч	G, г от 1000 до 2000 авт./ч	H, мм 500 до 1000 авт./ч	G, г св. 500 до 1000 авт./ч
2,81	240	0,1	100	7,31	4,13	5,55	3,14	3,8	2,15
2,81	240	0,1	115	8,4	4,75	6,39	3,61	4,37	2,47
2,81	240	0,1	130	9,5	5,37	7,22	4,08	4,94	2,79
2,81	240	0,1	145	10,59	5,99	8,05	4,55	5,51	3,11
2,81	240	0,1	160	11,69	6,61	8,88	5,02	6,08	3,44
2,81	240	0,1	175	12,79	7,23	9,72	5,49	6,65	3,76
2,81	240	0,1	190	13,88	7,85	10,55	5,96	7,22	4,08
2,81	240	0,1	205	14,98	8,47	11,38	6,43	7,79	4,4
2,81	240	0,1	220	16,07	9,09	12,22	6,9	8,36	4,72
2,81	240	0,1	235	17,17	9,7	13,05	7,38	8,93	5,05
2,81	240	0,1	250	18,27	10,32	13,88	7,85	9,5	5,37
2,81	240	0,1	265	19,36	10,94	14,72	8,32	10,07	5,69
2,81	240	0,1	280	20,46	11,56	15,55	8,79	10,64	6,01
2,81	240	0,1	300	21,55	12,18	16,38	9,26	11,21	6,34

Из табл.5.15 можно сделать вывод, что оптимальная толщина сорбента «силикагеля» при интенсивности свыше 2000 авт./ч – 7-22 мм, на время сорбции всего 240 часов (10 дней), масса от 4 до 12 г, расход воздуха

от 100 до 300 м³/ч. При уменьшении интенсивности движения автотранспорта магистрали достаточно при 100 м³/ч толщину слоя силикагеля – 5 мм, масса – 3,14 г, при увеличении расхода воздуха до 300 м³/ч толщина слоя силикагеля – 21,55 мм, масса – 12,18 г, менять сорбент необходимо через две недели, при уменьшении интенсивности движения 500-1000 авт./ч сорбент при максимальном заполнении 20 мм можно менять раз в месяц: при 300 м³/ч необходимая толщина слоя сорбента – 11,21 мм, массой 6,34 г (табл.5.15).

5.2.3. Разработка способа очистки приточного воздуха помещений от газообразных загрязнителей зданий

Изобретение относится к способам очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений зданий, в частности очистки воздуха помещений жилых и административных зданий в различных приточных системах (установках) вентиляции зданий, в приточных клапанах зданий, находящихся вблизи с автомагистралями с высокой интенсивностью движения автотранспорта, а также в районах с повышенным загрязнением атмосферного воздуха городской среды от внешних источников выброса (заявка №2020136575, от 06.11.2020 г).

Задачей изобретения является эффективный способ очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений, который выражается в следующем техническом решении: снижение в приточном воздухе концентраций газообразных загрязнителей: оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида до уровня ПДК в помещении за счет последовательного пропускания воздуха через слой сорбента шунгита, слой сорбента силикагеля, слой катализатора на основе диоксида марганца, слой сорбента цеолита в соотношении масс

0,5:0,6:1:0,8 соответственно, определенного фракционного состава, где за единицу взята масса диоксида марганца, без перемешивания их масс.

Технический результат – очистка приточного воздуха от газообразных загрязнителей с получением очищенного внутреннего воздуха помещений, снижение концентраций оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида до концентраций ПДК в воздухе помещений и эффективностью, представленной в табл. 5.16, 5.17.

Указанный технический результат достигается тем, что загрязненный воздух последовательно пропускают сначала через слой сорбента шунгита, слой сорбента силикагеля, затем через слой катализатора на основе диоксида марганца, далее через слой сорбента – цеолита в соотношении масс 0,5:0,6:1:0,8 соответственно, определенного фракционного состава, где за единицу взята масса диоксида марганца, без перемешивания их масс: первый сорбент – шунгит Зажогинского месторождения, фракциями 1 мм, насыпной плотностью 1800 кг/м³, толщиной слоя 20,45 мм; второй сорбент – силикагель технический КСКГ, фракциями 2,8 мм, насыпной плотностью 760 кг/м³, толщиной слоя 21,55 мм, третий слой катализатора на основе диоксида марганца, фракциями 0,7-1 мм, насыпной плотностью 1400 кг/м³, толщиной слоя 20 мм; четвертый сорбент – цеолит Холинского месторождения, фракциями 1-3 мм, насыпной плотностью 1020 кг/м³, толщиной слоя 20,45 мм, при этом скорость пропускания воздуха 2,6-2,7 м/с.

Очистка газообразных загрязнителей приточного воздуха в помещении производилась следующим образом. Для поглощения газообразных веществ (оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида) в приточном воздухе использовали три слоя сорбентов: шунгит, силикагель, цеолит и один слой катализатора

диоксида марганца, в качестве окислителя оксида углерода (II), оставшегося в приточном воздухе.

Поступающий приточный загрязненный воздух пропускали со скоростью 2,6-2,7 м/с последовательно через слои сорбента шунгита, сорбента силикагеля, далее через слой катализатора на основе диоксида марганца, затем через слой сорбента цеолита массой в соотношении 0,5:0,6:1:0,8 соответственно, с определенным фракционным составом, где за единицу взята масса диоксида марганца, без перемешивания их масс.

Сначала газообразные загрязнители приточного воздуха поступают на сорбент шунгит Зажогинского месторождения, фракции шунгита 1 мм, насыпная плотность шунгита 1800 кг/м^3 , толщина слоя шунгита 20,45 мм.

Затем газообразные загрязнители воздуха поступают на сорбент - силикагель технический КСКГ, фракции силикагеля 2,8 мм, насыпная плотность 760 кг/м^3 , толщина слоя силикагеля технического 21,55 мм.

Далее очищаемый приточный воздух поступает на катализатор на основе диоксида марганца, с фракциями 0,7-1 мм, насыпной плотностью 1400 кг/м^3 , толщиной слоя 20 мм. Здесь воздух дополнительно очищается от оксида углерода (II) за счет окисления его до диоксида углерода.

Затем очищаемый воздух поступает на сорбент цеолит Холинского месторождения, фракции цеолита 1-3 мм, насыпная плотность 1020 кг/м^3 , толщина слоя цеолита составляет 20,45 мм.

Экспериментальную установку разместили в наружной стене в герметичном помещении объемом $32,4 \text{ м}^3$ индивидуального жилого здания. Экспериментальная установка представляла собой воздуховод, диаметром 100 мм, в которую помещались фильтры с различными слоями сорбентов и катализатором (диоксидом марганца MnO_2).

Приточный воздух пропускали со скоростью 2,6-2,7 м/с.

В качестве загрязнителя воздушной среды выбрали двигатель внутреннего сгорания легкового автомобиля объемом 190 л/с,

загрязненный приточный воздух подавали в экспериментальную установку по герметичному металлическому трубопроводу диаметром 900 мм от выхлопной трубы легкового автомобиля на холостом ходу.

Использовали воздух, загрязненный от выхлопной трубы двигателя внутреннего сгорания следующего состава: среднесуточные концентрации оксида углерода (II) 55 мг/м^3 , углеводородов алифатических (C1-C5) $9,5 \text{ мг/м}^3$, фенола $0,014 \text{ мг/м}^3$, формальдегида $0,011 \text{ мг/м}^3$.

Для изучения способности шунгита, силикагеля, диоксида марганца, цеолита удалять газообразные загрязнители, при каждом варианте исследований засыпались свежие партии образцов сорбентов и катализатора в определенной последовательности. В процессе эксперимента снаружи и внутри помещения измерялась концентрация газообразных загрязнителей: оксида углерода (II), углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида, с помощью сертифицированных газоанализаторов ГАНК 4 и testo 341, фиксировались значения скорости воздушного потока, температура и влажность воздушной среды.

В экспериментальном исследовании оценивались шесть вариантов очистки приточного воздуха с определенным последовательным расположением фильтров со слоями сорбентов и катализатора, с определенным фракционным составом и массой, без перемешивания их масс:

1 – фильтр со слоем активированным углем марки AP-B: фракции 2,8 мм, насыпная плотность 600 кг/м^3 , масса 20,55 г, толщина слоя 22,69 мм;

2 – фильтр со слоем шунгита Зажогинского месторождения: фракции 1 мм, насыпная плотность шунгита 1800 кг/м^3 , масса шунгита 9,45 г, толщина слоя 20,45 мм;

3 – фильтр со слоем цеолита Холинского месторождения: фракции 1-3 мм, насыпная плотность 1020 кг/м^3 , масса 16,38 г, толщина слоя 20,45 мм;

4 – два последовательно расположенных фильтра: первый – со слоем катализатора (диоксидом марганца - MnO_2): фракции 0,7-1 мм, насыпная плотность 1400 кг/м^3 , масса 20 г, толщина слоя 20 мм, второй - со слоем сорбента силикагелем техническим (марки КСКГ): фракции 2,8 мм, насыпная плотность силикагеля 760 кг/м^3 , масса 12,18 г, толщина слоя 21,55 мм.

5 – четыре фильтра в следующем порядке: первый – со слоем шунгита Зажогинского месторождения: фракции 1 мм, насыпная плотность шунгита 1800 кг/м^3 , масса 9,45 г, толщина слоя 20,45 мм; второй – со слоем силикагеля технического (марки КСКГ): фракции 2,8 мм, насыпная плотность силикагеля 760 кг/м^3 , масса 12,8 г, толщина слоя 21,55 мм, затем третий – со слоем катализатора диоксидом марганца: фракции 0,7-1 мм, насыпная плотность 1400 кг/м^3 , масса 20 г, толщина слоя 20 мм; четвертый – со слоем цеолита Холинского месторождения: фракции 1-3 мм, насыпная плотность 1020 кг/м^3 , масса 16,38 г, толщина слоя 20,45 мм.

6 – четыре фильтра: первый – со слоем активированным углем AP-B: фракции 2,8 мм, насыпная плотность 600 кг/м^3 , масса 20,55 г, толщина слоя 22,69 мм; второй – со слоем силикагелем техническим (марки КСКГ): фракции 2,8 мм, насыпная плотность силикагеля 760 кг/м^3 , масса 12, 8 г, толщина слоя 21,55 мм; третий – со слоем катализатора диоксидом марганца: фракции 0,7-1 мм, насыпная плотность 1400 кг/м^3 , масса 20 г, толщина слоя 20 мм; четвертый – со слоем цеолитом Холинского месторождения: фракции 1-3 мм, насыпная плотность 1020 кг/м^3 , масса 16,38 г, толщина слоя 20,45 мм.

Результаты расчета эффективности очистки газообразных загрязнителей при различных вариантах исследования и выбор

наилучшего варианта очистки приточного воздуха в летний и зимний период года представлены в таблице 5.16-5.17.

Таблица 5.16 – Расчет эффективности очистки от газообразных загрязнителей при различных вариантах исследования и выбор наилучшего варианта очистки воздуха в летний период

№ варианта исследований	Эффективность очистки воздуха внутри помещения, %			
	по оксиду углерода (II)	по углеводородам алифатическим (C1-C5)	по фенолу	по формальдегиду
1	2	3	4	5
1 активированный уголь	76,92	29,82	25,27	19,44
	77,33	27,64	24,89	28,57
	76,36	25	25,26	28,13
2 шунгит	88,92	9,36	8,49	11,11
	87,69	5,88	12,66	14,29
	86,15	6,47	15,79	3,13
3 цеолит	56,36	58,48	50	41,67
	54,67	58,82	55,04	37,14
	51,43	51,25	43,53	28,13
4 MnO ₂ +силикагель	83,75	40,07	41,18	40
	90,59	50	42,14	38
	85	48,13	43,16	31,88
5 шунгит + +силикагель+ MnO ₂ +цеолит	93,75	77,41	60,08	69,56
	88	80,59	70,12	70,71
	87,5	78,50	79,84	71,88
6 уголь +силикагель+ MnO ₂ +цеолит	74,74	60	39,65	45
	72,5	59,41	39,30	43,43
	54,67	56,25	41,26	38,13

Таблица 5.17 – Расчет эффективности очистки от газообразных загрязнителей при различных вариантах исследования и выбор наилучшего варианта очистки воздуха в зимний период

№ варианта исследований	Эффективность очистки воздуха внутри помещения, %			
	по оксиду углерода (II)	по углеводородам алифатическим (C1-C5)	по фенолу	по формальдегиду
1	2	3	4	5
1 активированный уголь	77,23	30,41	27,45	33,33
	77,73	30,59	27,07	34,29
	76,37	26,25	29,47	34,38
2 шунгит	93,23	15,20	10,68	13,89
	87,85	8,82	14,85	17,14
	86,92	6,25	20	12,50
3 цеолит	58,18	59,06	50,87	69,44
	57,33	56,47	55,81	65,71
	54,29	52,5	44,47	59,38
4 MnO ₂ +силикагель	85	40,78	45,53	38,89
	91,76	50,59	43,23	48,57
	86,25	48,75	49,47	40,63
5 шунгит + +силикагель+ MnO ₂ +цеолит	95	79,46	64,34	70,50
	89,33	84,78	75,52	73,73
	91,25	81,51	80,84	75,89
6 уголь +силикагель+ MnO ₂ +цеолит	75,79	61,75	41,83	47,78
	73,75	61,76	41,49	46,29
	57,33	56,88	43,37	41,25

По результатам шести вариантов исследований в летний и зимний периоды года самую высокую эффективность очистки приточного воздуха помещения от газообразных загрязнителей имел пятый вариант исследований: последовательно расположенные слои сорбентов шунгита, силикагеля, слоя катализатора на основе диоксида марганца, слой сорбента цеолит массой в соотношении 0,5:0,6:1:0,8 соответственно, с определенным фракционным составом, где за единицу взята масса диоксида марганца, без перемешивания их масс:

- в летний период года – эффективность очистки приточного воздуха от газообразных загрязнителей пятого варианта исследования следующая: по оксиду углерода (II) – 93,75 %; по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 80,59%, по фенолу – 79,84%, по формальдегиду – 71,88%. В зимний период года эффективность очистки 5 варианта несколько увеличивается за счет того, что газообразные загрязнители дольше находятся на поверхностях исследуемых сорбентов: по оксиду углерода (II) – 95%, по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 84,78%; по фенолу – 80,84 %, по формальдегиду – 75,89 %. Полученная эффективность очистки приточного воздуха обеспечивает его очистку до ПДК газообразных загрязнителей в помещении.

Следовательно, способ очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений изобретения является эффективным и может быть использован для очистки приточного воздуха от газообразных загрязнителей помещений зданий, расположенных в районах с повышенным загрязнением атмосферного воздуха городской среды от внешних источников выброса. Данный способ можно использовать в разработанной конструкции клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха, в том числе в аналогичных приточных установках с очисткой воздуха для зданий, расположенных вблизи стационарных и передвижных источников выброса в атмосферу.

Формула изобретения

Способ очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений, включающий в себя его пропускание через сорбент шунгит, отличающийся тем, что осуществляют последовательное пропускание воздуха через слой сорбента шунгита, слой сорбента силикагеля, слой катализатора на основе диоксида марганца, слой сорбента цеолита массой в соотношении 0,5:0,6:1:0,8 соответственно, с определенным фракционным составом, где за единицу взята масса диоксида марганца, без

перемешивания их масс: первый сорбент – шунгит Зажогинского месторождения, фракциями 1 мм, насыпной плотностью 1800 кг/м^3 , толщиной слоя 20,45 мм; второй сорбент – силикагель технический КСКГ, фракциями 2,8 мм, насыпной плотностью 760 кг/м^3 , толщиной слоя 21,55 мм, третий слой катализатора на основе диоксида марганца, фракциями 0,7-1 мм, насыпной плотностью 1400 кг/м^3 , толщиной слоя 20 мм; четвертый сорбент – цеолит Холинского месторождения, фракциями 1-3 мм, насыпной плотностью 1020 кг/м^3 , толщиной слоя 20,45 мм, при этом скорость пропускания воздуха 2,6-2,7 м/с.

Выводы:

1. Разработан опытный образец клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха на основе экспериментальных и теоретических исследований.

2. Получено теоретическое обоснование параметров конструкции приточных клапанов с очисткой воздуха, теоретически получена на основе экспериментальных данных масса сорбента в зависимости от времени сорбции для сорбентов: активированного угля, шунгита, цеолита, силикагеля. Данная масса сорбента рассчитывается для зданий, находящихся рядом с магистралями разной интенсивности движения и высотными источниками разной высоты по отношению к зданию.

3. Рассчитана необходимая высота слоя сорбента в приточном клапане и теоретически получена формула для расчета высоты слоя сорбента (шунгита, цеолита, активированного угля, силикагеля) в приточных клапанах в зависимости от их диаметров, времени сорбции и физико-химических свойств сорбента (плотности сорбента, динамической активности и активности десорбции).

4. Выяснено, что полученные формулы обосновывают высоту (толщину) слоя сорбента и его массу в клапанах приточной вентиляции с

очисткой воздуха в зависимости от времени сорбции и физико-химических свойств сорбента. По полученному уравнению можно рассчитать, сколько необходимо сорбента в граммах и толщину его слоя в мм в фильтре приточного принудительного клапана вентиляции в наружной стене здания на различный период времени.

6. Самый высокий срок действия у сорбента «шунгит», что связано с его высокой эффективностью очистки по оксиду углерода (II) свыше 95%. В течение 124 дня (2976 часов) сорбент «шунгит» при увеличении расхода воздуха от $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ и интенсивности свыше 2000 авт./ч будет справляться при минимальной толщине слоя сорбента от 6,93 мм до 20,45 мм, массой от 3,15 до 9,45 г, при интенсивности 1000-2000 авт./ч минимальная высота слоя сорбента от 5,27 до 15,54 мм, массой от 2,40 до 8 г, при интенсивности 500-1000 авт./ч высота слоя сорбента от 3,61 до 10,64 мм, массой 1,64 до 5 г. В конструкции разработанных клапанов приточной принудительной вентиляции предусмотрена максимально возможная толщина слоя сорбента «шунгит» 20 мм, плотностью сорбента $1800 \text{ кг}/\text{м}^3$, фракции 1 мм, при диаметре клапана 0,1 м, что теоретически и экспериментально обосновывает все технические характеристики сорбента «шунгит» в фильтре клапана приточной принудительной вентиляции. Полученные теоретические формулы массы сорбента и толщины его слоя с использованием эмпирических уравнений необходимы при проектировании приточных установок с очисткой воздуха систем вентиляции для помещений с различной площадью, это также позволит при проектировании клапанов приточной вентиляции рационально их использовать и сэкономить на расходах не только сорбентов, но и на производительности электровентилятора в приточном клапане с очисткой воздуха, расположенного в помещениях зданий с повышенной загрязненностью наружного воздуха городской среды.

7. Для сорбента «цеолит» при расходе воздуха $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ необходимо на 50 дней (1200 часов), около двух месяцев, при интенсивности свыше 2000 авт./ч толщиной слоя – 20,45 мм, фракции 1-3 мм, плотностью $1020 \text{ кг}/\text{м}^3$, при интенсивности от 1000-2000 авт./ч толщина сорбента – 18 мм, от 500-1000 авт./ч – 10 мм. Максимальная толщина сорбента «цеолит» должна составлять 20,45 мм, массой 16,38 г, плотностью цеолита $1020 \text{ кг}/\text{м}^3$, фракций 1-3 мм. Это также подтверждает разработанную конструкцию приточного клапана с очисткой воздуха.

8. Оптимальная толщина сорбента «активированного угля» при интенсивности свыше 2000 авт./ч – 21-23 мм, на время сорбции всего 168 часов (7 дней), масса – 110 г, расход воздуха $300 \text{ м}^3/\text{ч}$, на расход $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщина сорбента – 8 мм, масса – 36,5 г. При уменьшении интенсивности движения автотранспорта магистрали достаточно при $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщину слоя угля – 4 мм, масса – 28 г, при увеличении расхода воздуха до $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщина слоя угля – 12 мм, масса – 83 г, срок службы сорбента две недели, при уменьшении интенсивности движения от 500-1000 авт./ч сорбент можно менять раз в месяц: при $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщина слоя сорбента – 12 мм, массой 56 г.

9. Оптимальная толщина сорбента «силикагеля» при интенсивности свыше 2000 авт./ч – 7-22 мм, на время сорбции 240 часов (10 дней), масса от 4 до 12 г, расход воздуха от 100 до $300 \text{ м}^3/\text{час}$. При уменьшении интенсивности движения автотранспорта магистрали достаточно при $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщина слоя силикагеля – 5 мм, масса – 3,14 г, при увеличении расхода воздуха до $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ толщина слоя силикагеля – 21,55 мм, масса – 12,18 г, менять сорбент необходимо через две недели, при уменьшении интенсивности движения от 500-1000 авт./ч сорбент при максимальном заполнении 20 мм можно менять раз в месяц: при $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ необходимая толщина слоя сорбента – 11,21 мм, массой 6,34 г.

10. На основании теоретического обоснования выяснены технические параметры приточных клапанов с очисткой воздуха: оптимальная скорость 2,81 м/с, минимальный диаметр 0,1 м, расход воздуха от 55-300 м³/ч в зависимости от площади помещения, необходимые технические характеристики сорбентов: максимальной времени сорбции 1200 часов и высоты (толщины) слоя сорбента: для сорбента шунгит высота слоя от 6,93 мм до 20 мм, для сорбента «цеолит» от 10 до 20,45 мм в зависимости от расположения здания вблизи с магистралями различной интенсивности движения автотранспорта.

11. Разработан способ очистки от газообразных загрязнителей приточного воздуха помещений, включающий в себя его пропускание через сорбент шунгит, отличающийся тем, что осуществляют последовательное пропускание воздуха через слой сорбента шунгита, слой сорбента силикагеля, слой катализатора на основе диоксида марганца, слой сорбента цеолита массой в соотношении 0,5:0,6:1:0,8 соответственно, с определенным фракционным составом, где за единицу взята масса диоксида марганца, без перемешивания их масс: первый сорбент – шунгит Зажогинского месторождения, фракциями 1 мм, насыпной плотностью 1800 кг/м³, толщиной слоя 20,45 мм; второй сорбент – силикагель технический КСКГ, фракциями 2,8 мм, насыпной плотностью 760 кг/м³, толщиной слоя 21,55 мм, третий слой катализатора на основе диоксида марганца, фракциями 0,7-1 мм, насыпной плотностью 1400 кг/м³, толщиной слоя 20 мм; четвертый сорбент – цеолит Холинского месторождения, фракциями 1-3 мм, насыпной плотностью 1020 кг/м³, толщиной слоя 20,45 мм, при этом скорость пропускания воздуха 2,6-2,7 м/с.

Для увеличения эффективности очистки приточного воздуха по органическим веществам до 99,9% необходимо использовать фотокаталитическое окисление, согласно изобретению конструкции

приточного клапана с очисткой воздуха: на последнем этапе приточный воздух проходит через фотокаталитический фильтр, где газообразные вещества между тонкой пористой пластиной диоксида титана и двумя УФ-лампами окисляются до простых соединений (углекислый газ и парообразной воды). Две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая, расположены вертикально в ряд, для того чтобы УФ-излучение равномерно попадало на тонкую пористую пластину диоксида титана. Далее очищенный воздух поступает через щели пластикового оголовка прямоугольной формы во внутрь помещения со стороны В пластиковой трубы.

5.3. Построение математической модели изотерм адсорбции газообразных загрязнителей на твердых сорбентах загрузок фильтра приточных устройств при различных температурах наружного воздуха

В данном подразделе рассматривается разработка математической модели процесса адсорбции на границе раздела фаз твердое тело – газ, используя классические теории адсорбции с поправочными коэффициентами.

Модель должна решать задачу по нахождению количества воздуха (V), очищенного от примесей на адсорбере. Для решения этой задачи необходимо знать концентрацию примесей (C), содержащегося в воздухе, массу (m) адсорбента и его удельную активную поверхность, температуру (T), при которой будет протекать процесс адсорбции, и константы эмпирического уравнения Фрейндлиха (K и n), найденные экспериментально при данной температуре.

Вначале необходимо рассчитать изотерму адсорбции при различных концентрациях в пределах 1...10 (кг/м³). Для этого воспользуемся эмпирическим уравнением изотермы адсорбции Фрейндлиха:

$$\Gamma = k \cdot C^{1/n}, \quad (5.35)$$

где C – концентрацию примесей, содержащегося в воздухе, $\text{кг}/\text{м}^3$; K , n – константы эмпирического уравнения Фрейндлиха.

После подсчетов получим ряд значений Γ при различных концентрациях. Количество газа Q , которое может быть адсорбировано на адсорбенте, рассчитывается по формуле:

$$Q = g \cdot \Gamma_m, \quad (5.36)$$

где g – масса адсорбента (кг).

Зная Q , можно найти объем очищенного воздуха по формуле:

$$V = \frac{Q}{c}, \quad (5.37)$$

где c – концентрация газа в воздухе ($\text{м}^3/\text{кг}$).

Необходимо обратить внимание на правильность оценки области применимости математической модели. Поэтому перечислим допущения, принятые в математической модели.

1. Расчеты в модели ведутся с учетом того, что температура берется величиной постоянной ($T = \text{const}$). В данном эксперименте построение модели велось при постоянной температуре -32 ; $-27,5$; $-11,5$; 0 ; $+27,5$ $^{\circ}\text{C}$.

2. Так как в модели используется эмпирическое уравнение Фрейндлиха, то надо учитывать, что это уравнение не отражает особенностей адсорбционной изотермы в области низких и в области высоких давлений. Но для обширной области промежуточных давлений оно хорошо согласуется с опытными данными.

На рис. 5.2 показаны расчетные данные по математической модели изотерм адсорбции газа (оксида углерода (II), углеводородов алифатических, фенола, формальдегида) на активированном угле, шунгите, цеолите, силикагели в разработанной конструкции клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха при постоянной температуре согласно модели Фрейндлиха по табл. 5.18-5.25.

Таблица 5.18 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции на активированном угле при положительной температуре +27,5⁰С

М ³ /кг	Концентрация и СО на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
22222,22	0,000045	0,1403	2852,7	128,3	0,0058
18181,82	0,000055	0,1454	2427,1	109,2	0,0049
13333,33	0,000075	0,1536	1891,2	85,1	0,0038
11320,75	8,83333E-05	0,1581	1658,1	74,61	0,0034
9677,419	0,000103333	0,1626	1461,9	65,7	0,0029
8450,704	0,000118333	0,1665	1311,2	59,0	0,0027
7500	0,000133333	0,1700	1191,4	53,6	0,0024
6741,573	0,000148333	0,1733	1093,8	49,2	0,0022
6122,449	0,000163333	0,1762	1012,5	45,5	0,0021
5607,477	0,000178333	0,1789	943,7	42,4	0,0019
5172,414	0,000193333	0,1815	884,6	39,8	0,0018
4800	0,000208333	0,1839	833,2	37,4	0,0017
4477,612	0,000223333	0,1862	788,1	35,4	0,0016

Таблица 5.19 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции на активированном угле при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

М ³ /кг	Концентрация и СО на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
20408,16	0,000049	0,2085	4087,1	183,9	0,0090
19607,84	0,000051	0,2100	3958,7	178,1	0,0087
18867,92	0,000053	0,2114	3839,0	172,7	0,0084
18181,82	0,000055	0,2128	3727,3	167,7	0,0082
17543,86	0,000057	0,2141	3622,6	163,0	0,0079
16949,15	0,000059	0,2155	3524,4	158,5	0,0077
16393,44	0,000061	0,2167	3432,0	154,4	0,0075
15873,02	0,000063	0,2180	3344,8	150,5	0,0073
15384,62	0,000065	0,2192	3262,6	146,8	0,0071
14925,37	0,000067	0,2203	3184,7	143,3	0,0070
14492,75	0,000069	0,2215	3111,0	139,9	0,0068
14084,51	0,000071	0,2226	3041,0	136,8	0,0067
13698,63	0,000073	0,2237	2974,4	133,8	0,0065

На рис. 5.2, а построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции оксида углерода (II) на активированном угле при положительной температуре воздуха 27,5⁰С). Из табл. 5.18 видно, что с ростом концентрации СО объем очищенного

газа уменьшается от 0,00577688 до 0,00159598 м³ при положительной температуре (+27⁰С) и при отрицательной температуре (-11⁰С) объем очищенного воздуха от газа СО увеличивается от 0,00901206 до 0,00655872 м³. Предел адсорбции Г по СО при положительной температуре с ростом концентрации СО уменьшается от 0,186 кг/кг до 0,140 кг/кг (по модели Фрейндлиха), при отрицательной температуре с ростом концентрации СО от 0,223 до 0,209 кг/кг также уменьшается. При этом предел адсорбции СО на 17% больше при отрицательной температуре, чем при положительной температуре воздуха.

Таблица 5.20 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на активированном угле при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации и на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1204,819	0,00083	0,3217	593,2	26,7	0,0221
1190,476	0,00084	0,3224	587,7	26,5	0,0219
1123,596	0,00089	0,3257	561,9	25,2	0,0209
1094,891	0,000913333	0,3272	550,7	24,7	0,0205
1060,071	0,000943333	0,3290	537,1	24,1	0,0200
1027,397	0,000973333	0,3309	524,2	23,5	0,0195
996,6777	0,001003333	0,3326	512,0	23,0	0,0191
967,7419	0,001033333	0,3344	500,4	22,5	0,0186
940,4389	0,001063333	0,3361	489,5	22,0	0,0182
914,6341	0,001093333	0,3377	479,1	21,5	0,0178
890,2077	0,001123333	0,3393	469,1	21,1	0,0175
867,052	0,001153333	0,3409	459,6	20,6	0,0171
845,0704	0,001183333	0,3425	450,5	20,2	0,0168

Таблица 5.21 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на активированном угле при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _г (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
5780,347	0,000173	0,3365	3013,1	135,5	0,0234
5714,286	0,000175	0,3371	2986,4	134,3	0,0232
5586,592	0,000179	0,338	2934,6	132,0	0,0228
5405,405	0,000185	0,3405	2860,5	128,7	0,0222
5319,149	0,000188	0,3414	2825,1	127,1	0,0219
5208,333	0,000192	0,3427	2779,4	125,0	0,0216
5102,041	0,000196	0,343	2735,3	123,0	0,0212
5000	0,0002	0,3452	2692,9	121,1	0,0209
4901,961	0,000204	0,3464	2651,9	119,3	0,0206
4807,692	0,000208	0,3476	2612,3	117,5	0,0203
4716,981	0,000212	0,3487	2574,1	115,8	0,0200
4629,63	0,000216	0,3499	2537,1	114,1	0,0197
4545,455	0,00022	0,3510	2501,4	112,5	0,0194

На рис. 5.2, б построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции углеводородов алифатических на активированном угле при положительной температуре воздуха +27,5⁰С). В зимний период при отрицательных температурах предел адсорбции по углеводородам алифатическим в фильтрах клапана больше, чем в летний период на 2,3%.

Таблица 5.22 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на активированном угле при положительной температуре (+27,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _г (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
22222,22	0,000045	0,1924	842,23	37,90	0,0017
21739,13	0,000046	0,1931	827,24	37,22	0,0016
21276,6	0,000047	0,1939	812,82	36,57	0,0016
20408,16	0,000049	0,1953	785,60	35,35	0,00159
20408,16	0,000049	0,1953	785,60	35,35	0,00159
20000	0,00005	0,1960	772,73	34,77	0,00156
19607,84	0,000051	0,1967	760,33	34,21	0,00153
19230,77	0,000052	0,1974	748,36	33,67	0,00151
18867,92	0,000053	0,1980	736,80	33,15	0,00149
18518,52	0,000054	0,1987	725,63	32,65	0,00146
18181,82	0,000055	0,1993	714,83	32,16	0,00144
17857,14	0,000056	0,2000	704,38	31,69	0,00142
17543,86	0,000057	0,2006	694,26	31,24	0,00140

Таблица 5.23 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на активированном угле при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
22222,22	0,000045	0,1924	7336,65	330,14	0,0017
21739,13	0,000046	0,1931	7225,42	325,14	0,0017
21276,6	0,000047	0,1939	1041,68	46,87	0,00024
20408,16	0,000049	0,1953	839,57	37,78	0,00020
20408,16	0,000049	0,1953	658,29	29,62	0,00015
20000	0,00005	0,1960	546,07	24,57	0,00013
19607,84	0,000051	0,1967	469,16	21,11	0,00011
19230,77	0,000052	0,1974	412,88	18,57	9,84721E-05
18867,92	0,000053	0,1980	369,73	16,63	8,81826E-05
18518,52	0,000054	0,1987	335,52	15,09	8,00215E-05
18181,82	0,000055	0,1993	307,65	13,84	7,33757E-05
17857,14	0,000056	0,2000	284,48	12,80	6,7849E-05
17543,86	0,000057	0,2006	264,87	11,91	6,31738E-05

На рис. 5.2, в построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции фенола на активированном угле при температуре воздуха 27,5⁰С), где видно, что предел адсорбции практически одинаков в летний и зимний период от 0,192 до 0,200.

Таблица 5.24 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на активированном угле при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
2222222	0,00000045	0,0066	1279,22	57,56	0,00259043
2173913	0,00000046	0,006639	1256,27	56,53	0,00254396
2083333	0,00000048	0,006689	1213,00	54,58	0,00245633
2083333	0,00000048	0,006689	1213,00	54,58	0,00245633
2040816	0,00000049	0,006713	1192,58	53,66	0,00241497
2000000	0,0000005	0,006737	1172,90	52,78	0,00237513
1960784	0,00000051	0,00676	1153,93	51,92	0,00233670
1923077	0,00000052	0,006784	1135,62	51,10	0,00229963
1886792	0,00000053	0,006806	1117,94	50,30	0,00226384
1851852	0,00000054	0,006829	1100,86	49,53	0,00222926
1818182	0,00000055	0,006851	1084,35	48,79	0,00219582
1785714	0,00000056	0,006873	1068,38	48,07	0,00216348
1754386	0,00000057	0,006894	1052,92	47,38	0,00213217

Таблица 5.25 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на активированном угле при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1886792	0,00000053	0,007667	1259,39	56,67	3,00365E-05
1818182	0,00000055	0,007717	1221,55	54,96	2,9134E-05
1639344	0,00000061	0,007859	1121,70	50,47	2,67527E-05
1694915	0,00000059	0,007813	1152,92	51,88	2,74974E-05
1639344	0,00000061	0,007859	1121,70	50,47	2,67527E-05
1587302	0,00000063	0,007904	1092,29	49,15	2,60513E-05
1538462	0,00000065	0,007948	1064,54	47,90	2,53894E-05
1492537	0,00000067	0,007991	1038,30	46,72	2,47635E-05
1449275	0,00000069	0,008032	1013,45	45,60	2,41709E-05
1408451	0,00000071	0,008073	989,88	44,54	2,36087E-05
1369863	0,00000073	0,008112	967,49	43,53	2,30748E-05
1333333	0,00000075	0,008151	946,19	42,57	2,25668E-05
1298701	0,00000077	0,008189	925,91	41,66	2,2083E-05

Анализ табл.5.24, 5.25 показал, что предел сорбции на активированном угле формальдегида в зимний период возрастает от 0,192 до 0,200 кг/кг, в теплый период от 0,0066 до 0,0069 кг/кг.

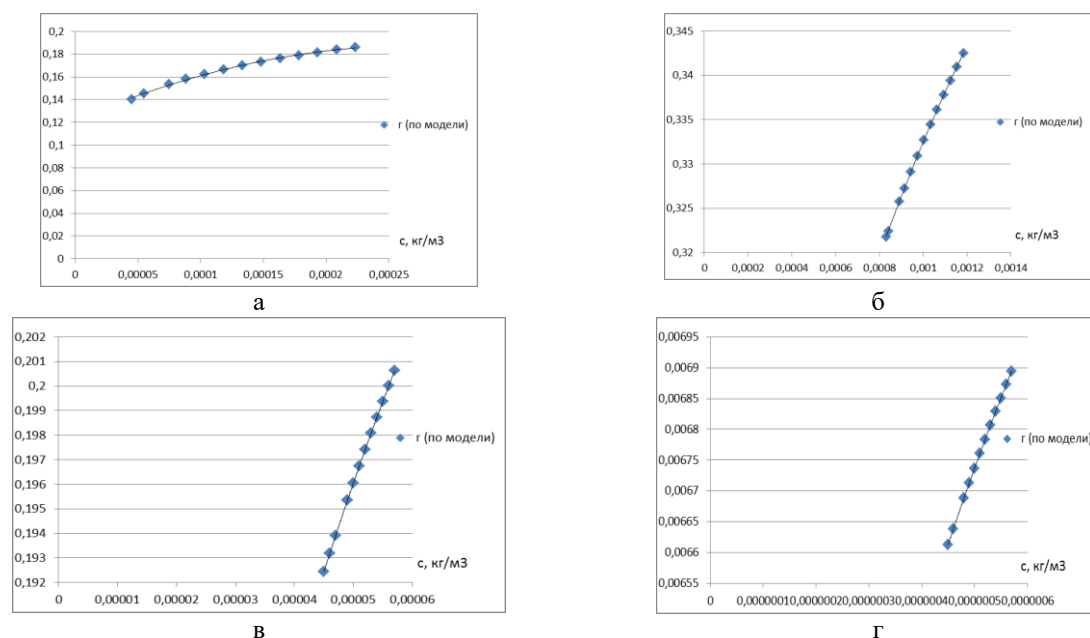


Рисунок 5.2 – Изотермы адсорбции газов на активированном угле при положительной температуре воздуха +27,5⁰С: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (С1-С5); в – фенола; г – формальдегида

На рис. 5.2, *з* построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции формальдегида на активированном угле при температуре воздуха + 27,5 °С).

Аналогичным образом построены изотермы адсорбции газов на активированном угле при отрицательной температуре воздуха -11,5°С (рис.5.3).

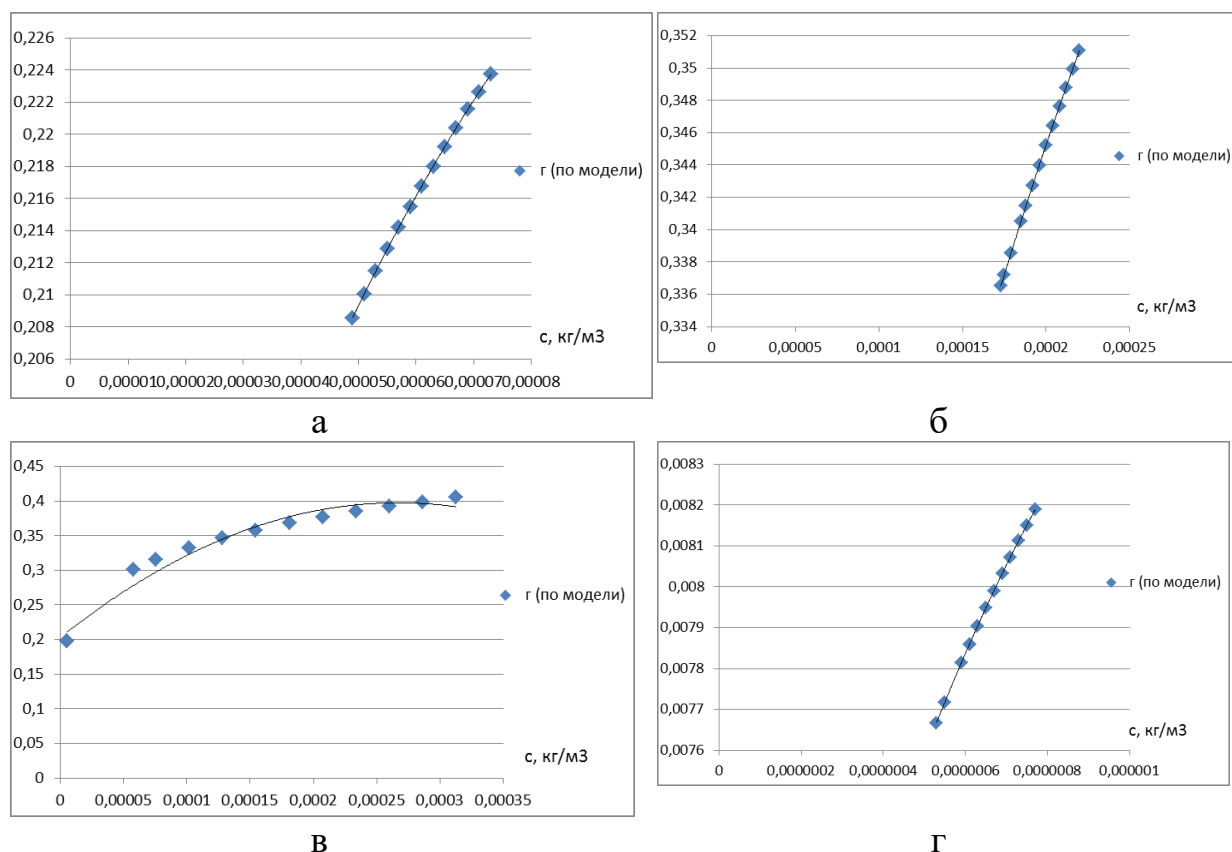


Рисунок 5.3 – Изотермы адсорбции газов на активированном угле при отрицательной температуре воздуха -11,5 °С: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

При сравнительном анализе сорбции на активированном угле газообразных загрязнителей выявлено, что: предел адсорбции при отрицательных температурах воздуха увеличивается для оксида углерода (II) CO с 0,186 до 0,224 кг/кг, для углеводородов алифатических с 0,343 до 0,351068 кг/кг, для формальдегида увеличивается с 0,0069 до 0,0082 кг/кг, для фенола увеличивается с 0,206 до 0,405 кг/кг.

Значение величины адсорбции зависит от температуры. С ростом температуры запас энергии молекул газа увеличивается, вследствие чего среднее время пребывания молекул адсорбтива на поверхности адсорбента – угля уменьшается. Построены изотермы адсорбции газов на поверхности твердое вещество-газ (активированный уголь – СО; активированный уголь – углеводороды алифатические: активированный уголь – фенол; активированный уголь – формальдегид).

Результаты показали, что лучше всего поглощается активированным углем оксид углерода (II): объем адсорбированного газа от 128 до 35 кг, объем очищенного воздуха от СО от 0,00578 до 0,00159 м³, затем примерно одинаковую сорбцию имеют газы формальдегид и углеводороды алифатические, однако предел адсорбции достаточно мал от 0,006 до 0,18 кг/кг, количество адсорбированного газа формальдегида от 57 до 47 кг, углеводородов алифатических от 26 до 20 кг. Сорбция к фенолу тоже достаточно низкая, объем очищенного воздуха от фенола от 0,0025 до 0,0021 м³, количество адсорбированного фенола от 37 до 31 кг.

Таблица 5.26 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции СО на силикагеле при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации СО на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
33333,33	0,00003	0,191277	22317,95	1004,30	0,0301
25000	0,00004	0,20123	17610,08	792,45	0,0237
16666,67	0,00006	0,216144	12611,03	567,49	0,0170
14285,71	0,00007	0,222099	11107,69	499,84	0,0149
12500	0,00008	0,227391	9951,13	447,80	0,0134
11111,11	0,00009	0,232163	9031,40	406,41	0,0121
10000	0,00001	0,157591	55158,75	2482,14	0,0744
5000	0,0002	0,267265	4680,40	210,61	0,00631
7486,631	0,000133571	0,248902	6525,07	293,62	0,00880
6796,117	0,000147143	0,253185	6025,47	271,14	0,0081
6222,222	0,000160714	0,257155	5603,41	252,15	0,0075
5737,705	0,000174286	0,260857	5241,72	235,87	0,0070
5323,194	0,000187857	0,264329	4928,00	221,76	0,0066

Таблица 5.27 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции СО на силикагеле при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации СО на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
33333,33	0,00003	0,302855	35336,76	1590,15	0,0477
25000	0,00004	0,318614	27882,62	1254,71	0,0376
16666,67	0,00006	0,342228	19967,46	898,53	0,0269
14285,71	0,00007	0,351657	17587,17	791,42	0,0237
12500	0,00008	0,360036	15755,96	709,01	0,0212
11111,11	0,00009	0,367591	14299,71	643,48	0,0193
100000	0,00001	0,249519	87334,70	3930,06	0,1179
5000	0,0002	0,423169	7410,64	333,47	0,0100
7486,631	0,000133571	0,394095	10331,37	464,91	0,0139
6796,117	0,000147143	0,400877	9540,33	429,31	0,0128
6222,222	0,000160714	0,407162	8872,07	399,24	0,0119
5737,705	0,000174286	0,413024	8299,39	373,47	0,0112
5323,194	0,000187857	0,418521	7802,67	351,12	0,0105

На рис. 5.3, а построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции оксида углерода (II) на силикагеле при температуре воздуха +27,5⁰С). Из табл. 5.27 видно, что с ростом концентрации СО объем очищенного воздуха от газа уменьшается от 0,0301 до 0,0066 м³.

Таблица 5.28 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на силикагеле при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1204,819	0,00083	0,251897	314,38	14,14	0,0117
1190,476	0,00084	0,25243	311,30	14,00	0,0116
1123,596	0,00089	0,255017	296,83	13,35	0,0110
1094,891	0,000913333	0,256183	290,58	13,07	0,0108
1060,071	0,000943333	0,257647	282,95	12,73	0,0105
1027,397	0,000973333	0,259073	275,76	12,40	0,0102
996,6777	0,001003333	0,260464	268,96	12,10	0,0100
967,7419	0,001033333	0,261821	262,52	11,81	0,0098
940,4389	0,001063333	0,263145	256,41	11,53	0,0095
914,6341	0,001093333	0,264439	250,61	11,27	0,0093
890,2077	0,001123333	0,265704	245,09	11,02	0,0091
867,052	0,001153333	0,266942	239,83	10,79	0,0089
845,0704	0,001183333	0,268154	234,82	10,56	0,0087

Таблица 5.29 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на силикагеле при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1204,819	0,00083	0,280522	350,10	15,75	0,0130
1190,476	0,00084	0,281115	346,67	15,60	0,0129
1123,596	0,00089	0,283996	330,56	14,87	0,0123
1094,891	0,000913333	0,285295	323,60	14,56	0,0120
1060,071	0,000943333	0,286925	315,11	14,18	0,0117
1027,397	0,000973333	0,288514	307,10	13,81	0,0114
996,6777	0,001003333	0,290062	299,52	13,47	0,0111
967,7419	0,001033333	0,291573	292,35	13,15	0,0109
940,4389	0,001063333	0,293048	285,55	12,84	0,0106
914,6341	0,001093333	0,294489	279,09	12,55	0,0104
890,2077	0,001123333	0,295898	272,94	12,28	0,0101
867,052	0,001153333	0,297276	267,09	12,01	0,0099
845,0704	0,001183333	0,298626	261,51	11,76	0,0097

На рис. 5.3, б построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции углеводородов алифатических на силикагеле при температуре воздуха +27,5⁰С).

Таблица 5.30 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на силикагеле при положительной температуре (+27,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
22222,22	0,000045	0,148953	3313,53	149,10	0,0067
21739,13	0,000046	0,149532	3254,09	146,43	0,0065
21276,6	0,000047	0,1501	3196,95	143,86	0,0064
20408,16	0,000049	0,151207	3089,09	139,00	0,0062
20408,16	0,000049	0,151207	3089,09	139,00	0,0062
20000	0,00005	0,151746	3038,11	136,71	0,0061
19607,84	0,000051	0,152277	2988,96	134,50	0,0060
19230,77	0,000052	0,1528	2941,54	132,36	0,0059
18867,92	0,000053	0,153314	2895,75	130,30	0,0058
18518,52	0,000054	0,15382	2851,51	128,31	0,0057
18181,82	0,000055	0,154318	2808,74	126,39	0,0056
17857,14	0,000056	0,154809	2767,37	124,53	0,0056
17543,86	0,000057	0,155293	2727,32	122,72	0,0055

Таблица 5.31 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на силикагеле при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
22222,22	0,000045	0,155802	3465,87967	155,9645853	0,00701840
21739,13	0,000046	0,156407	3403,70351	153,1666583	0,0068925
21276,6	0,000047	0,157001	3343,94448	150,4775019	0,00677148
20408,16	0,000049	0,158159	3231,11909	145,4003592	0,00654301
20408,16	0,000049	0,158159	3231,11909	145,4003592	0,00654301
20000	0,00005	0,158723	3177,80015	143,0010071	0,00643504
19607,84	0,000051	0,159279	3126,39115	140,687602	0,00633094
19230,77	0,000052	0,159825	3076,78819	138,4554689	0,00623049
18867,92	0,000053	0,160363	3028,89490	136,3002706	0,00613351
18518,52	0,000054	0,160892	2982,62172	134,2179775	0,00603981
18181,82	0,000055	0,161413	2937,88534	132,2048405	0,00594921
17857,14	0,000056	0,161927	2894,60815	130,2573671	0,00586158
17543,86	0,000057	0,162433	2852,71776	128,3722993	0,00577675

На рис. 5.3, в построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции фенола на силикагеле при температуре воздуха +27,5⁰С).

Таблица 5.32 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на силикагеле при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
2222222	0,00000045	0,015962	9577,26623	430,9769806	0,00019394
2173913	0,00000046	0,016024	9405,44546	423,2450459	0,00019046
2083333	0,00000048	0,016145	9081,44893	408,665202	0,00018389
2083333	0,00000048	0,016145	9081,44893	408,665202	0,00018389
2040816	0,00000049	0,016204	8928,51661	401,7832477	0,00018080
2000000	0,0000005	0,016261	8781,17220	395,1527492	0,00017781
1960784	0,00000051	0,016318	8639,10578	388,7597602	0,00017494
1923077	0,00000052	0,016374	8502,03024	382,5913612	0,00017216
1886792	0,00000053	0,016429	8369,67926	376,6355668	0,00016948
1851852	0,00000054	0,016484	8241,80536	370,8812413	0,00016689
1818182	0,00000055	0,016537	8118,17832	365,3180247	0,00016439
1785714	0,00000056	0,01659	7998,58367	359,9362653	0,00016197
1754386	0,00000057	0,016642	7882,82133	354,7269601	0,00015962

Таблица 5.33 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на силикагеле при отрицательной температуре ($-11,5^{\circ}\text{C}$)

$\text{м}^3/\text{кг}$	Концентрации на входе c , $\text{кг}/\text{м}^3$	Γ (по модели)	Γ_T (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м^3
2222222	0,00000045	0,021283	12769,6883	574,6359742	0,00025858
2173913	0,00000046	0,021365	12540,5939	564,3267279	0,00025394
2083333	0,00000048	0,021526	12108,5985	544,886936	0,00024519
2083333	0,00000048	0,021526	12108,5985	544,886936	0,00024519
2040816	0,00000049	0,021605	11904,6888	535,7109969	0,00024107
2000000	0,0000005	0,021682	11708,2296	526,8703323	0,00023709
1960784	0,00000051	0,021758	11518,8077	518,3463469	0,00023325
1923077	0,00000052	0,021832	11336,0403	510,121815	0,00022955
1886792	0,00000053	0,021906	11159,5723	502,1807557	0,00022598
1851852	0,00000054	0,021978	10989,0738	494,5083217	0,00022252
1818182	0,00000055	0,022049	10824,2377	487,0906996	0,00021919
1785714	0,00000056	0,02212	10664,7782	479,9150204	0,00021596
1754386	0,00000057	0,022189	10510,4284	472,9692801	0,00021283

На рис. 5.4, ε построена изотерма Фрейндлиха по результатам экспериментальных данных (изотерма адсорбции формальдегида на силикагеле при температуре воздуха $+27,5^{\circ}\text{C}$).

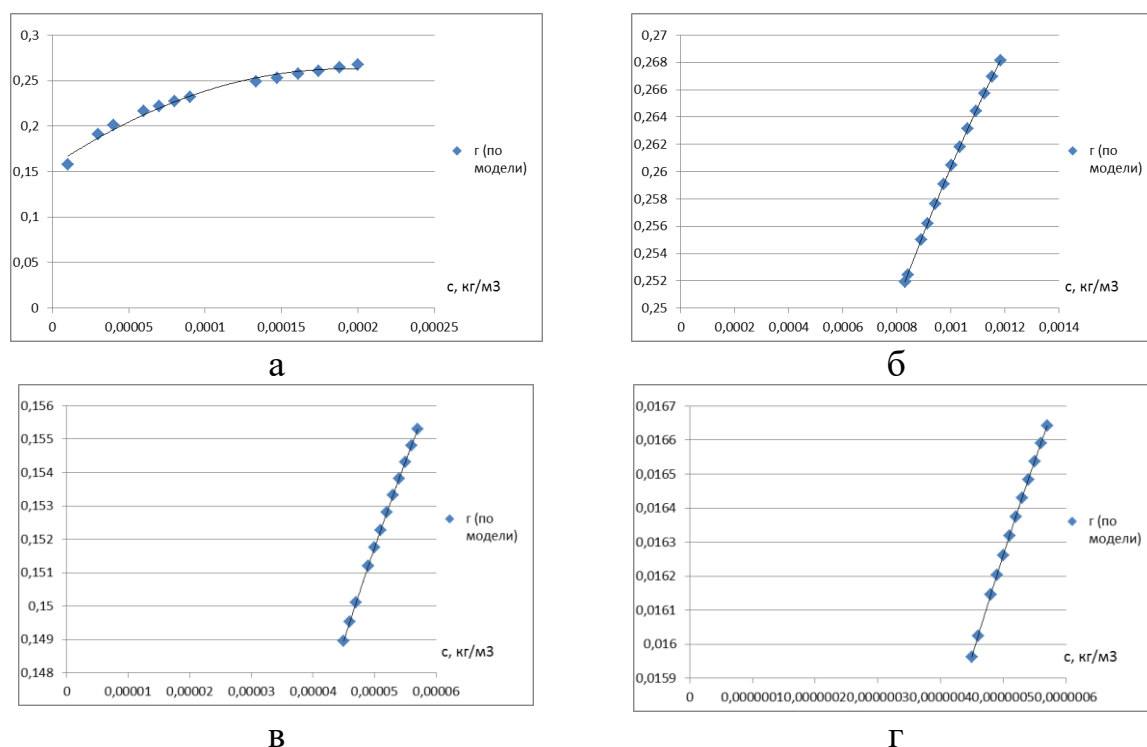


Рисунок 5.4 – Изотермы адсорбции газов на силикагеле при положительной температуре воздуха $+27,5^{\circ}\text{C}$: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C₁-C₅); в – фенола; г – формальдегида

Аналогичным образом построены изотермы адсорбции газов на силикагеле при отрицательной температуре воздуха $-11,5^{\circ}\text{C}$ (рис.5.5).

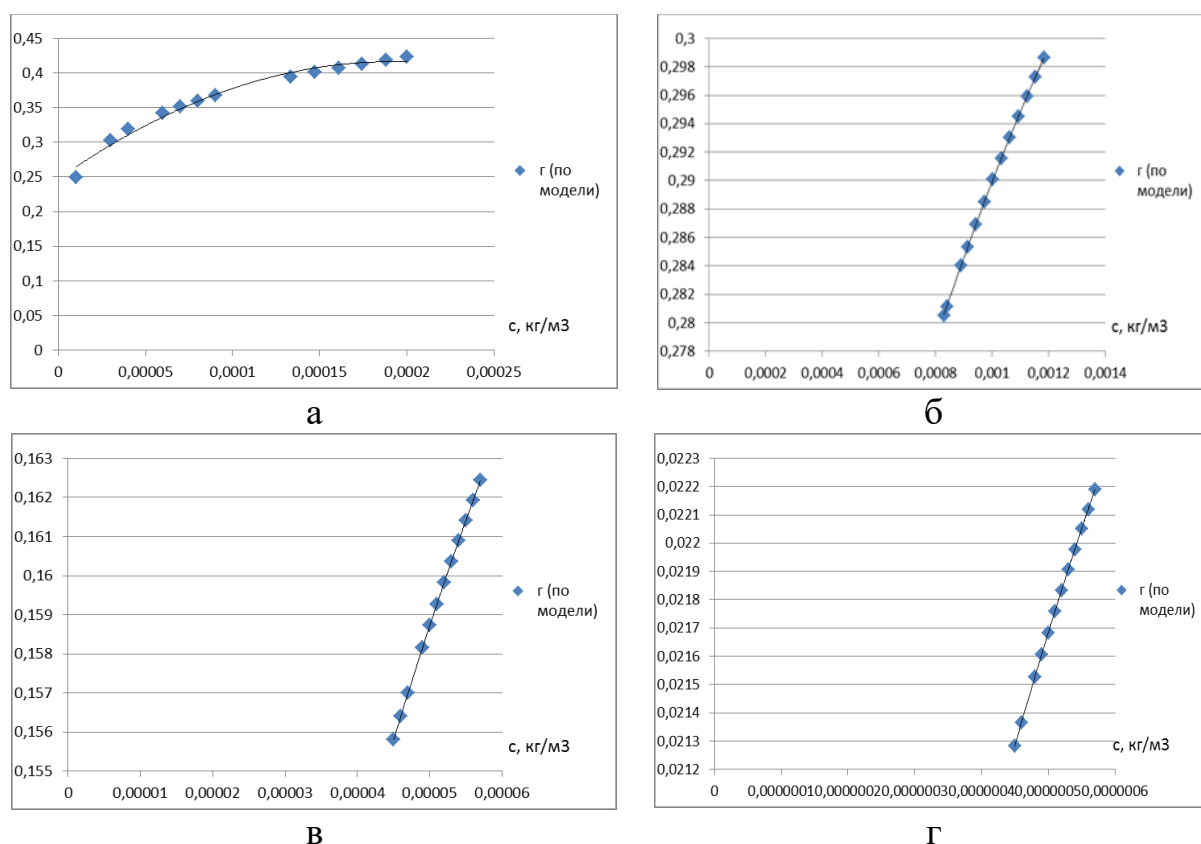


Рисунок 5.5 – Изотермы адсорбции газов на силикагели при отрицательной температуре воздуха $-11,5^{\circ}\text{C}$: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте силикагеле при различных температурах выяснено, что предел адсорбции при отрицательных температурах увеличился (рис.5.4-5.5). Так, при отрицательных температурах предел адсорбции для CO увеличился с 0,264 до 0,4185 кг/кг; для углеводородов алифатических с 0,268 до 0,299, для формальдегида с 0,017 до 0,022. Для фенола предел адсорбции при отрицательных температурах становится больше, чем при положительных температурах с 0,155 до 0,162 кг/кг. Наилучшей сорбцией силикагель обладает к оксиду углерода (II), предел адсорбции 0,41 кг/кг.

Таблица 5.34 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции оксида углерода (II) на шунгите при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации СО на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
33333,33	0,00003	0,55789	65094,0395	2929,231779	0,131815431
25000	0,00004	0,586921	51362,7339	2311,323029	0,104009537
16666,67	0,00006	0,630419	36782,1779	1655,198006	0,074483911
14285,71	0,00007	0,64779	32397,4311	1457,8844	0,065604799
12500	0,00008	0,663223	29024,1523	1306,086854	0,058773909
11111,11	0,00009	0,677142	26341,5873	1185,371431	0,053341715
100000	0,00001	0,45964	160879,715	7239,587183	0,325781427
5000	0,0002	0,779523	13651,1931	614,3036924	0,027643666
7486,631	0,000133571	0,725964	19031,4806	856,4166278	0,038538749
6796,117	0,000147143	0,738457	17574,2968	790,8433595	0,035587952
6222,222	0,000160714	0,750035	16343,2872	735,4479282	0,033095157
5737,705	0,000174286	0,760834	15288,3574	687,9760856	0,030958924
5323,194	0,000187857	0,77096	14373,3457	646,8005567	0,029106025

Таблица 5.35 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции оксида углерода (II) на шунгите при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации и СО на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
20408,16	0,000049	0,834245	59599,1343	2681,961044	0,131416112
19607,84	0,000051	0,84015	57667,6786	2595,045538	0,127157252
18867,92	0,000053	0,845868	55869,5959	2514,131817	0,123192479
18181,82	0,000055	0,851411	54191,1464	2438,60159	0,119491497
17543,86	0,000057	0,856791	52620,4396	2367,919785	0,116028088
16949,15	0,000059	0,862016	51147,131	2301,620895	0,112779442
16393,44	0,000061	0,867099	49762,1766	2239,297949	0,109725617
15873,02	0,000063	0,872045	48457,6337	2180,593517	0,106849099
15384,62	0,000065	0,876864	47226,4964	2125,19234	0,104134441
14925,37	0,000067	0,881562	46062,5608	2072,815239	0,101567963
14492,75	0,000069	0,886146	44960,3124	2023,21406	0,099137505
14084,51	0,000071	0,890622	43914,8320	1976,167443	0,09683222
13698,63	0,000073	0,894996	42921,7172	1931,477278	0,094642402

Таблица 5.36 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на шунгите при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _T (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1204,819	0,00083	0,296266	369,757139	16,63907125	0,01381043
1190,476	0,00084	0,296892	366,131413	16,47591358	0,01367501
1123,596	0,00089	0,299934	349,121423	15,71046403	0,01303968
1094,891	0,000913333	0,301306	341,766508	15,3794929	0,01276498
1060,071	0,000943333	0,303028	332,799026	14,97595617	0,01243004
1027,397	0,000973333	0,304706	324,337047	14,59516711	0,01211399
996,6777	0,001003333	0,306341	316,337776	14,23519992	0,01181521
967,7419	0,001033333	0,307937	308,763181	13,89434315	0,01153230
940,4389	0,001063333	0,309495	301,579343	13,57107046	0,01126399
914,6341	0,001093333	0,311017	294,755911	13,26401603	0,01100913
890,2077	0,001123333	0,312505	288,265641	12,97195388	0,01076672
867,052	0,001153333	0,31396	282,084005	12,69378023	0,01053584
845,0704	0,001183333	0,315385	276,188856	12,42849856	0,01031565

Таблица 5.37 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на шунгите при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _T (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
5780,347	0,000173	0,333245	1994,04544	89,73204496	0,015523643
5714,286	0,000175	0,333921	1975,25984	88,88669291	0,015377397
5586,592	0,000179	0,335254	1938,83890	87,24775071	0,01509386
5405,405	0,000185	0,337209	1886,90719	84,9108238	0,014689572
5319,149	0,000188	0,338167	1862,07697	83,79346401	0,014496269
5208,333	0,000192	0,339424	1830,07252	82,35326363	0,014247114
5102,041	0,000196	0,340661	1799,26140	80,96676306	0,01400725
5000	0,0002	0,341876	1769,57609	79,63092426	0,013776149
4901,961	0,000204	0,343072	1740,95416	78,34293733	0,013553328
4807,692	0,000208	0,344249	1713,33776	77,10019938	0,013338334
4716,981	0,000212	0,345407	1686,67323	75,90029559	0,013130751
4629,63	0,000216	0,346547	1660,91072	74,74098244	0,01293019
4545,455	0,00022	0,34767	1636,00383	73,62017263	0,012736289

Таблица 5.38 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на шунгите при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _T (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1	2	3	4	5	6
22222,22	0,000045	0,171228	3809,03984	171,4067931	0,007713306
21739,13	0,000046	0,171893	3740,70757	168,3318407	0,007574934

Продолжение таблицы 5.38

1	2	3	4	5	6
21276,6	0,000047	0,172546	3675,03173	165,3764281	0,00744194
20408,16	0,000049	0,173818	3551,03539	159,7965926	0,007190847
20408,16	0,000049	0,173818	3551,03539	159,7965926	0,007190847
20000	0,00005	0,174439	3492,43729	157,1596782	0,007072186
19607,84	0,000051	0,175049	3435,93823	154,6172206	0,006957776
19230,77	0,000052	0,175649	3381,42404	152,1640818	0,006847384
18867,92	0,000053	0,17624	3328,78878	149,7954952	0,006740798
18518,52	0,000054	0,176822	3277,93404	147,5070322	0,006637817
18181,82	0,000055	0,177395	3228,76827	145,2945725	0,006538256
17857,14	0,000056	0,17796	3181,20617	143,1542778	0,006441943
17543,86	0,000057	0,178516	3135,16816	141,0825676	0,006348716

Таблица 5.39 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на шунгите при отрицательной температуре $-11,5^{\circ}\text{C}$

$\text{м}^3/\text{кг}$	Концентрации на входе с, $\text{кг}/\text{м}^3$	Γ (по модели)	$\Gamma\text{т}$ (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м^3
188679,2	0,0000053	0,117429	22178,6702	998,0401598	0,005289614
185185,2	0,0000054	0,117817	21839,8214	982,7919667	0,005208799
17241,38	0,000058	0,179064	3090,57995	139,0760978	0,000737103
13227,51	0,0000756	0,18763	2484,55332	111,8048995	0,000592566
9808,73	0,00010195	0,197789	1942,19804	87,39891215	0,000463214
7794,232	0,0001283	0,205971	1607,20112	72,32405047	0,000383318
6466,214	0,00015465	0,212869	1378,04334	62,01195054	0,000328663
5524,862	0,000181	0,218857	1210,58160	54,47617239	0,000288724
4822,763	0,00020735	0,224165	1082,40058	48,70802652	0,000258153
4278,99	0,0002337	0,228944	980,857613	44,1385926	0,000233935
3845,414	0,00026005	0,233298	898,257100	40,42156953	0,000214234
3491,62	0,0002864	0,237302	829,634934	37,33357205	0,000197868
3197,442	0,00031275	0,241014	771,639177	34,72376301	0,000184036

Таблица 5.40 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на шунгите при положительной температуре $+27,5^{\circ}\text{C}$

$\text{м}^3/\text{кг}$	Концентрации на входе с, $\text{кг}/\text{м}^3$	Γ (по модели)	$\Gamma\text{т}$ (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м^3
1	2	3	4	5	6
2222222	0,00000045	0,020523	12313,6280	554,1132608	0,00024935
2173913	0,00000046	0,020602	12092,7156	544,1722019	0,00024487
2083333	0,00000048	0,020758	11676,1486	525,4266883	0,00023644
2083333	0,00000048	0,020758	11676,1486	525,4266883	0,00023644
2040816	0,00000049	0,020833	11479,5213	516,5784613	0,00023246
2000000	0,0000005	0,020908	11290,0785	508,0535347	0,00022862
1960784	0,00000051	0,020981	11107,4217	499,8339774	0,00022492
1923077	0,00000052	0,021053	10931,1817	491,9031787	0,00022135

Продолжение таблицы 5.40

1	2	3	4	5	6
1886792	0,00000053	0,021123	10761,0161	484,2457287	0,00021791
1851852	0,00000054	0,021193	10596,6068	476,8473103	0,00021458
1818182	0,00000055	0,021262	10437,6578	469,6946032	0,00021136
1785714	0,00000056	0,02133	10283,8932	462,7751983	0,00020824
1754386	0,00000057	0,021396	10135,056	456,0775201	0,00020523

Таблица 5.41 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на шунгите при отрицательной температуре $-11,5^{\circ}\text{C}$

$\text{м}^3/\text{кг}$	Концентрации на входе c , $\text{кг}/\text{м}^3$	Γ (по модели)	Γ_t (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м^3
1886792	0,00000053	0,021123	10761,0161	484,2457287	0,00025665
1818182	0,00000055	0,021262	10437,6578	469,6946032	0,000248938
1639344	0,00000061	0,021654	9584,40097	431,2980439	0,000228588
1694915	0,00000059	0,021527	9851,21780	443,3048011	0,000234952
1639344	0,00000061	0,021654	9584,40097	431,2980439	0,000228588
1587302	0,00000063	0,021777	9333,07534	419,9883905	0,000222594
1538462	0,00000065	0,021898	9095,89126	409,315107	0,000216937
1492537	0,00000067	0,022015	8871,65355	399,2244102	0,000211589
1449275	0,00000069	0,022129	8659,29985	389,6684934	0,000206524
1408451	0,00000071	0,022241	8457,8825	380,6047125	0,000201721
1369863	0,00000073	0,02235	8266,55336	371,9949015	0,000197157
1333333	0,00000075	0,022457	8084,55100	363,8047953	0,000192817
1298701	0,00000077	0,022562	7911,18978	356,0035402	0,000188682

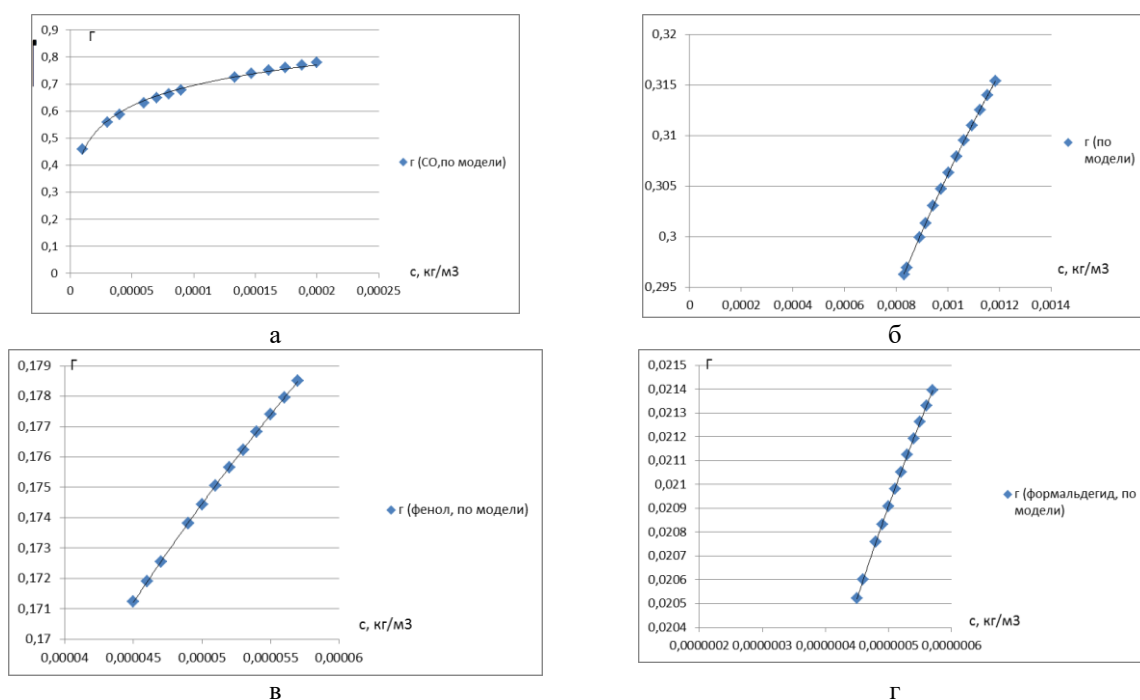


Рисунок 5.6 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте шунгите при положительной температуре воздуха $+27,5^{\circ}\text{C}$: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

Построены изотермы адсорбции газов на сорбенте шунгите при отрицательных температурах воздуха - 11,5⁰С (рис.5.7).

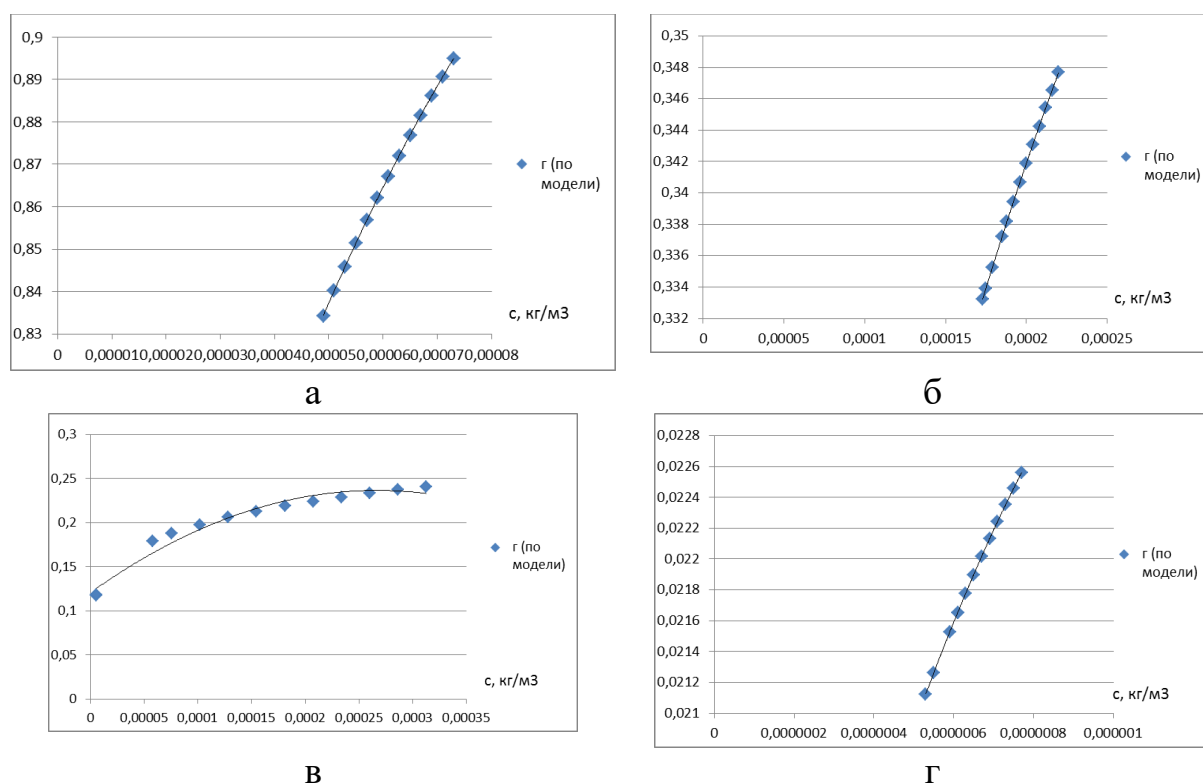


Рисунок 5.7 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте шунгите при отрицательной температуре воздуха -11,5⁰С: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (С1-С5); в – фенола; г – формальдегида

При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте шунгите при различных температурах выяснено, что предел адсорбции практически не изменяется (рис.5.6-5.7). Так, при отрицательных температурах предел адсорбции для СО увеличился с 0,771 до 0,895 кг/кг; для углеводородов алифатических с 0,315 до 0,348, для формальдегида с 0,021 до 0,023. Для фенола предел адсорбции при отрицательных температурах становится больше, чем при положительных температурах с 0,179 до 0,241 кг/кг.

Построены изотермы адсорбции газов на поверхности твердое вещество-газ (шунгит – СО; шунгит – углеводороды алифатические; шунгит – фенол; шунгит – формальдегид).

Анализ результатов показал, что лучше всего поглощается сорбентом шунгитом также газ оксид углерода (II) CO: объем адсорбированного газа от 16 до 12 кг, объем очищенного воздуха от CO от 0,13 до 0,029 м³, затем второе место по сорбции у углеводородов алифатических с объемом очищенного воздуха от них с 0,0138 до 0,0103 м³, объем очищенного воздуха от фенола составил всего от 0,0077 до 0,006 м³. Сорбция к формальдегиду достаточно низкая, объем очищенного воздуха от формальдегида от 0,00024 м³ до 0,000205 м³, предел адсорбции 0,021 кг/кг.

Таблица 5.42 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции оксида углерода (II) на цеолите при положительной температуре +27,5 °С

м ³ /кг	Концентрации CO на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
13333,33	0,000075	0,140511	1405,19	63,23	0,00474252
11764,71	0,000085	0,143647	1267,55	57,03	0,004277988
11111,11	0,00009	0,145102	1209,26	54,41	0,004081265
9523,81	0,000105	0,1491	1065,08	47,92	0,003594658
8695,652	0,000115	0,151511	988,20	44,46	0,003335177
8000	0,000125	0,153755	922,61	41,51	0,003113833
7407,407	0,000135	0,155856	865,95	38,96	0,002922593
6896,552	0,000145	0,157832	816,46	36,74	0,002755559
6451,613	0,000155	0,159699	772,82	34,77	0,002608293
6060,606	0,000165	0,161469	734,04	33,03	0,002477394
5714,286	0,000175	0,163153	699,32	31,46	0,002360208
5405,405	0,000185	0,16476	668,03	30,06	0,00225463
5128,205	0,000195	0,166296	639,69	28,78	0,002158973

Таблица 5.43 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции оксида углерода (II) на цеолите при отрицательной температуре (-11,5 °С)

м ³ /кг	Концентрации CO на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1	2	3	4	5	6
20408,16	0,000049	0,170325	2607,11	117,31	0,00574868
19607,84	0,000051	0,171531	2522,60	113,51	0,00556235
18867,92	0,000053	0,172698	2443,93	109,97	0,00538888
18181,82	0,000055	0,17383	2370,50	106,67	0,00522696
17543,86	0,000057	0,174928	2301,78	103,58	0,00507543

Продолжение таблицы 5.43

1	2	3	4	5	6
16949,15	0,000059	0,175995	2237,32	100,67	0,0049333
16393,44	0,000061	0,177033	2176,73	97,95	0,00479969
15873,02	0,000063	0,178043	2119,65	95,38	0,00467383
15384,62	0,000065	0,179026	2065,78	92,96	0,00455506
14925,37	0,000067	0,179986	2014,86	90,66	0,00444278
14492,75	0,000069	0,180922	1966,64	88,49	0,00433644
14084,51	0,000071	0,181835	1920,89	86,44	0,00423558
13698,63	0,000073	0,182728	1877,44	84,48	0,00413977

Таблица 5.44 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на цеолите при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем газа, м ³
1204,819	0,00083	0,317734	425,31	19,11	0,015885451
1190,476	0,00084	0,318406	421,14	18,95	0,015729695
1123,596	0,00089	0,321669	401,57	18,07	0,01499897
1094,891	0,000913333	0,32314	393,11	17,69	0,014683013
1060,071	0,000943333	0,324987	382,80	17,22	0,014297783
1027,397	0,000973333	0,326786	373,07	16,78	0,013934269
996,6777	0,001003333	0,32854	363,87	16,37	0,013590632
967,7419	0,001033333	0,330251	355,16	15,98	0,013265239
940,4389	0,001063333	0,331922	346,89	15,61	0,012956633
914,6341	0,001093333	0,333554	339,04	15,25	0,012663509
890,2077	0,001123333	0,33515	331,58	14,92	0,012384697
867,052	0,001153333	0,336711	324,47	14,60	0,012119144
845,0704	0,001183333	0,338239	317,69	14,29	0,011865898

Таблица 5.45 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции углеводородов алифатических на цеолите при отрицательной температуре (-11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Г _т (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем газа, м ³
5780,347	0,000173	0,345185	2215,19	99,68	0,017245296
5714,286	0,000175	0,345885	2194,32	98,744	0,017082834
5586,592	0,000179	0,347266	2153,86	96,92	0,016767856
5405,405	0,000185	0,349291	2096,17	94,32	0,016318737
5319,149	0,000188	0,350283	2068,59	93,08	0,016103999
5208,333	0,000192	0,351586	2033,04	91,48	0,015827216
5102,041	0,000196	0,352867	1998,81	89,94	0,015560754
5000	0,0002	0,354126	1965,83	88,46	0,015304027
4901,961	0,000204	0,355365	1934,03	87,03	0,015056498
4807,692	0,000208	0,356583	1903,36	85,65	0,014817664
4716,981	0,000212	0,357783	1873,73	84,31	0,014587062
4629,63	0,000216	0,358964	1845,12	83,03	0,014364261
4545,455	0,00022	0,360128	1817,45	81,78	0,01414886

Таблица 5.46 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на цеолите при положительной температуре +27,5⁰С

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
22222,22	0,000045	0,190044	4687,98	210,95	0,009493168
21739,13	0,000046	0,190782	4603,88	207,17	0,009322866
21276,6	0,000047	0,191507	4523,05	203,53	0,009159185
20408,16	0,000049	0,192919	4370,44	196,67	0,008850154
20408,16	0,000049	0,192919	4370,44	196,67	0,008850154
20000	0,00005	0,193608	4298,32	193,42	0,008704113
19607,84	0,000051	0,194285	4228,79	190,29	0,008563303
19230,77	0,000052	0,194951	4161,69	187,27	0,008427439
18867,92	0,000053	0,195607	4096,91	184,36	0,008296258
18518,52	0,000054	0,196253	4034,32	181,54	0,008169515
18181,82	0,000055	0,196889	3973,81	178,82	0,008046982
17857,14	0,000056	0,197515	3915,28	176,18	0,007928445
17543,86	0,000057	0,198133	3858,61	173,63	0,007813706

Таблица 5.47 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции фенола на цеолите при отрицательной температуре (- 11,5⁰С)

м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
188679,2	0,0000053	0,185519	38854,23	1748,44	0,009266736
185185,2	0,0000054	0,186132	38260,61	1721,72	0,009125158
17241,38	0,000058	0,282893	5414,33	243,64	0,00129132
13227,51	0,0000756	0,296426	4352,65	195,86	0,001038109
9808,73	0,00010195	0,312476	3402,52	153,11	0,000811502
7794,232	0,0001283	0,325402	2815,65	126,70	0,000671533
6466,214	0,00015465	0,336299	2414,19	108,63	0,000575786
5524,862	0,000181	0,345759	2120,82	95,43	0,000505817
4822,763	0,00020735	0,354145	1896,27	85,33	0,000452261
4278,99	0,0002337	0,361695	1718,38	77,32	0,000409834
3845,414	0,00026005	0,368573	1573,67	70,81	0,000375322
3491,62	0,0002864	0,3749	1453,46	65,40	0,00034665
3197,442	0,00031275	0,380763	1351,85	60,83	0,000322419

Таблица 5.48 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на цеолите при положительной температуре + 27,5⁰С

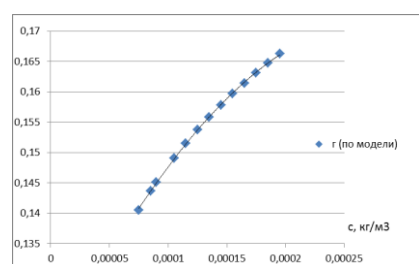
м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1	2	3	4	5	6
2222222	0,00000045	0,006537	1249,26	56,21	0,046660144
2173913	0,00000046	0,006562	1226,85	55,20	0,045823038
2083333	0,00000048	0,006612	1184,59	53,30	0,044244537

Продолжение таблицы 5.48

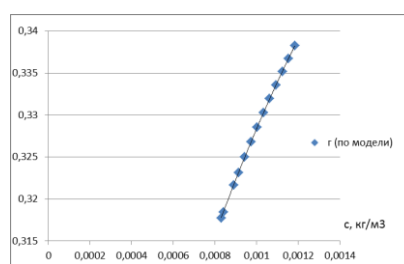
1	2	3	4	5	6
2083333	0,00000048	0,006612	1184,59	53,30	0,044244537
2040816	0,00000049	0,006636	1164,64	52,40	0,043499456
2000000	0,00000005	0,006659	1145,42	51,54	0,042781598
1960784	0,00000051	0,006683	1126,89	50,71	0,042089455
1923077	0,00000052	0,006706	1109,01	49,90	0,041421627
1886792	0,00000053	0,006728	1091,74	49,12	0,040776817
1851852	0,00000054	0,00675	1075,06	48,37	0,040153819
1818182	0,00000055	0,006772	1058,94	47,65	0,039551512
1785714	0,00000056	0,006794	1043,34	46,95	0,038968851
1754386	0,00000057	0,006815	1028,24	46,27	0,03840486

Таблица 5.49 – Результаты расчетных данных по математической модели изотерм адсорбции формальдегида на цеолите при отрицательной температуре (-11,5 °С)

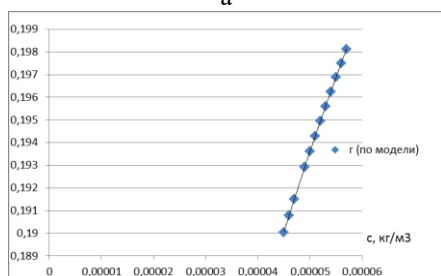
м ³ /кг	Концентрации на входе с, кг/м ³	Г (по модели)	Гт (по Легмюру)	Q (кол-во адсорбированного газа), кг	объем очищенного воздуха от газа, м ³
1886792	0,00000053	0,007667	1244,08	55,98	2,96714E-05
1818182	0,00000055	0,007717	1206,70	54,30	2,87798E-05
1639344	0,00000061	0,007859	1108,05	49,86	2,64272E-05
1694915	0,00000059	0,007813	1138,90	51,25	2,71629E-05
1639344	0,00000061	0,007859	1108,05	49,86	2,64272E-05
1587302	0,00000063	0,007904	1079,00	48,55	2,57342E-05
1538462	0,00000065	0,007948	1051,57	47,32	2,50802E-05
1492537	0,00000067	0,007991	1025,65	46,15	2,44619E-05
1449275	0,00000069	0,008032	1001,10	45,04	2,38764E-05
1408451	0,00000071	0,008073	977,81	44,00	2,3321E-05
1369863	0,00000073	0,008112	955,69	43,00	2,27934E-05
1333333	0,00000075	0,008151	934,65	42,05	2,22916E-05
1298701	0,00000077	0,008189	914,61	41,15	2,18136E-05



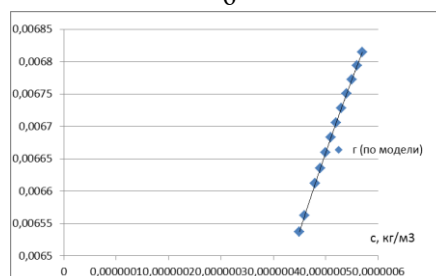
а



б



в



г

Рисунок 5.8 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте цеолите при положительной температуре воздуха +27,5 °С: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

Построены изотермы адсорбции газов на сорбенте цеолите при отрицательной температуре воздуха (рис.5.9).

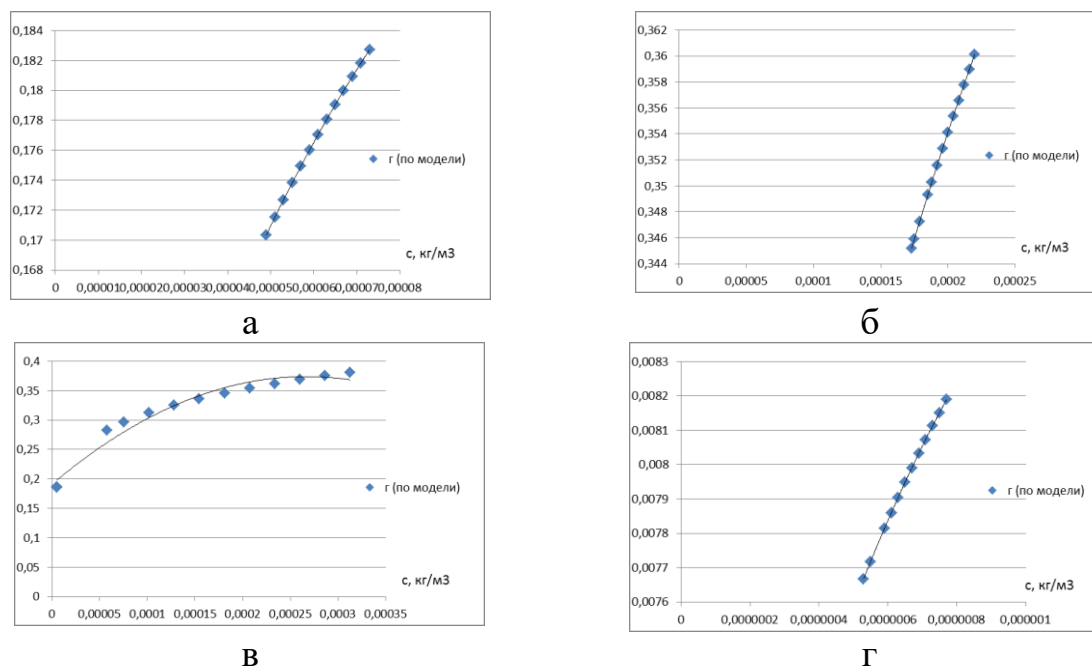


Рисунок 5.9 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте цеолите при отрицательной температуре воздуха $-11,5^{\circ}\text{C}$: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

Построены изотермы адсорбции газов на поверхности твердое вещество-газ (цеолит – CO; цеолит – углеводороды алифатические; цеолит – фенол; цеолит – формальдегид).

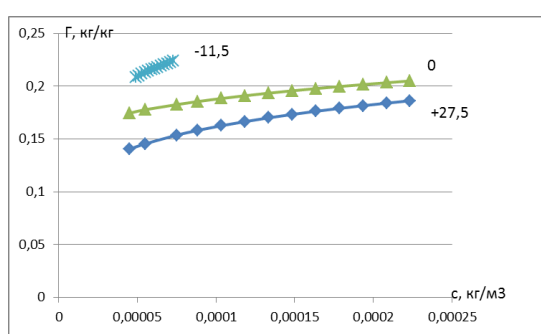
При сравнительном анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте цеолите (рис.5.8-5.9) при различных температурах выяснено, что: предел адсорбции по CO увеличился с 0,167 до 0,183 кг/кг, по углеводородам алифатическим с 0,338 до 0,360 кг/кг, для фенола увеличивается с 0,198 до 0,3807 кг/кг, для формальдегида с 0,0068 до 0,0082 кг/кг.

Результаты показали, что лучше всего поглощается сорбентом цеолитом также фенол: объем адсорбированного газа от 210 до 173 кг, объем очищенного воздуха от фенола от $0,078 \text{ м}^3$, затем второе место по сорбции у CO с объемом очищенного воздуха от них с $0,0047$ до $0,0021 \text{ м}^3$ (предел адсорбции 0,1981 кг/кг), объем очищенного воздуха от CO составил $0,0047$ до $0,0021 \text{ м}^3$. Сорбция к формальдегиду достаточно

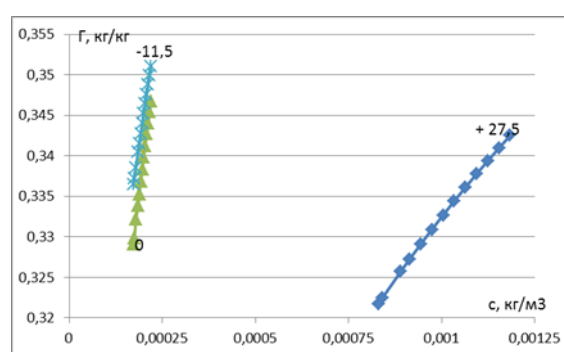
низкая, объем очищенного воздуха от формальдегида от $0,046 \text{ м}^3$ до $0,038 \text{ м}^3$, предел адсорбции $0,0068 \text{ кг/кг}$.

5.3.1. Моделирование процесса сорбции газов на сорбентах в фильтрах при различной температуре

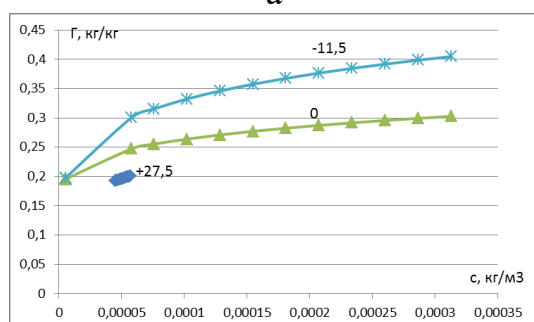
Для того чтобы наглядно посмотреть сорбцию на каждом сорбенте построенные обобщенные графики при изменении температуры: $-11,5^\circ\text{C}$; 0°C ; $+27,5^\circ\text{C}$.



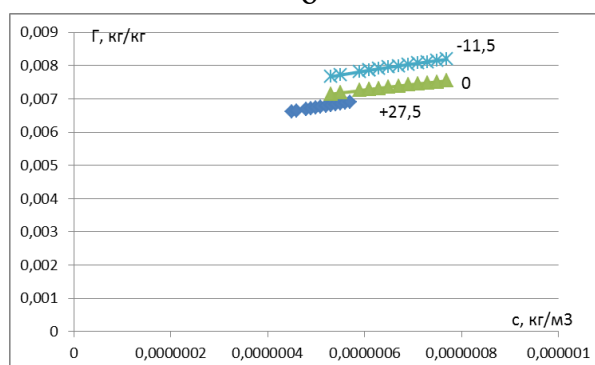
а



б



в



г

Рисунок 5.10 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте активированный уголь при различных температурах воздуха: $-11,5^\circ\text{C}$; 0°C ; $+27,5^\circ\text{C}$:
а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

При сравнительном анализе сорбции на активированном угле газообразных загрязнителей выявлено, что: предел адсорбции при уменьшении температуры воздуха от $+27,5^\circ\text{C}$ до $-11,5^\circ\text{C}$ увеличивается для всех газообразных загрязнителей (рис.5.10):

-оксид углерода (II) CO с $0,186$ до $0,224 \text{ кг/кг}$;

- для углеводородов алифатических с 0,343 до 0,351068 кг/кг;
- для формальдегида увеличивается с 0,0069 до 0,0082 кг/кг;
- для фенола увеличивается с 0,206 до 0,405 кг/кг.

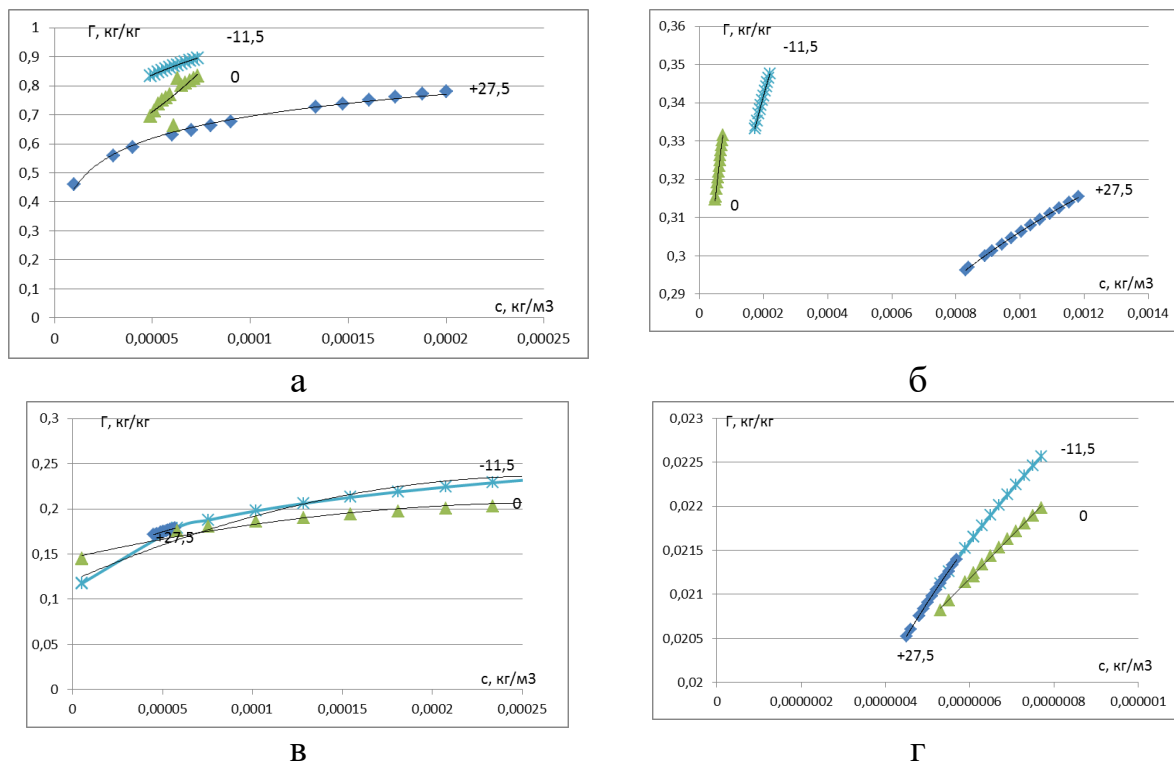


Рисунок 5.11 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте шунгите при различных температурах воздуха -11,5⁰С; 0⁰С; +27,5⁰С : а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (С1-С5); в – фенола; г – формальдегида

При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте шунгите (рис.5.11) при различных температурах выяснено, что при отрицательных температурах предел адсорбции возрастает:

- для оксид углерода (II) CO увеличился с 0,771 до 0,895 кг/кг, при этом сорбент шунгит имеет самую высокую сорбцию к CO по сравнению с активированным углем и цеолитом;
- для углеводородов алифатических с 0,315 до 0,348 кг/кг,
- для формальдегида с 0,021 до 0,023 кг/кг.
- для фенола предел адсорбции увеличился с 0,179 до 0,241 кг/кг.

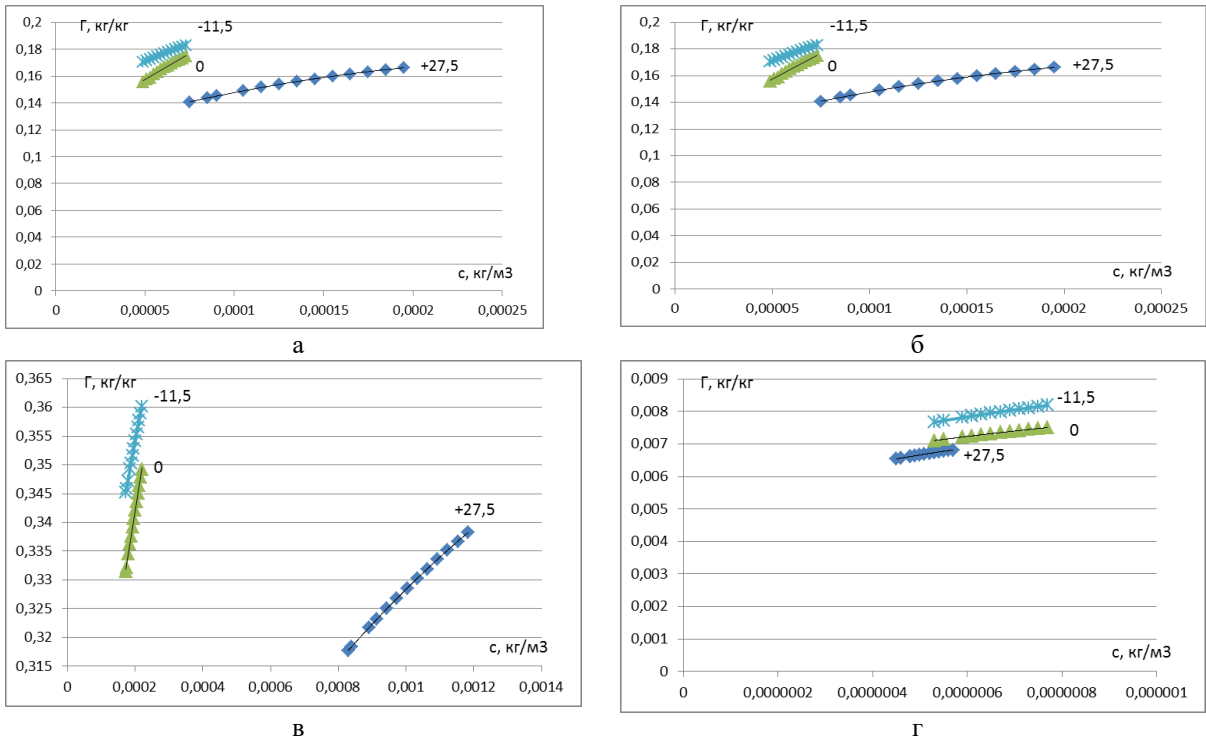


Рисунок 5.12 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте цеолите при различных температурах воздуха $-11,5^{\circ}\text{C}$; 0°C ; $+27,5^{\circ}\text{C}$: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

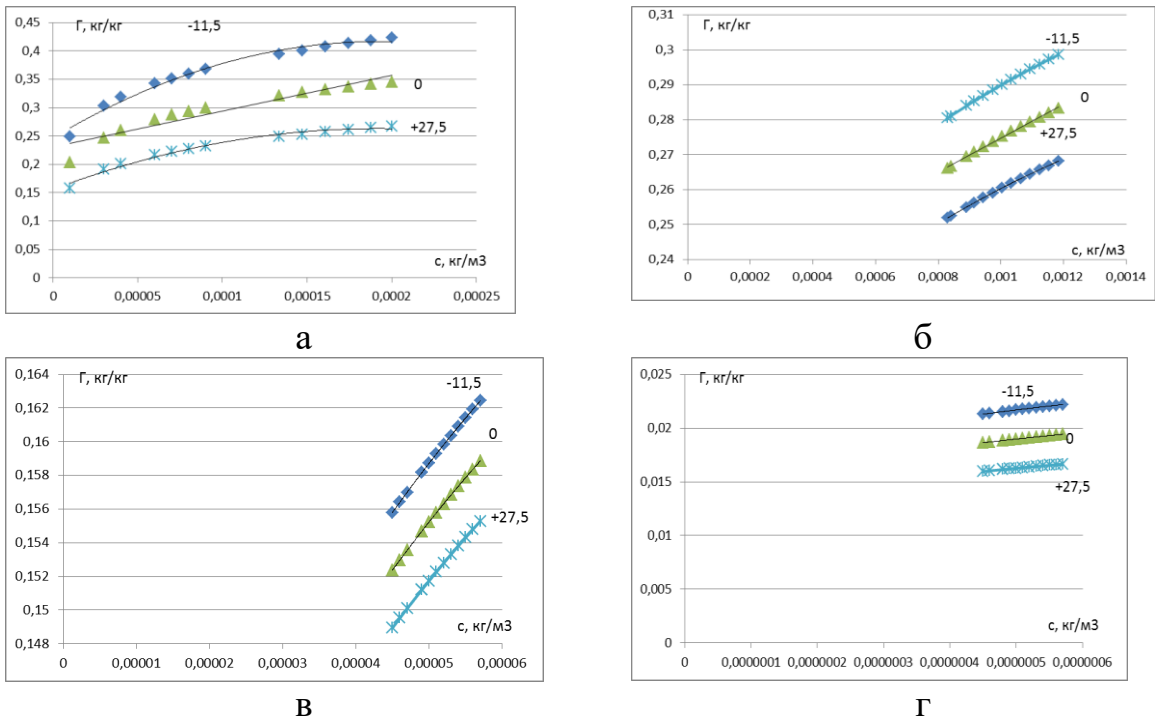


Рисунок 5.13 – Изотермы адсорбции газов на сорбенте силикагеле при различных температурах воздуха $-11,5^{\circ}\text{C}$; 0°C ; $+27,5^{\circ}\text{C}$: а – оксида углерода (II); б – углеводородов алифатических (C1-C5); в – фенола; г – формальдегида

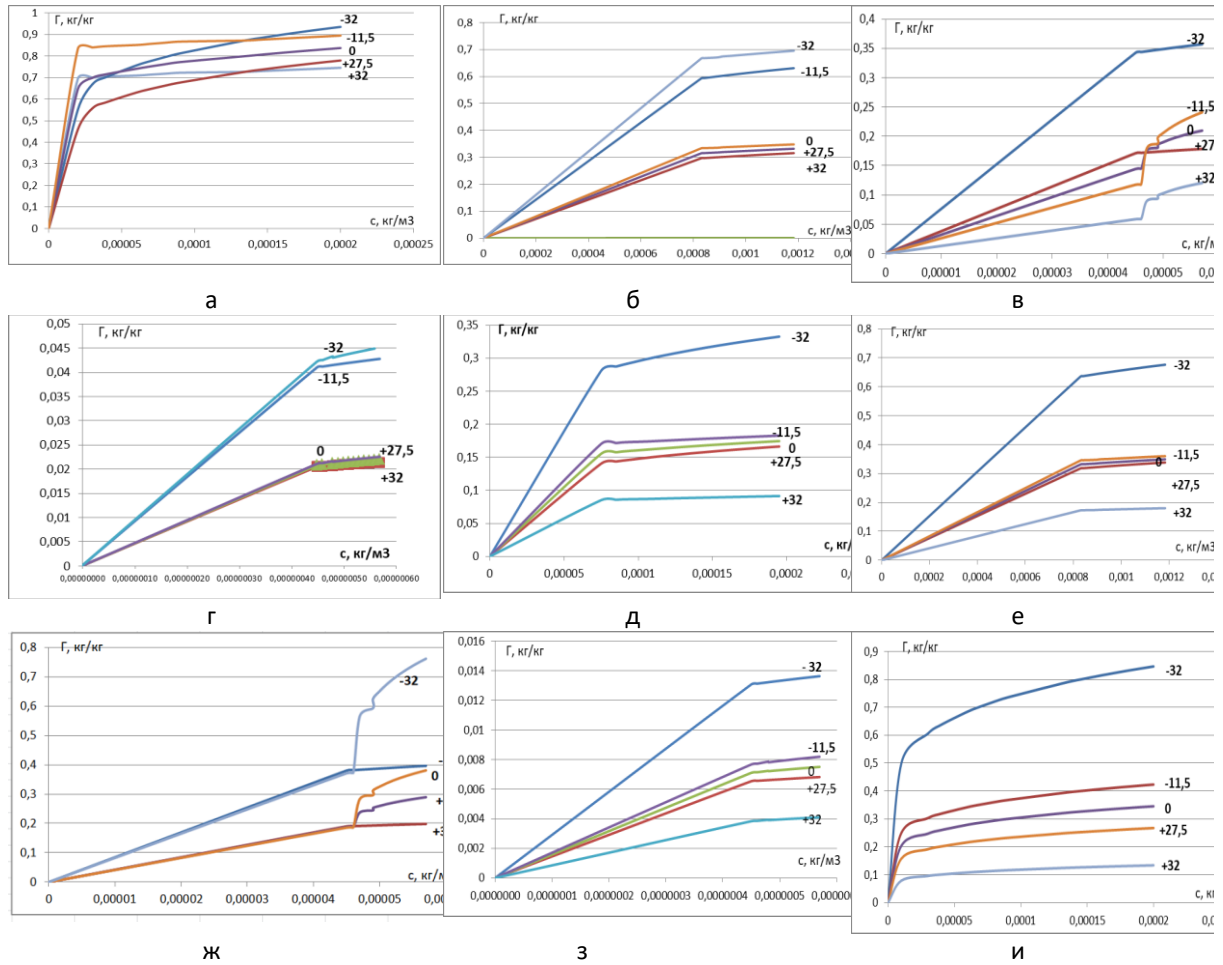


Рисунок 5.14 – Изотермы адсорбции газов на сорбентах внутри фильтров устройства (клапана) при температурах наружного воздуха - 32⁰С; - 11,5⁰С; 0⁰С; + 27,5⁰С; + 32⁰С: а – оксид углерода (II)-шунгит; б – углеводороды алифатические (С1-С5)-шунгит; в – фенол-шунгит; г – формальдегид-шунгит; д – оксид углерода (II)-цеолит; е – углеводороды алифатические-цеолит; ж – фенол-цеолит; з – формальдегид-цеолит; и – оксида углерода (II)-силикагель

При сравнительном анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте цеолите (рис.5.12) при различных температурах выяснено, что: предел адсорбции по СО увеличился с 0,167 до 0,183 кг/кг; по углеводородам алифатическим с 0,338 до 0,360 кг/кг; для фенола увеличивается с 0,198 до 0,3807 кг/кг; для формальдегида с 0,0068 до 0,0082 кг/кг.

Построены обобщенные изотермы адсорбции Фрейндлиха газов на поверхности твердое вещество-газ при диапазоне температур: от - 32⁰С до 0⁰С и 0⁰С от + 32⁰С для сорбентов, которые расположены в запатентованном устройстве по очистке воздуха (рис.5.14, а - рис.5.14, и).

Построенные изотермы показали, что с уменьшением температуры наружного воздуха в диапазоне от $+32^{\circ}\text{C}$ до -32°C , процесс сорбции идет медленнее и предел адсорбции становится выше (рис.5.14). Например, при понижении температуры воздуха предел адсорбции возрастает: на шунгите для оксида углерода (II) CO с 0,695 до 0,935 кг/кг; углеводородов алифатических с 0,315 до 0,695 кг/кг, формальдегида с 0,022 до 0,045 кг/кг, фенола с 0,111 до 0,351 кг/кг. На сорбенте цеолите (рис.5.14) предел адсорбции по CO увеличился с 0,090 до 0,340 кг/кг; по углеводородам алифатическим с 0,199 до 0,690 кг/кг; для фенола с 0,271 до 0,788 кг/кг; для формальдегида с 0,0048 до 0,014 кг/кг. На поверхности цеолита сорбция всех загрязнителей протекает медленнее, особенно для оксида углерода (II) практически в 4,8 раза. На сорбенте силикагеле (рис.5.14) предел адсорбции увеличился: для CO с 0,111 до 0,856 кг/кг; для углеводородов алифатических с 0,168 до 0,399 кг/кг; для формальдегида с 0,007 до 0,032 кг/кг; для фенола с 0,105 до 0,262 кг/кг.

Таким образом, сделаны следующие выводы:

1. Построены изотермы адсорбции газов на поверхности твердое вещество-газ (активированный уголь – CO; активированный уголь – углеводороды алифатические; активированный уголь – фенол; активированный уголь – формальдегид).

Результаты показали, что лучше всего поглощается активированным углем оксид углерода (II): объем адсорбированного газа от 128 до 35 кг, объем очищенного воздуха от CO от 0,00578 до 0,00159 м³, затем примерно одинаковую сорбцию имеют газы формальдегид и углеводороды алифатические, однако предел адсорбции достаточно мал от 0,006 до 0,18 кг/кг, количество адсорбированного формальдегида от 57 до 47 кг, от углеводородов алифатических от 26 до 20 кг. Сорбция к фенолу тоже достаточно низкая, объем очищенного воздуха от фенола от 0,0025 до 0,0021 м³, количество адсорбированного фенола от 37 до 31 кг.

2. Построены изотермы адсорбции газов на поверхности твердое вещество-газ (шунгит – CO; шунгит – углеводороды алифатические; шунгит – фенол; шунгит – формальдегид).

Результаты показали, что лучше всего поглощается сорбентом шунгитом также газ оксид углерода (II) CO: объем адсорбированного газа от 16 до 12 кг, объем очищенного воздуха от CO от 0,13 до 0,029 м³, затем второе место по сорбции у углеводородов алифатических с объемом очищенного воздуха от них с 0,0138 до 0,0103 м³, объем очищенного воздуха от фенола составил всего от 0,0077 до 0,006 м³. Сорбция к формальдегиду достаточно низкая, объем очищенного воздуха от формальдегида от 0,00024 м³ до 0,000205 м³, предел адсорбции 0,021 кг/кг.

3. Построены изотермы адсорбции газов на поверхности твердое вещество-газ (цеолит – CO; цеолит – углеводороды алифатические; цеолит – фенол; цеолит – формальдегид).

Результаты показали, что лучше всего поглощается сорбентом цеолитом также фенол: объем адсорбированного газа от 210 до 173 кг, объем очищенного воздуха от фенола от 0,078 м³, затем второе место по сорбции у CO с объемом очищенного воздуха от них с 0,0047 до 0,0021 м³ (предел адсорбции 0,1981 кг/кг), объем очищенного воздуха от CO составил 0,0047 до 0,0021 м³. Сорбция к формальдегиду достаточно низкая, объем очищенного воздуха от формальдегида от 0,046 м³ до 0,038 м³, предел адсорбции 0,0068 кг/кг.

4. Самый высокий показатель предела адсорбции отмечен у шунгита (0,77 кг/кг) по отношению к оксиду углерода (II), углеводородам алифатическим (0,315 кг/кг), самые низкие значения по сорбции у активированного угля (предел адсорбции по всем газообразным загрязнителям составил от 0,006 до 0,34 кг/кг).

5. При сравнительном анализе сорбции на активированном угле газообразных загрязнителей выявлено, что: предел адсорбции при

уменьшении температуры воздуха от $+27,5^{\circ}\text{C}$ до $-11,5^{\circ}\text{C}$ увеличивается для всех газообразных загрязнителей:

- оксид углерода (II) CO с 0,186 до 0,224 кг/кг;
- для углеводородов алифатических с 0,343 до 0,351 кг/кг;
- для формальдегида увеличивается с 0,0069 до 0,0082 кг/кг;
- для фенола увеличивается с 0,206 до 0,405 кг/кг.

6. При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте шунгите при различных температурах выяснено, что при отрицательных температурах предел адсорбции возрастает:

- для оксид углерода (II) CO увеличился с 0,771 до 0,895 кг/кг, при этом сорбент шунгит имеет самую высокую сорбцию к CO по сравнению с активированным углем и цеолитом;
- для углеводородов алифатических с 0,315 до 0,348 кг/кг,
- для формальдегида с 0,021 до 0,023 кг/кг.
- для фенола предел адсорбции увеличился с 0,179 до 0,241 кг/кг.

7. При сравнительном анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте цеолите при различных температурах выяснено, что:

- предел адсорбции по CO увеличился с 0,167 до 0,183 кг/кг;
- по углеводородам алифатическим с 0,338 до 0,360 кг/кг;
- для фенола увеличивается с 0,198 до 0,3807 кг/кг;
- для формальдегида с 0,0068 до 0,0082 кг/кг.

8. При анализе изотерм адсорбции газов на сорбенте силикагеле при различных температурах выяснено, что предел адсорбции при отрицательных температурах увеличился:

- для CO увеличился с 0,2640 до 0,4185 кг/кг;
- для углеводородов алифатических с 0,268 до 0,299 кг/кг;
- для формальдегида с 0,017 до 0,022 кг/кг;
- для фенола с 0,155 до 0,162 кг/кг.

Наилучшей сорбцией силикагель обладает к оксиду углерода (II), предел адсорбции 0,41 кг/кг.

Величина адсорбции всех исследуемых газообразных загрязнителей зависит от температуры наружного воздуха на входе в клапан приточной принудительной вентиляции.

С ростом температуры от минус - 11,5⁰С до 0⁰С, а затем до + 27,5⁰С запас молекул газов оксида углерода (II) CO, углеводородов алифатических, фенола, формальдегида увеличивается, то есть среднее время пребывания молекул на сорбентах активированных уголь (контрольный вариант), шунгит, цеолит, силикагель меньше, за счет этого показатель предела адсорбции (Г, кг/кг) уменьшается, процесс адсорбции замедляется.

- с уменьшением температуры наружного воздуха в диапазоне от + 32⁰С до - 32⁰С, процесс сорбции идет медленнее, предел адсорбции становится выше. Например, при понижении температуры воздуха предел адсорбции возрастает: на шунгите для оксида углерода (II) CO с 0,695 до 0,935 кг/кг; углеводородов алифатических с 0,315 до 0,695 кг/кг, формальдегида с 0,022 до 0,045 кг/кг, фенола с 0,111 до 0,351 кг/кг. На сорбенте цеолите предел адсорбции по CO увеличился с 0,090 до 0,340 кг/кг; по углеводородам алифатическим с 0,199 до 0,690 кг/кг; для фенола с 0,271 до 0,788 кг/кг; для формальдегида с 0,0048 до 0,014 кг/кг. На поверхности цеолита сорбция всех загрязнителей протекает медленнее, особенно для оксида углерода (II) практически в 4,8 раза. На сорбенте силикагеле предел адсорбции увеличился: для CO с 0,111 до 0,856 кг/кг; для углеводородов алифатических с 0,168 до 0,399 кг/кг; для формальдегида с 0,007 до 0,032 кг/кг; для фенола с 0,105 до 0,262 кг/кг.

9. Следует отметить, что все сорбенты недостаточно поглощают органическое вещество формальдегид (предел адсорбции по ним от 0,006 до 0,021 кг/кг). В связи с этим в опытном образце клапана приточной

принудительной вентиляции изучен процесс фотокаталитического окисления УФ-излучением органических веществ до простых безопасных соединений, так как сорбенты имеют невысокую сорбцию по отношению к фенолу, формальдегиду, а также углеводородам алифатическим.

Выводы по 5 главе:

1. Экспериментально и теоретически обоснованы параметры клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха: оптимальная скорость 2,81 м/с, минимально необходимый диаметр 0,1 м, расход поступающего воздуха от 55-300 м³/ч, технические характеристики загрузок фильтров клапанов (сорбентов): высота слоя от 7 мм до 20 мм для сорбента «шунгит» и от 6,93 мм до 20 мм для сорбента «цеолит» в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха по высоте здания (патент на изобретение).

2. Теоретически и экспериментально обоснован метод расчёта параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, позволяющий при расходах приточного воздуха от 55 до 300 м³/ч подобрать технические и физико-химические характеристики загрузок фильтров приточных устройств по высоте зданий.

3. Теоретически и экспериментально установлена закономерность влияния очередности послойного расположения сорбентов (шунгита, цеолита, силикагеля) и их пропорциональные соотношения, для сорбентов определенного фракционного состава в слоях при наличии катализатора (диоксида марганца) на эффективность очистки приточного воздуха помещений зданий от оксида углерода (II), алифатических углеводородов (C1-C5), фенола, формальдегида. Это позволило разработать эффективный способ очистки приточного воздуха: от оксида углерода (II) – до 93,75 %; углеводородов алифатических (C1-C5) – 80,59 %, фенола – 79,84 %, формальдегида – 71,88 %. В холодный период года эффективность очистки

воздуха по оксиду углерода (II) – 95 %, по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 84,78 %; по фенолу – 80,84 %, по формальдегиду – 75,89 % (патент на изобретение).

4. Изотермы загрузок фильтров внутри клапана показали, что с уменьшением наружной температуры в диапазоне от +32⁰С до -32⁰С, процесс сорбции идет медленнее и предел адсорбции становится выше. При понижении температуры наружного воздуха предел адсорбции возрастает: на шунгите для оксида углерода (II) CO с 0,695 до 0,935 кг/кг; углеводородов алифатических с 0,315 до 0,695 кг/кг, формальдегида с 0,022 до 0,045 кг/кг, фенола с 0,111 до 0,351 кг/кг. На сорбенте цеолите предел адсорбции по CO увеличился с 0,090 до 0,340 кг/кг; по углеводородам алифатическим с 0,199 до 0,690 кг/кг; для фенола с 0,271 до 0,788 кг/кг; для формальдегида с 0,0048 до 0,014 кг/кг. На сорбенте силикагеле предел адсорбции увеличился: для CO с 0,111 до 0,856 кг/кг; для углеводородов алифатических с 0,168 до 0,399 кг/кг; для формальдегида с 0,007 до 0,032 кг/кг; для фенола с 0,105 до 0,262 кг/кг.

ГЛАВА 6. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ

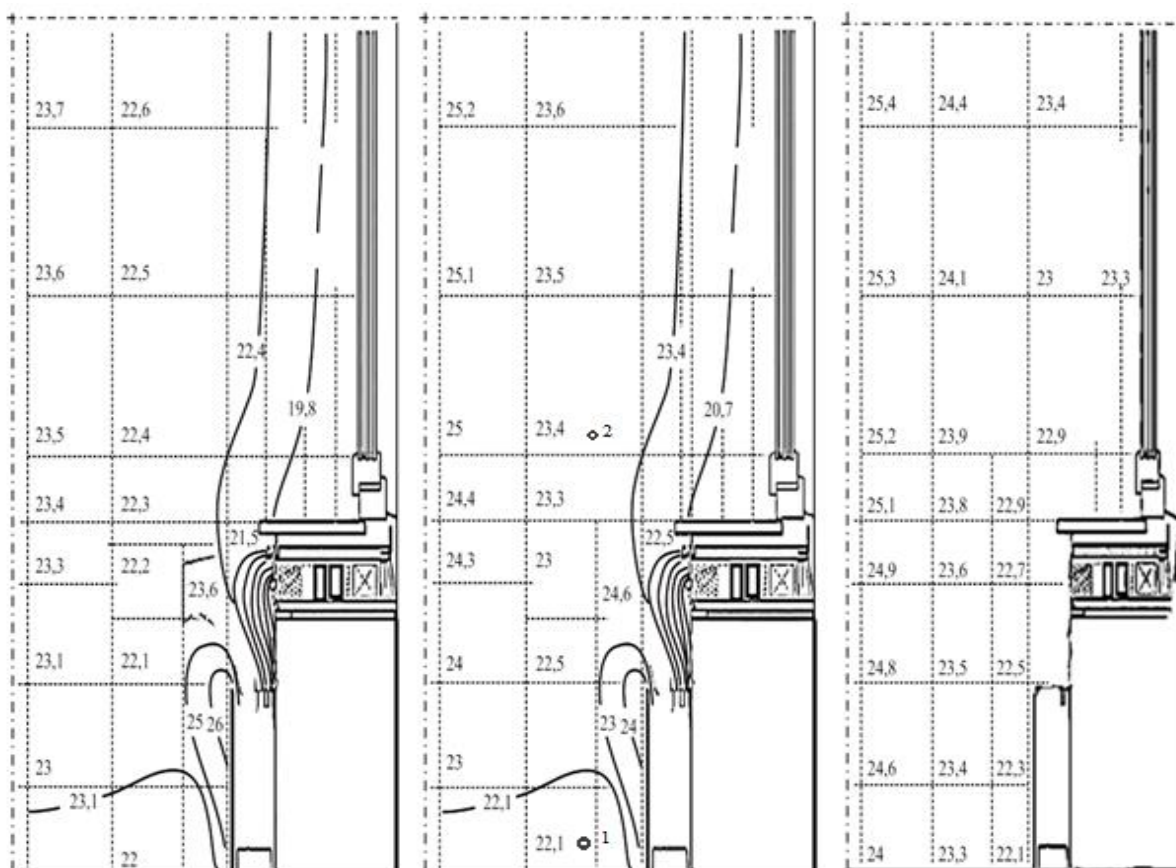
6.1. Результаты опытных испытаний температурно-влажностного, скоростного режима в помещении при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в теплый и холодный периоды года

В процессе опытных испытаний клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха струя приточного воздуха смешивается с внутренним, внутри помещения температура повышается от +21,5 до +25,2 °С, скорость воздуха в струе уменьшается до 0,11-0,12 м/с. В холодный период через 5 мин после открытия клапана температура воздуха на высоте 0,1 м в нижней зоне помещения понижается в среднем на 1,3-1,7 °С и принимает стабильное допустимое значение после 15-20 минут.

Температура воздуха на высоте 0,1; 0,5; 1,5 м; 1,7 м принимает стабильное значение после 15 минут и находится в пределах допустимых значениях на расстояниях 0,5 м и далее от наружной стены. Экспериментальное распределение температурных полей в помещении представлены на рис.6.1.

Поля скоростей воздушного потока на всех высотах внутри помещений (рис.6.2, а) находится в пределах допустимых значений, выравниваются после 15 минут работы устройства (рис.6.3), так как за счет сопротивления воздуха в фильтрах скорость воздуха на выходе не более 0,22-0,27 м/с.

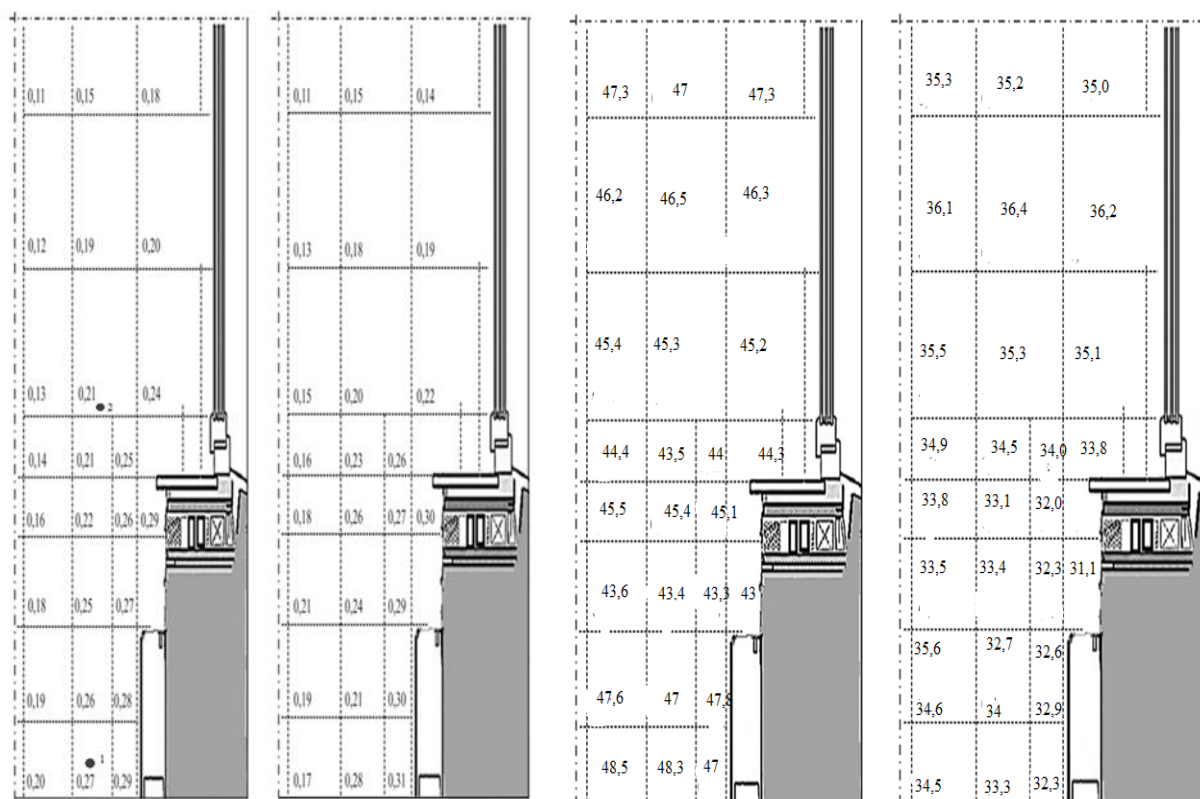
Поля относительной влажности находятся в пределах допустимых норм (рис.6.2, б). На рис.6.2 представлен экспериментально измеренный расход приточного воздуха в помещения при работе клапанов вентиляции, изменяемый с помощью блока управления.



$t_{н} = -32^{\circ}\text{C}$, $t_{в} = +22,1^{\circ}\text{C}$, $55 \text{ м}^3/\text{ч}$
 $t_{н} = -27,5^{\circ}\text{C}$, $t_{в} = +23,6^{\circ}\text{C}$, $65 \text{ м}^3/\text{ч}$
 $t_{н} = +27,5^{\circ}\text{C}$, $t_{в} = +22,7^{\circ}\text{C}$, $120 \text{ м}^3/\text{ч}$

Рисунок 6.1 – Экспериментальное распределение температурных полей при опытных испытаниях клапанов с очисткой воздуха в помещениях в холодный и теплый периоды года после 15 минут работы

Экспериментальные исследования температурного режима помещений проводились при температурах наружного воздуха: -32 ; $-11,5$; 0 ; $+11,5$; $+27,5^{\circ}\text{C}$ в течение двух часов работы клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха. В холодный период года температура поверхности отопительного прибора изменялась от $+70$ до 95°C в зависимости от температуры наружного воздуха (рис.6.1). На рис.6.1. представлен расход приточного воздуха измеренный экспериментально.



а) $t_n = -32^\circ\text{C}$, $V_n = 0,21 \text{ м/с}$ $t_n = +27,5^\circ\text{C}$, $V_n = 0,22 \text{ м/с}$ б) $t_n = +27,5^\circ\text{C}$, $\varphi_n = 48 \%$ $t_n = -32^\circ\text{C}$, $\varphi_n = 33 \%$, $55 \text{ м}^3/\text{ч}$
 $55 \text{ м}^3/\text{ч}$ $120 \text{ м}^3/\text{ч}$

Рисунок 6.2 – Экспериментальное распределение скоростных полей (а) и полей относительной влажности (б) в холодный и теплый периоды года по результатам опытных испытаний клапанов с очисткой воздуха после 15 минут работы

После 20 минут работы приточного устройства на высоте 0,1 м от пола помещения при температуре наружного воздуха -32°C температура воздуха внутри помещения повышается от $+14^\circ\text{C}$ до $+18-23^\circ\text{C}$ на расстоянии 0,5 метров от наружной стены при расходе приточного воздуха от $55-65 \text{ м}^3/\text{час}$ при температуре поверхности отопительного прибора от $+75$ до $+80^\circ\text{C}$ за счет смешивания конвективной неизотермической струи приточного воздуха устройства с внутренним нагретым воздухом помещения от радиатора отопления. На высотах 0,5 м; 1,7 м температура повышается в течение 20 минут от $+16$ до $+23^\circ\text{C}$ при температуре поверхности отопительных приборов $+80^\circ\text{C}$. При температуре наружного воздуха $-11,5^\circ\text{C}$ температура повышается от $+17$ до $+24^\circ\text{C}$ после 15 минут

работы. После 30 минут температурное поле на всех высотах помещения достигает стабильного значения (рис.6.3).

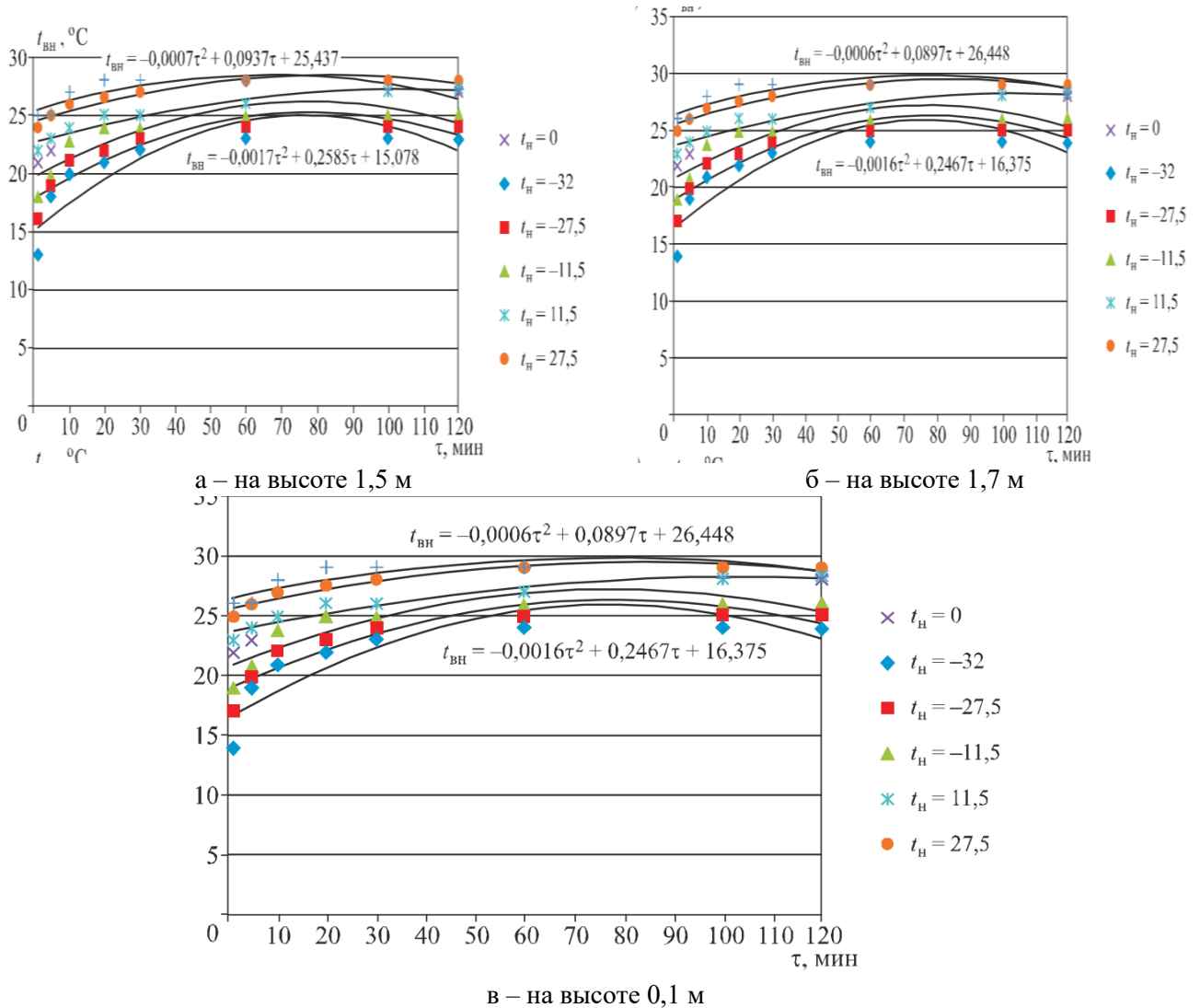


Рисунок 6.3 – Результаты экспериментальных исследований изменения температурного режима помещения при проведении опытных испытаний в течение времени

При положительной температуре наружного воздуха на расстоянии 0,5 м от наружной стены температура составила $+21^{\circ}\text{C}$ (до работы устройства) до стабильной температуры внутри помещения $+26-27^{\circ}\text{C}$ при расходе воздуха 95 до $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ после 15 минут работы устройства. При правильном режиме вытяжной вентиляции после 15 минут работы устройства температура и скорость внутри помещения соответствует допустимым значениям.

Уменьшение расхода приточного воздуха на 30 - 19 м³ /ч за счет авторегулирования клапана (встроенного программатора, таймера по времени суток, сезонов года в зависимости от качества наружного воздуха и параметров приточного воздуха), снижает влияние приточной струи на температурный режим внутри помещения и приводит к повышению средней температуры воздуха в помещении на 1,0-1,5⁰С (рис.6.4).

На основании расчета по полученным уравнениям (глава 5, (5.13)-(5.33)) с помощью программного обеспечения к клапану при температуре наружного воздуха - 32 ⁰С расход подаваемого воздуха изменяется от 55 до 65 м³/ч, при температуре наружного воздуха - 27,5 ⁰С расход воздуха от 65 до 75 м³/ч; при + 11,5 ⁰С от 95 до 100 м³/ч, при + 27,5 ⁰С от 105 до 120 м³/ч (рис.6.4). По времени суток расход приточного воздуха меняется автоматически, регулируется с помощью блока управления на основе уравнений (глава 3), (3.1)-(3.4) для расчёта концентраций загрязнителей внутри помещений в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха газообразными веществами по высоте зданий от автотранспорта.

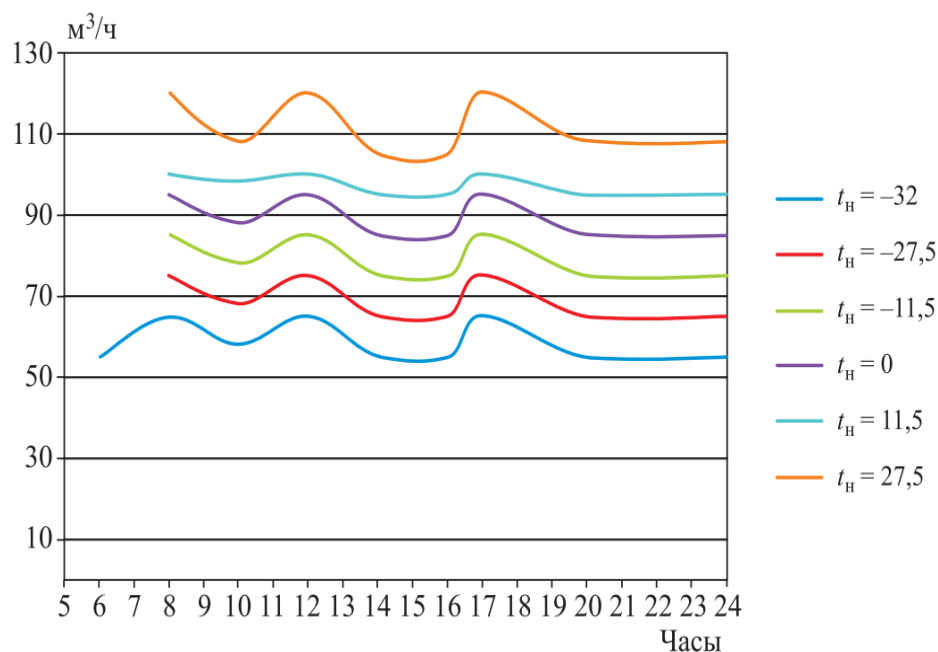


Рисунок 6.4 – Авторегулирование клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха по времени суток и сезонам года в зависимости от температуры наружного воздуха и степени его загрязнения от автотранспорта

Таблица 6.1 – Результаты экспериментальных измерений при опытных испытаниях при открытии клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха в холодный и теплый периоды года на высоте 0,1 м и 0,5 м от наружной стены

Температура наружного воздуха t_n , °С	Температура поверхности отопительного прибора, °С	Время открытия клапана приточной вентиляции, минуты	Температура внутри помещения, $t_{вн}$, °С	Скорость воздуха внутри помещения, м/с
1	2	3	4	5
-32	+80	1	+13	0,3
-32	+80	5	+15	0,28
-32	+80	10	+17	0,2
-32	+80	20	+18	0,19
-32	+80	30	+22	0,18
-32	+80	60	+23	0,18
-32	+80	100	+23	0,18
-32	+80	120	+23	0,18
-27,5	+80	1	+16	0,3
-27,5	+80	5	+17	0,28
-27,5	+80	10	+18	0,2
-27,5	+80	20	+21	0,17
-27,5	+80	30	+23	0,16
-27,5	+80	60	+24	0,15
-27,5	+80	100	+24	0,15
-27,5	+80	120	+24	0,15
-11,5	+65	1	+18	0,2
-11,5	+65	5	+20	0,19
-11,5	+65	10	+23	0,18
-11,5	+65	20	+24	0,17
-11,5	+65	30	+24	0,17
-11,5	+65	60	+25	0,16
-11,5	+65	100	+25	0,16
-11,5	+65	120	+25	0,16
0	+50	1	+21	0,3
0	+50	5	+22	0,2
0	+50	10	+24	0,19
0	+50	20	+25	0,19
0	+50	30	+25	0,19
0	+50	60	+26	0,19
0	+50	100	+27	0,19
0	+50	120	+27	0,19
+11,5	-	1	+22	0,4
+11,5	-	5	+23	0,3
+11,5	-	10	+24	0,2
+11,5	-	20	+25	0,18
+11,5	-	30	+25	0,18
+11,5	-	60	+26	0,18
+11,5	-	100	+27	0,18
+11,5	-	120	+27	0,18
+27,5	-	1	+24	0,4
+27,5	-	5	+25	0,3
+27,5	-	10	+26	0,2

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5
+27,5	-	20	+26,5	0,18
+27,5	-	30	+27	0,18
+27,5	-	60	+28	0,18
+27,5	-	100	+28	0,18
+27,5	-	120	+28	0,18

Таблица 6.2 – Результаты экспериментальных измерений при опытных испытаниях при открытии клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха в холодный и теплый периоды года на высоте 0,5 м и 0,5 м от наружной стены

Температура наружного воздуха t_n , °C	Температура поверхности отопительного прибора, °C	Время открытия клапана приточной вентиляции, минуты	Температура внутри помещения, $t_{вн}$, °C	Скорость воздуха внутри помещения, м/с
1	2	3	4	5
-32	+80	1	+14	0,3
-32	+80	5	+16	0,28
-32	+80	10	+18	0,2
-32	+80	20	+19	0,19
-32	+80	30	+21	0,18
-32	+80	60	+24	0,18
-32	+80	100	+24	0,18
-32	+80	120	+24	0,18
-27,5	+80	1	+17	0,3
-27,5	+80	5	+18	0,28
-27,5	+80	10	+19	0,2
-27,5	+80	20	+22	0,17
-27,5	+80	30	+24	0,16
-27,5	+80	60	+25	0,15
-27,5	+80	100	+25	0,15
-27,5	+80	120	+25	0,15
-11,5	+65	1	+19	0,2
-11,5	+65	5	+21	0,19
-11,5	+65	10	+24	0,18
-11,5	+65	20	+25	0,17
-11,5	+65	30	+25	0,17
-11,5	+65	60	+26	0,16
-11,5	+65	100	+26	0,16
-11,5	+65	120	+26	0,16
0	+50	1	+22	0,3
0	+50	5	+23	0,2
0	+50	10	+25	0,19
0	+50	20	+26	0,19
0	+50	30	+27	0,19
0	+50	60	+27	0,19
0	+50	100	+28	0,19
0	+50	120	+28	0,19
+11,5	-	1	+23	0,4

Продолжение таблицы 6.2

1	2	3	4	5
+11,5	-	5	+24	0,3
+11,5	-	10	+25	0,2
+11,5	-	20	+26	0,18
+11,5	-	30	+26	0,18
+11,5	-	60	+27	0,18
+11,5	-	100	+28	0,18
+11,5	-	120	+28	0,18
+27,5	-	1	+25	0,4
+27,5	-	5	+26	0,3
+27,5	-	10	+27	0,2
+27,5	-	20	+27,5	0,18
+27,5	-	30	+28	0,18
+27,5	-	60	+28	0,18
+27,5	-	100	+28	0,18
+27,5	-	120	+28	0,18

Результаты экспериментальных измерений при опытных испытаниях при открытии клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха в холодный и теплый периоды года на высотах 0,1 и 0,5 метров и 0,5 метров от наружной стены представлены в табл.6.1-6.2.

Моделирование температурных и скоростных полей по модели Спаларта - Аллмареса (S-A модели) в точках опытных испытаний 1-2 (отмечены на рис.6.1, 6.2) проведено в программе Ansys Fluent (рис.6.5-6.6).

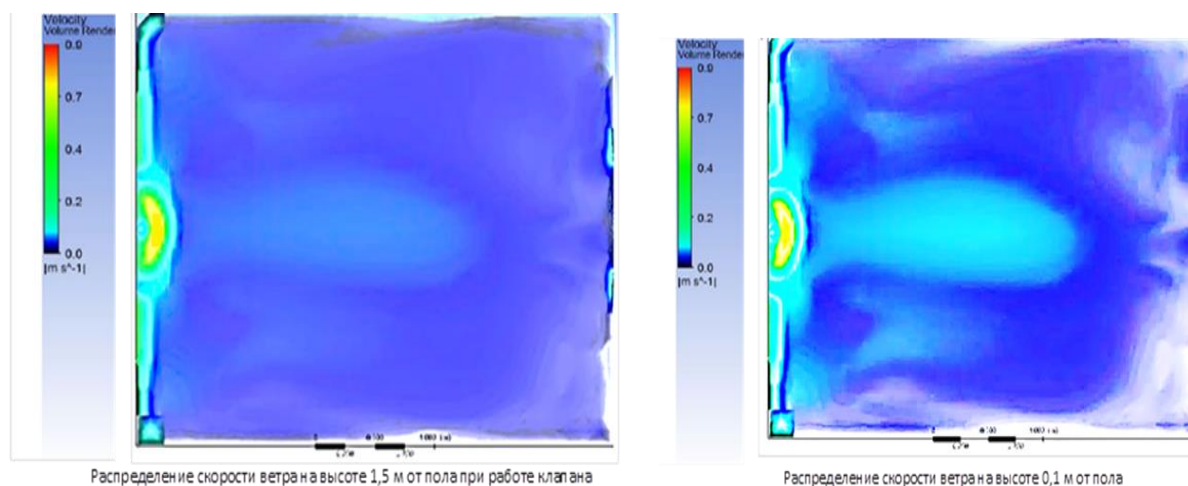


Рисунок 6.5 – Моделирование скоростных полей по S-A модели в точках 1,2 опытных испытаний

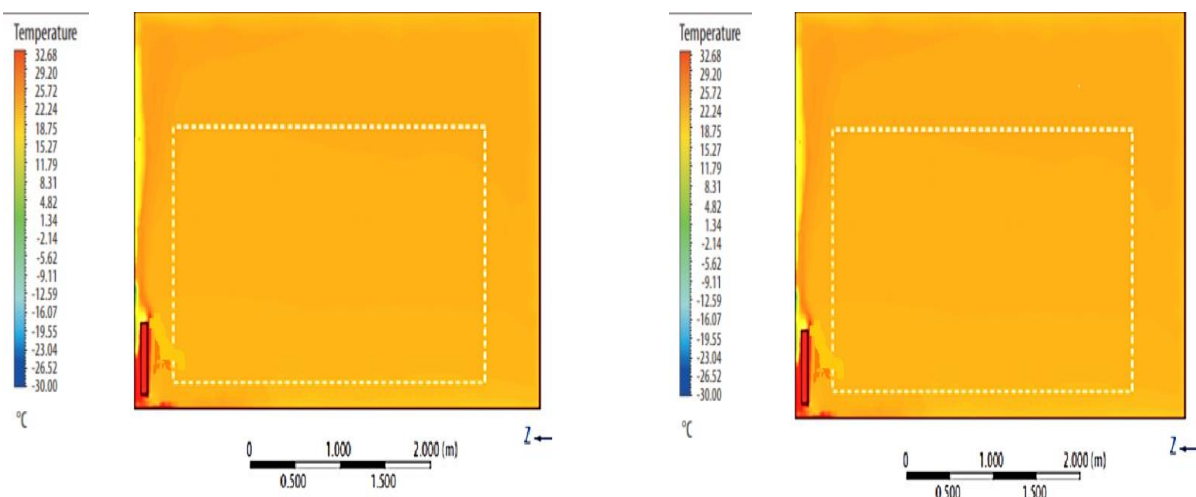


Рисунок 6.6 – Моделирование температурных полей по S-A модели в точках 1, 2 опытных испытаний

Результаты опытных испытаний показали сходимость с результатами моделирования температурных и скоростных полей (рис.6.5-6.6) при опытных испытаниях клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, разница не более 14-15%, что подтверждает достоверность проведенных исследований.

6.2. Результаты опытных испытаний аэродинамических характеристик клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха

При опытных испытаниях клапанов приточной принудительной вентиляции получены зависимость расхода приточного воздуха от разности давлений (рис.6.7).

Экспериментальные измерения разности давления проводились внутри клапана приточной вентиляции при различных расходах приточного воздуха устройства с помощью цифрового манометра testo 510. Результаты опытных испытаний представлены на рис.6.7.

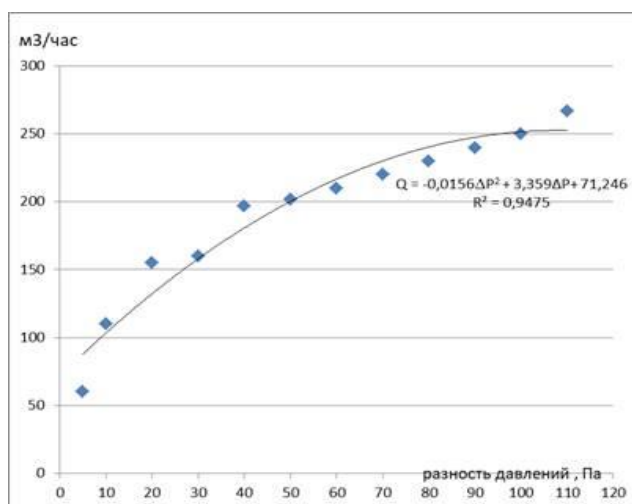


Рисунок 6.7 – Зависимость расхода приточного воздуха клапана от разности давлений

Коэффициент сопротивления ξ в приточных клапанах определялся при различных давлениях и скоростях воздушного потока по формуле:

$$\xi = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot V^2} \quad (6.1)$$

где ΔP – разница давлений, кПа; ρ – плотность воздуха, кг/м³; V – скорость движения воздуха внутри устройства, м/с.

По результатам опытных испытаний (рис.6.8) получен коэффициент сопротивления воздуха внутри клапанов приточной вентиляции от расхода приточного воздуха, что необходимо при обосновании выбора параметров комплектующих клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха.

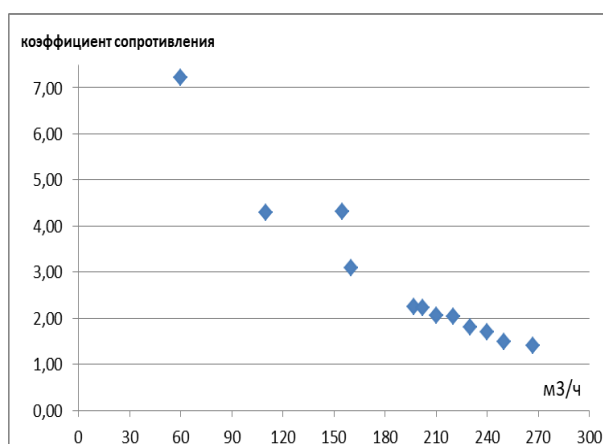


Рисунок 6.8 – Зависимость коэффициента сопротивления ξ воздуха внутри клапана от расхода приточного воздуха

6.3. Расчет параметров приточной конвективной неизотермической струи клапанов с очисткой воздуха

По уравнению Зельдовича Я.Б., Л. Прандтля определены параметры температуры и скорости движения воздуха на оси приточной конвективной неизотермической струи на различных расстояниях от наружной стены помещения (рис.6.9).

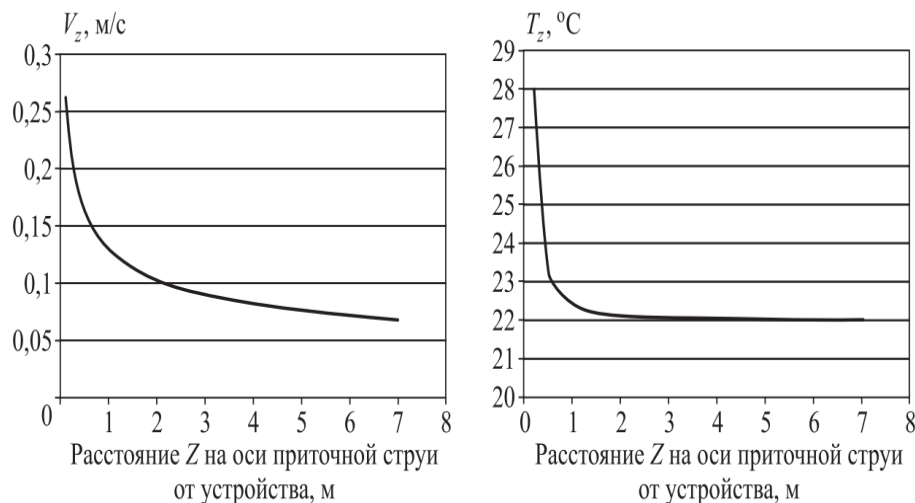


Рисунок 6.9 – Результаты моделирования скорости ветра (V_z) и температуры воздуха (T_z) внутри помещений на оси приточной струи на разных расстояниях от наружной стены с клапаном приточной вентиляции с очисткой воздуха

Результаты моделирования избыточных параметров на оси приточной струи показали высокую сходимость с результатами экспериментальных данных внутри помещений при опытных испытаниях до 5-7%.

Геометрические параметры приточной струи от разработанной конструкции клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха с минимальным диаметров 0,1 м: разгонный участок до 0,2 м от наружной стены; переходный участок от 0,2 до 0,5 м; основной участок от 0,5 до 0,6 м. Максимальная толщина пограничного слоя до 0,12 м, разгонного участка 0,2 м, толщина переходного слоя 0,6 м, толщина основного участка до 0,7 м.

6.4. Расчёт температуры точки росы в помещении при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха

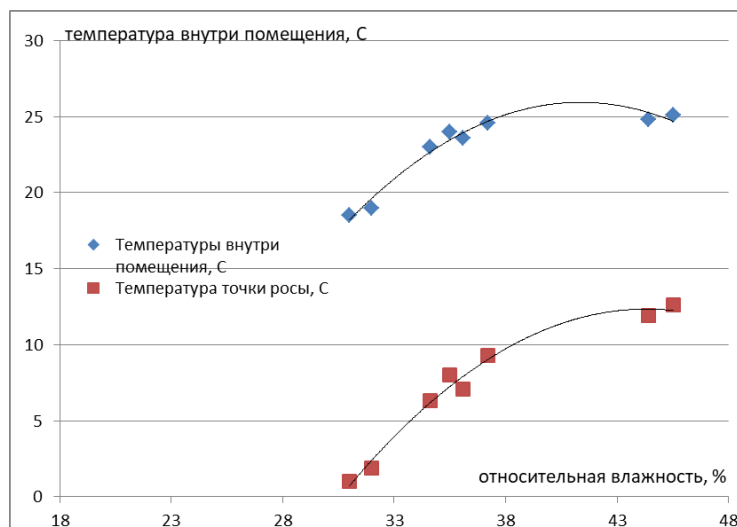


Рисунок 6.10 – Расчетные значения температуры точки росы внутри помещения при опытных испытаниях при открытии приточной струи клапана с очисткой воздуха после 30 минут работы

По результатам экспериментальных исследований в тёплый и холодный периоды года при работе приточного клапана с очисткой воздуха (рис.6.10) температура внутри помещения и на поверхностях ограждающих конструкций (п.6.4) не ниже температуры точки росы, что исключает образование конденсата. Расчёт температуры точки росы произведен по результатам экспериментальных данных измеренной температуры и относительной влажности воздуха помещений в теплый и холодный периоды года при работе устройства с помощью сертифицированного прибора термогигрометра Ива-6.

6.5. Результаты измерений температуры поверхности ограждающих конструкций внутри помещений при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха

На рис. 6.11 приведено распределение полей температур поверхностей вблизи клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха

диаметром 100 мм через 1 час после открытия приточной струи с расходом $65 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $95 \text{ м}^3/\text{ч}$ при температурах наружного воздуха -25°C ; -15°C .

При работе клапана ($\Delta p=15-20 \text{ Па}$) значительного изменения температуры поверхности не наблюдалось на внутренней решетке клапана, у решетки клапана $+14-15^\circ\text{C}$ – на незначительной зоне поверхности под клапаном при температуре наружного воздуха -25°C . Под радиатором отопления у поверхности пола температура поверхности ограждения снизилась менее чем на 1°C .

Построены поля температур поверхностей ограждающих конструкций при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в течение 1 часа и при закрытых клапанах (рис.6.11).

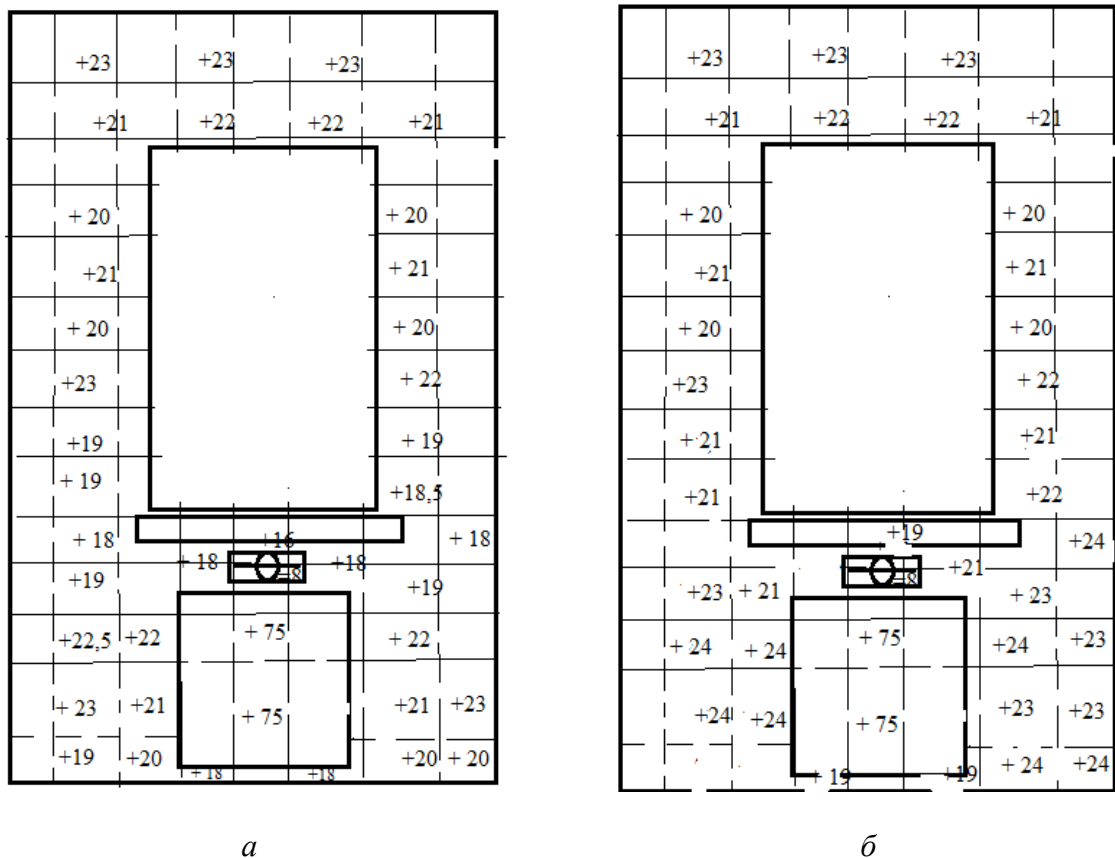


Рисунок 6.11 – Результаты экспериментальных измерений полей температуры поверхностей ограждающих конструкций при температуре наружного воздуха -25°C с расходом $65 \text{ м}^3/\text{ч}$: а – при работе клапана с очисткой воздуха в течение 1 часа; б – при закрытом клапане приточной вентиляции с очисткой воздуха

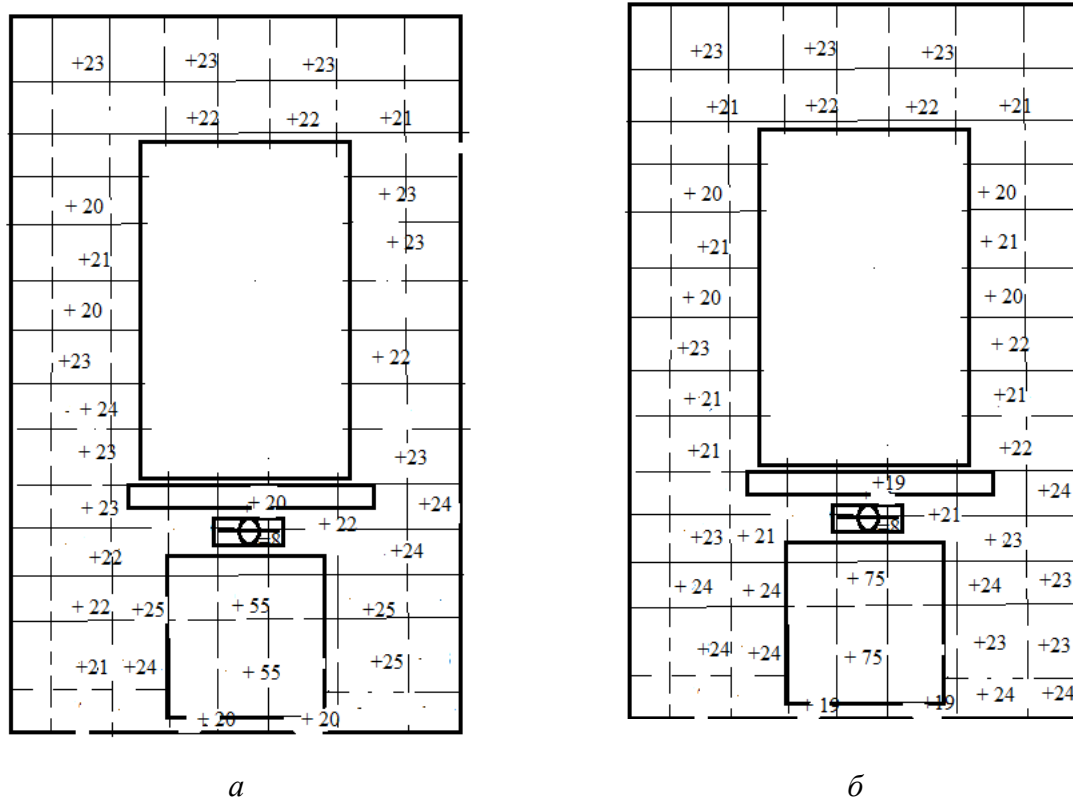


Рисунок 6.12 – Результаты экспериментальных измерений полей температуры поверхностей ограждающих конструкций при температуре наружного воздуха -15°C с расходом $95\text{ м}^3/\text{ч}$: а – при работе клапана с очисткой воздуха в течение 1 часа; б – при закрытом клапане приточной вентиляции с очисткой воздуха

В отопительный период года выполнялись замеры температуры поверхности стены в различных точках. При обследовании поверхности наружной стены около работающего приточного клапана с очисткой воздуха зафиксирована лишь незначительная область пониженных температур над клапаном вблизи воздухораспределительной решетки до $+14-16^{\circ}\text{C}$. При работе приточных клапанов с очисткой воздуха над радиатором отопления, значительного изменения температуры вблизи клапанов не наблюдалось. Коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций для помещений составил от $3,1$ до $4,2\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, при понижении температуры наружного воздуха до -30°C находится в пределах допустимых значений, что достигается регулированием расхода воздуха в течение суток на основании программного обеспечения автоматически либо ручным переключателем.

6.6. Описание разработанной программы ЭВМ для сводного расчёта вертикального распределения безразмерных концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий с учётом типа локальной застройки

На основании разработанной методики расчёта вертикального распределения безразмерных концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с учетом типа локальной застройки разработан алгоритм программы, позволяющий производить расчет загрязнения газообразными веществами по высоте зданий при совместном присутствии источников выброса в атмосферу (точечного и передвижного) и различных вариантах типа локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, торцевая под углом, смешанная).

В разделе МРР 2017: IX. Метод расчета рассеивания выбросов ЗВ в атмосферном воздухе с учетом влияния застройки, пункт. 9.7. Расчет вертикального распределения ЗВ в атмосфере по вертикали на крышах и стенах зданиях есть поправка учета влияния застройки (длина, ширина зданий, аэродинамические тени), но нет поправки типа локальной застройки (периметральная, точечная, торцевая, торцевая под углом, смешанная) - структуры застройки кварталов поселения, определяемая сочетанием нескольких градостроительных типологий застройки, в зависимости от взаимного размещения зданий и их расположения по отношению к красным линиям локального района города (микрорайона).

При вертикальном расчете концентраций общепринятой методикой МРР 2017 с учетом застройки, необходимо и важно использовать в качестве приложения (дополнения) разработанную программу вертикального распределения безразмерных концентраций от точечных и передвижных источников, что позволит учитывать не только размеры здания, зоны аэродинамической тени, но и расположения зданий в

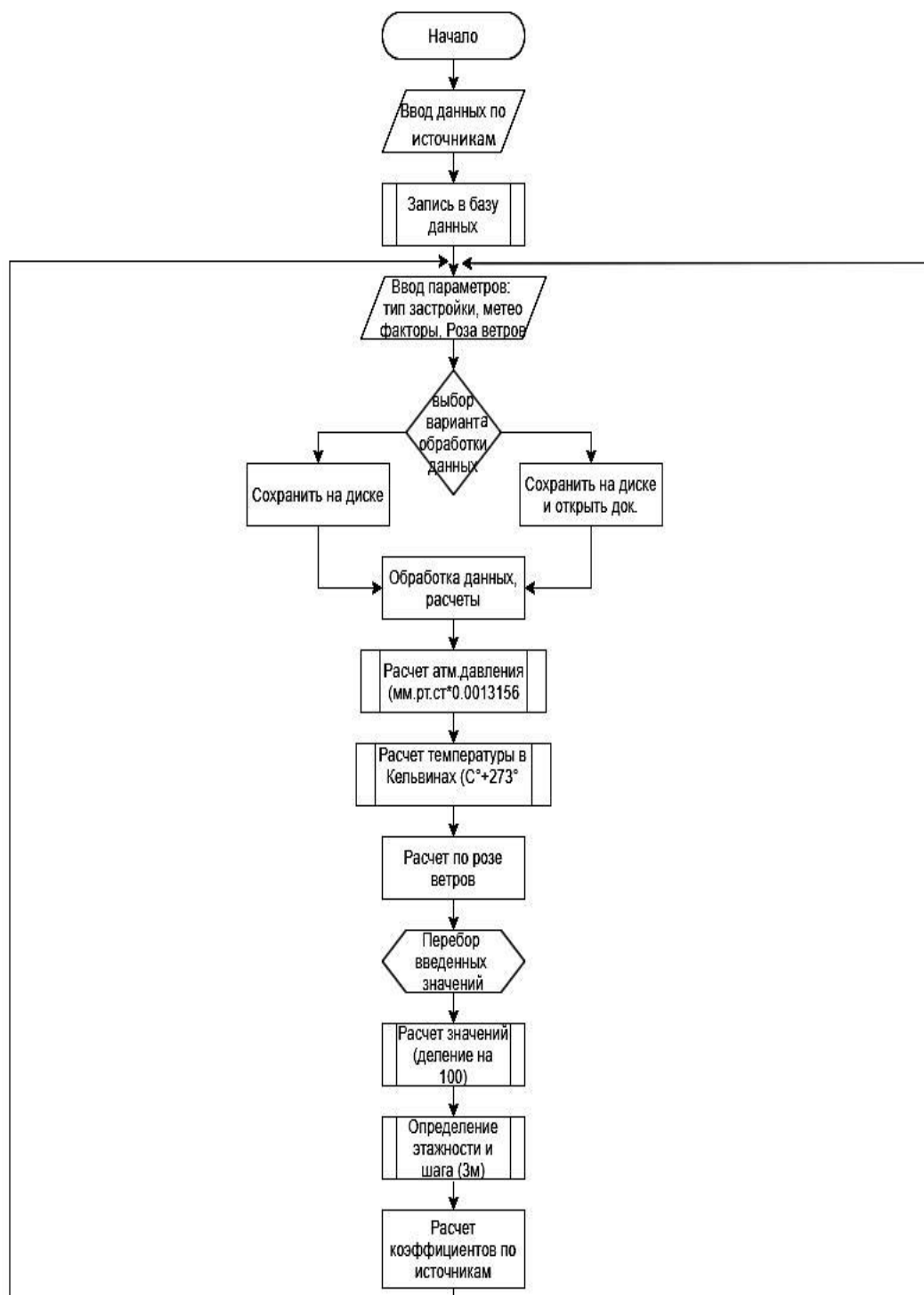
локальном районе города по типу локальной застройки и поправки с учетом вертикального распределения безразмерных концентраций C_i/C_{\max} газообразных загрязнителей (величину отношения концентрации загрязнителя на каждом этаже здания h_i/H к его максимальной концентрации по наружной стене здания) по высоте каждого этажа здания.

Программа предназначена для сводного расчета величин безразмерных концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с учетом типа локальной застройки от точечных и передвижных источников выброса (с интенсивностью движения до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч, 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч).

Программа обеспечивает выполнение функций: на основе заданных исходных данных: высоты здания, расстояния источников до здания, высоты точечного источника, типа локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, торцевая под углом, смешанная), метеорологических параметров (температуры, скорости, розы ветров) в холодный и теплый периоды года позволяет произвести сводный расчет по высоте каждого этажа здания величин безразмерных концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) в приточном воздухе с наветренной и подветренной здания от нескольких источников выброса. Отображает результат в виде таблиц; производит анализ и выделяет этажи здания, где отмечаются превышения концентраций загрязнителей. Экспортирует результаты в файлы программы Excel при различных типах застройки, в том числе результаты сводного расчета источников при локальных застройках.

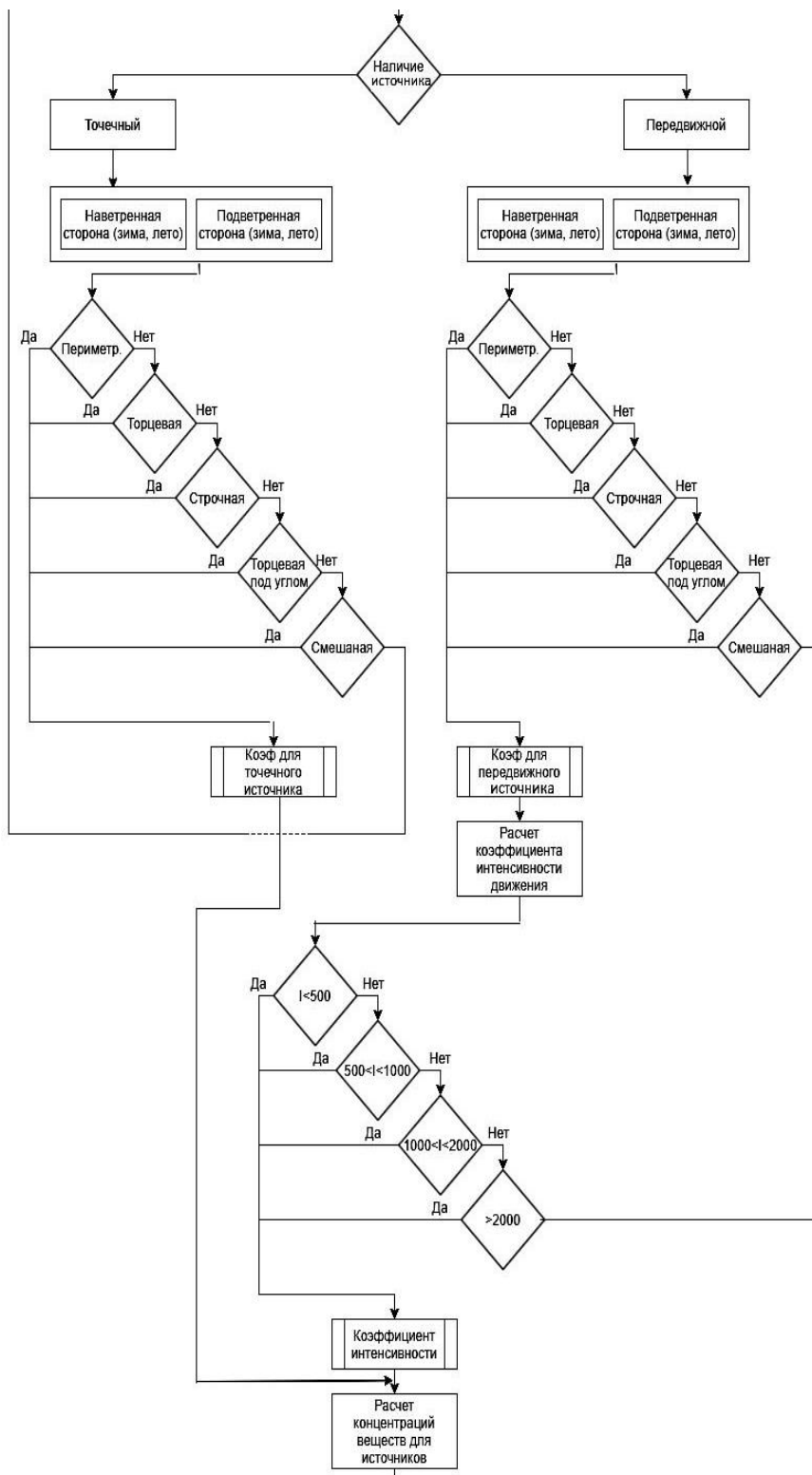
Результаты расчета вертикального распределения концентраций по МРР 2017 по наружной стене здания необходимо учитывать с полученной поправкой учёта типа локальной застройки по высоте здания.

Ниже приведен алгоритм, блок-схема разработанной программы (рис. 6.13).



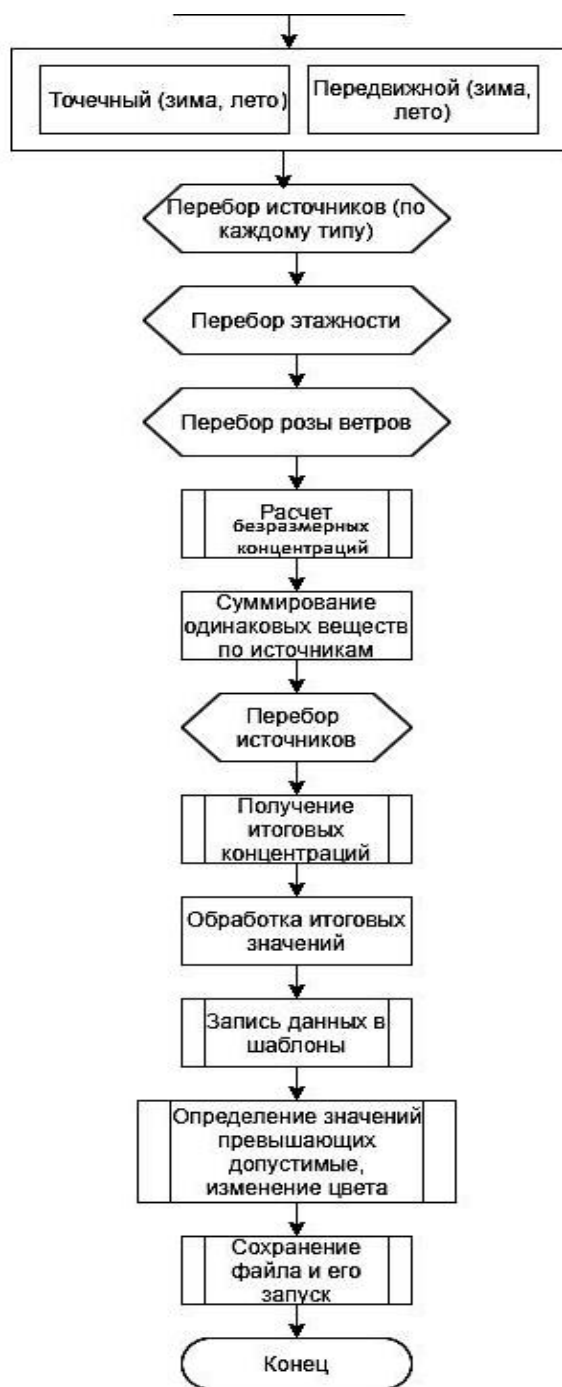
a - начало блок-схемы

Рисунок 6.13 – Блок-схемы алгоритма программы сводного расчета безразмерных концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий с учетом типа локальной застройки



б – продолжение блок-схемы

Рисунок 6.13 – Блок-схемы алгоритма программы сводного расчета безразмерных концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий с учетом типа локальной застройки



в - окончание блок-схемы

Рисунок 6.13 – Блок-схемы алгоритма программы сводного расчета безразмерных концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий с учетом типа локальной застройки

В основе алгоритма программы положена разработанная модель вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей

$\frac{c_i}{c_{max}}$ по высоте здания (6.2) с учетом высоты каждого этажа здания (h_i) и высоты всего здания (H), а также характеристик точечного источника выброса и коэффициента диффузии по методу Гиллеленда:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = -U \cdot \frac{0,130(R_{max}-R_i)}{R_{max}^2} + \frac{0,400 \cdot T^{3/2}}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2} \cdot \left(\frac{M_1+M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{1/2} \cdot \left[\frac{0,415 \cdot (H^2 - H \cdot H_i)}{H^4} - \frac{0,037 \cdot (H-h_i)}{H^2}\right], \quad (6.2)$$

где H_i – высота источника, м; H – высота здания, м; R_i – расстояние от источника до наружной стены здания, м; R_{max} – расстояние, на котором достигается максимально-приземная концентрация, м; h_i – высота этажа здания, м; C_i – концентрация загрязнителя на высоте h_i здания, мг/м³; C_{max} – максимальная концентрация по высоте H здания, мг/м³; U – скорость перемещения газообразной примеси; T – температура воздуха, К; $V_{M,1}$ и $V_{M,2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества при нормальных температурах кипения, см³/моль; $M_1; M_2$ – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, г/моль; p – атмосферное давление, атм.

От магистрали с интенсивностью движения автотранспорта свыше 2000 авт./час в программе рассчитывается величина безразмерной концентрации $\frac{c_i}{c_{max}}$ загрязняющих веществ по уравнениям (6.3)-(6.4) изменения концентрации от расстояния (R_i до R_{max}) и по вертикали от поверхности земли (h_i до H) соответственно:

$$\frac{c_i}{c_{max}} = \frac{0,469 \cdot T^{3/2} \cdot \left(\frac{M_1+M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{1/2} \cdot (R_{max}-R_i)}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2 \cdot R_{max}^2} + \frac{0,545 \cdot V \cdot (R_{max}-R_i)}{R_{max}^2}, \quad (6.3)$$

$$\frac{c_i}{c_{max}} = \frac{0,169 \cdot T^{3/2} \cdot \left(\frac{M_1+M_2}{M_1 \cdot M_2}\right)^{1/2} \cdot (H-h_i)}{p(V_{M,1}^{1/3} + V_{M,2}^{1/3})^2 \cdot H^2} + \frac{0,198 \cdot V \cdot (H-h_i)}{H^2}, \quad (6.4)$$

где V – скорость ветра, м/с; R_{max} – максимальное расстояние от магистрали до зданий, на котором обнаружена концентрация i -загрязняющего вещества, м; R_i – расстояние от магистрали до здания, м; V – скорость ветра, м/с; H – высота здания, м; h_i – высота этажа, м; T – температура воздуха, К; $V_{M,1}$ и $V_{M,2}$ – молярный объем воздуха и загрязняющего вещества

при нормальных температурах, $\text{см}^3/\text{моль}$; $M_1; M_2$ – молярная масса воздуха и загрязняющего вещества, $\text{г}/\text{моль}$; p – атмосферное давление, атм .

В базе данных программы хранятся коэффициенты учета интенсивности движения магистрали (табл.6.3).

Таблица 6.3 – Коэффициент учета интенсивности движения магистрали

1000-2000 авт./ч	500-1000 авт./ч	до 500 авт./ч
0,19	0,13	0,0667

Входящими параметрами программы на основе разработанной модели вертикального распределения концентрации от точечного источника являются: расстояние от источника до здания R_i , м; высота здания H , м; высота источника $H_{и}$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_{и}/H$. Метеорологические факторы: скорость ветра (U), м/с: зимний период; летний период; температура, в Кельвинах: зимний период (абсолютный максимум среднегодовой); летний период (абсолютный минимум среднегодовой); давление, мм.рт.ст. (атм): в зимний и летний периоды; роза ветров, по основным румбам (среднегодовые параметры), %: для зимнего и летнего периодов года для городов по данным центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; тип локальной застройки: периметральная; торцевая; строчная; торцевая под углом; смешанная.

Входящими параметрами программы на основе разработанной модели с наветренной стороны от передвижного источника выброса (автомагистрали) являются: расстояние от магистрали до здания R_i , м; высота здания H , м; интенсивность автомагистрали I , авт./ч : до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч. Метеорологические факторы: скорость ветра (V), м/с: зимний период, летний период; температура, К: зимний период (абсолютный максимум); летний период (абсолютный минимум), К; давление, мм.рт.ст. (атм.): зимний и летний

периоды; тип локальной застройки: периметральная, торцевая, строчная, торцевая под углом, смешанная.

Для расчета эффекта суммации от нескольких источников выброса в атмосферу с наветренной стороны здания учитывается суммация безразмерных концентраций газообразных загрязняющих веществ по формуле (6.5) к максимальной концентрации по высоте H здания:

$$\frac{C_i(\text{источник№1})}{C_{i\max}} + \frac{C_i(\text{источник№2})}{C_{i\max}} + \dots \dots \frac{C_i(\text{источник№n})}{C_{i\max}} \leq \frac{C_i}{C_{i\text{пдк}}}, \quad (6.5)$$

где C_i – концентрация i -газообразного загрязняющего вещества по высоте каждого этажа здания (h_i) обладающего эффектом суммации, мг/м^3 ; C_{\max} – максимальная концентрация по высоте здания H , мг/м^3 ; $\frac{C_i}{C_{i\text{пдк}}}$ – предельно-допустимая безразмерная концентрация i -газообразного загрязняющего вещества.

С подветренной стороны здания от магистрали учитывается поправочный коэффициент типа локальной застройки в зависимости от интенсивности движения магистрали (табл.6.4).

Таблица 6.4 – Поправочные коэффициенты K учёта типа локальной застройки для передвижных источников

Интенсивность движения, авт./ч	Торцевая наветренная/ подветренная	Строчная наветренная/ подветренная	Периметральная наветренная/ подветренная	Торцевая под углом наветренная/ подветренная	Смешанная наветренная/ подветренная
до 500	0,99/0,777	0,768/0,668	1,0 / 0,375	0,541/0,441	0,321/0,221
500–1000	0,99/0,889	0,868/0,768	1,0/0,475	0,641/0,540	0,421/0,340
1000–2000	0,99/0,95	0,968/0,868	1,0/0,618	0,751/0,640	0,521/0,435
2000 – 3000	0,99/0,97	0,99/0,968	1,0/0,750	0,841/0,78	0,621/0,535

Для учета типа застройки от точечных источников выброса в БД программы хранятся поправочные коэффициенты, учитывающие тип локальной застройки для концентраций загрязняющих веществ с наветренной и подветренной сторон здания, где $H_{и}$ – высота источника, м и H – высота здания, м (табл.6.5).

Таблица 6.5 – Поправочные коэффициенты учета типа локальной застройки для концентраций загрязняющих веществ по высоте здания от точечных источников выброса, работающих на природном газе с наветренной (I) и подветренной (II) стороны здания от источников (*k* пересчета типа застройки для точечных источников)

$H_{и}/H$	торцевая		строчная		периметральная		торцевая под углом		смешанная	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2,5	0,570	0,513	0,320	0,220	0,95	0,765	0,560	0,460	0,768	0,668
2	0,667	0,601	0,445	0,345	0,96	0,829	0,677	0,577	0,667	0,567
1,5	0,827	0,744	0,556	0,456	0,98	0,904	0,744	0,644	0,556	0,456
1	0,974	0,877	0,667	0,567	0,99	0,977	0,650	0,550	0,445	0,345
0,5	0,999	0,967	0,768	0,668	1,0	0,989	0,541	0,441	0,321	0,221

6.5.1. Фрагменты визуализации разработанного алгоритма программы сводного расчета безразмерных концентраций в приточном воздухе по высоте здания при различных типах локальной застройки

Ниже приведены фрагменты визуализации разработанной программы (рис.6.14).

Просмотр всех добавленных точечных источников

Номер источника	Ri	H	Hi
3	100.0	30.0	15.0
4	100.0	30.0	35.0
5	150.0	30.0	45.0
6	400.0	30.0	50.0
1	100.0	30.0	15.0
2	100.0	30.0	45.0

Рисунок 6.16 – Просмотр данных всех добавленных точечных источников: (Ri – расстояние от точечного источника до здания, м; H – высота здания, м; Hi – высота источника, м)

Просмотр всех добавленных передвижных источников

Номер источника	Ri	H	I
8	35.0	30.0	>2000

Рисунок 6.17 – Просмотр данных добавленных передвижных источников: (Ri – расстояние от магистрали до здания; H – высота здания, м; I – интенсивность движения автотранспорта магистрали, авт./час)

Затем в программе выбирается тип локальной застройки (рис.6.18).

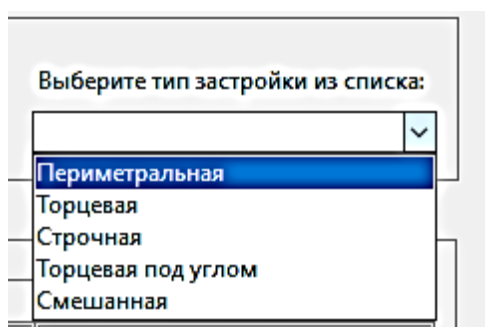


Рисунок 6.18 – Выбор типа локальной застройки

Далее вводятся метеорологические условия в холодный и теплый периоды года по данным центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды города (среднегодовые): скорость ветра, температура, давление, роза ветров по всем направлениям ветра (рис.6.19).

Сводный расчет вертикального распределения концентраций источников выброса

Источник загрязнения выброса в атмосферу и тип застройки

Добавить точечный источник Итого Очистить всё

Добавить передвижной источник Итого

Выберите тип застройки из списка:
Периметральная

Метеорологические факторы

Скорость ветра (U), м/с		Температура, С°		Давление, мм.рт.ст.	
среднегодовая		абс. max среднегодовой		среднегодовое	
зимний период	летний период	зимний период	летний период	зимний период	летний период
5	4	-33	23	777	756

Роза ветров по основным румбам (среднегодовые параметры)

Направление ветра ЗИМА, фі	Ю фю	С фс	З фз	В фв	ЮЗ фюз	ЮВ фюв	СЗ фсз	СВ фсв
Процент, %*	14.1	5.4	12.4	8.7	15.4	32.8	2.5	8.7

Направление ветра ЛЕТО, фі	Ю фю	С фс	З фз	В фв	ЮЗ фюз	ЮВ фюв	СЗ фсз	СВ фсв
Процент, %*	15.1	6.4	13.5	9.8	16.4	33.9	2.7	9

* значения процентов вводим без знака %, значения с десятичными долями вводим через точку (xx.xx)

Выбор вариантов расчета

Сформировать и сохранить на диске Сформировать и открыть файлы

Рисунок 6.19 – Окно ввода метеорологических данных (пример)

Программа позволяет удалять и добавлять источники выброса из базы и хранить в базе данных (рис.6.20).

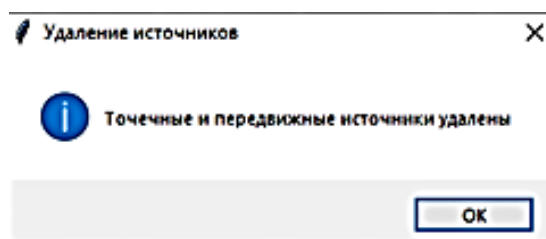


Рисунок 6.20 – Удаление источников из базы данных

Далее программа формирует файл в программе Excel, где написан тип локальной застройки, дата и время расчета (рис.6.21).

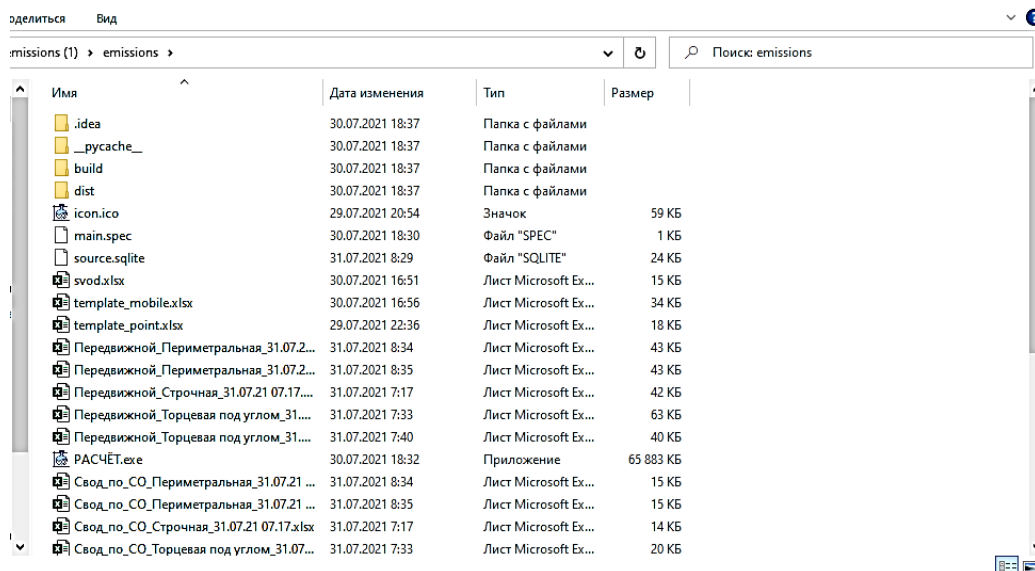


Рисунок 6.21 – Выгрузка файлов Excel по типам застройки и введенным источникам выброса наружного воздуха

Результатом расчета являются по разработанной модели величины безразмерных концентраций (c_i/c_{max}) с наветренной и подветренной сторон (по всем направления розы ветров) здания для холодного и теплого периода CO для точечных, сводный расчёт CO в приточном воздухе для точечных и передвижных источников, сводный расчёт для магистралей с разной интенсивностью движения автотранспорта безразмерных концентраций CO, фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) по всем этажам здания до высоты H здания.

Производится расчет величины безразмерной концентрации загрязнителя в приточном воздухе, доля распределения к максимальной концентрации по высоте всего здания по всем направления ветра (рис.6.22-6.25). Результат расчета можно учитывать при любой ориентации наружной стены здания по частям света (Ю, С, СВ, ЮВ, ЮЗ, В, З).

Свод по СО Периметральная_31.07.21 08.35.xlsx [Только для чтения] - Microsoft Excel (Сбой активации продукта)

Распределение концентраций оксида углерода (II) СО по высоте здания застройки с наветренной стороны здания от передвижных и точечных источников выброса в атмосферу

Величина безразмерной концентрации СО/Сmax с учетом розы ветров города

Земный период года	З	В	ЮЗ	ЮВ	СЗ	СВ	Ю	С
	1	0.001007847	0.000717767	0.001242775	0.002490830	0.000276823	0.000746190	0.001055188
2	0.000900028	0.000640663	0.001107697	0.002230125	0.000245707	0.000661766	0.000934403	0.000479818
3	0.000784514	0.000558160	0.000971388	0.001974626	0.000220439	0.000581862	0.000803913	0.000381523
4	0.000689172	0.000500423	0.000865686	0.001729047	0.000205867	0.000549273	0.000709805	0.000344961
5	0.000590531	0.000427193	0.000737465	0.001470747	0.000178564	0.000468723	0.000620729	0.000304141
6	0.000491080	0.000346289	0.000612368	0.001215988	0.000153918	0.000383240	0.000517489	0.000254244
7	0.000395807	0.000278545	0.000489170	0.000960783	0.000135054	0.000324355	0.000413742	0.000207212
8	0.000297767	0.000213466	0.000373569	0.000712260	0.000110074	0.000249291	0.000327207	0.000171552
9	0.000200493	0.000145723	0.000250372	0.000459446	0.000085094	0.000174227	0.000223461	0.000124321
10	0.000103220	0.000077980	0.000127175	0.000206632	0.000060114	0.000099163	0.000119714	0.000077289

Рисунок 6.22 – Пример результата сводного расчета безразмерных концентраций СО по высоте зданий в приточном воздухе от точечных источников при периметральном типе застройки (наветренная и подветренная стороны)

Передвижная Периметральная_31.07.21 08.34.xlsx [Только для чтения] - Microsoft Excel (Сбой активации продукта)

Распределение концентраций оксида углерода (II) СО по высоте зданий застройки с подветренной стороны здания от передвижных источников выброса в атмосферу

Величина безразмерной концентрации СО/Сmax с учетом розы ветров города

Земный период года	Ю	С	З	В	ЮЗ	ЮВ	СЗ	СВ	Летний период года
	1	0.000373877	0.000144719	0.000332318	0.000233118	0.000412717	0.000879094	0.000087000	
2	0.000338324	0.000128571	0.000297534	0.000209753	0.000349517	0.000787024	0.000059987	0.000209753	0.000295468
3	0.000286771	0.000114428	0.000257149	0.000184848	0.000293818	0.000696914	0.000052974	0.000184848	0.000261709
4	0.000259218	0.000099273	0.000237965	0.000169493	0.000263311	0.000640904	0.000045961	0.000169493	0.000242905
5	0.000219865	0.000084177	0.000219181	0.000151539	0.000235918	0.000510894	0.000038948	0.000151539	0.000219410
6	0.000180112	0.000068979	0.000183987	0.000113183	0.000196718	0.000418983	0.000031835	0.000113183	0.000177704
7	0.000140539	0.000053831	0.000138412	0.000088728	0.000153519	0.000328975	0.000024922	0.000088728	0.000133119
8	0.000101008	0.000038583	0.000098328	0.000059232	0.000110319	0.000214885	0.000017959	0.000059232	0.000088474
9	0.000060463	0.000023539	0.000064044	0.000037918	0.000071119	0.000142055	0.000010898	0.000037918	0.000053923
10	0.000021800	0.000008387	0.000021820	0.000013113	0.000023919	0.000050943	0.000003983	0.000013113	0.000019183

Рисунок 6.23 – Пример результата расчетов безразмерных концентраций СО, фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (С1-С5) в приточном воздухе по высоте зданий от автомагистрали при периметральном типе застройки

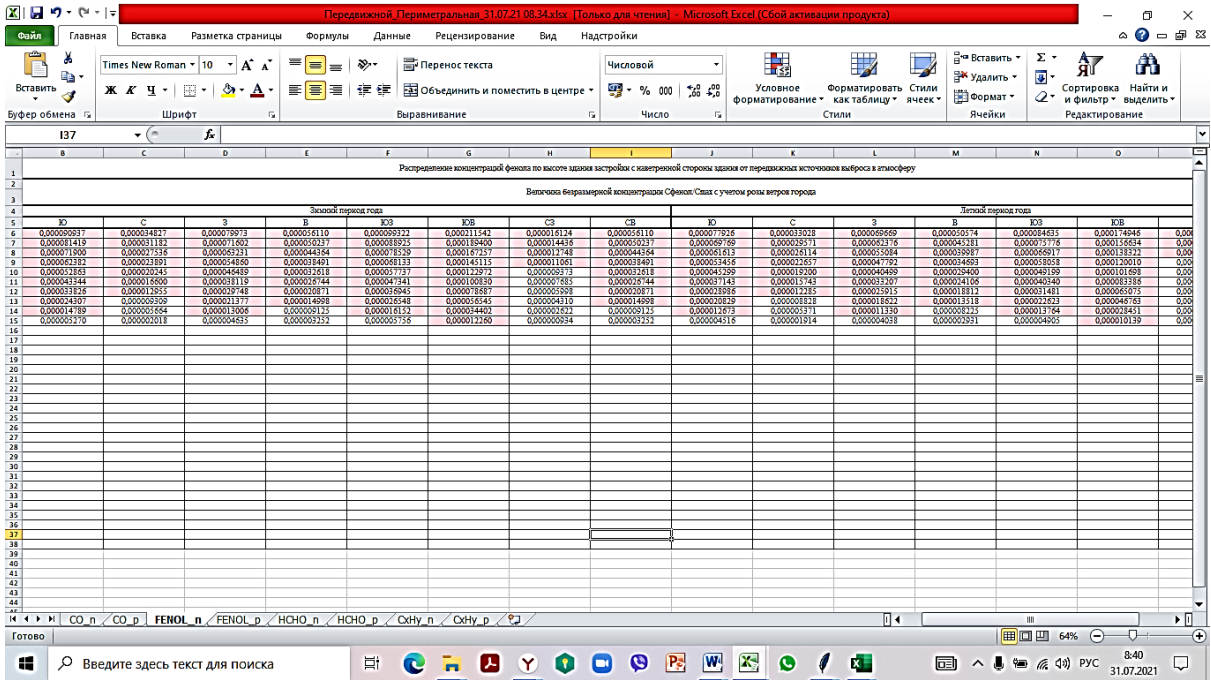


Рисунок 6.24 – Пример результатов расчетов безразмерных концентраций фенола в приточном воздухе по высоте зданий от автомагистрали при периметральном типе застройки

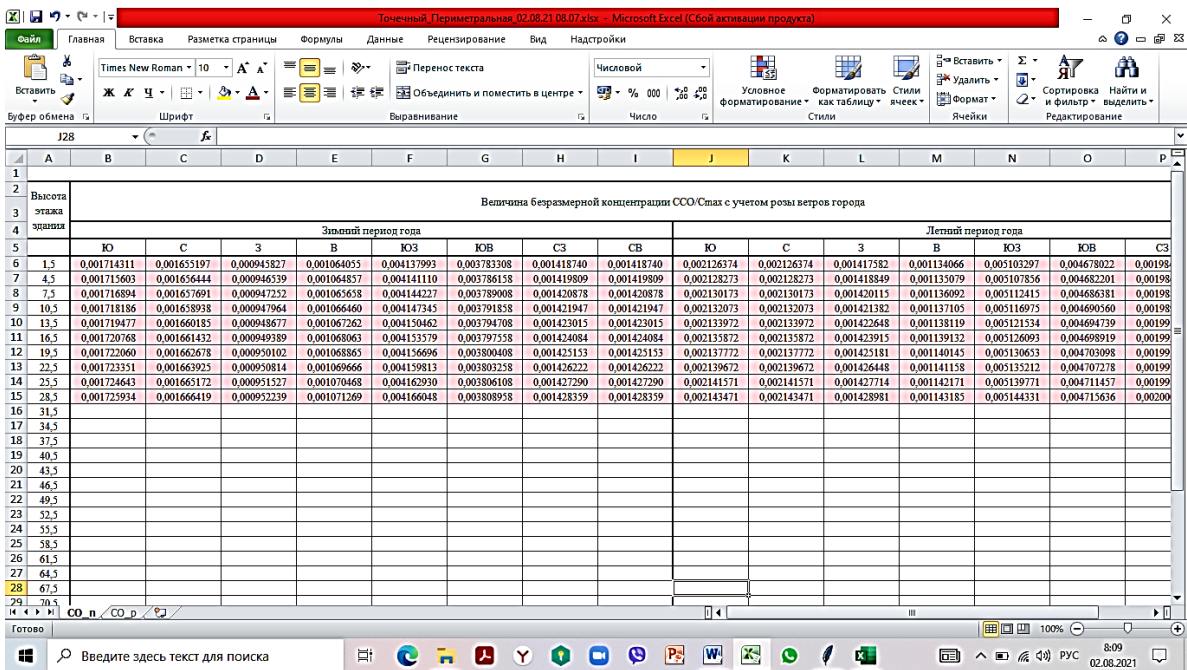


Рисунок 6.25 – Пример результатов расчетов безразмерных концентраций СО в приточном воздухе по высоте зданий от точечных источников при периметральном типе застройки

Выводы по программному обеспечению сводного расчета безразмерных концентраций с учетом типа локальной застройки на основании теоретических и экспериментальных исследований:

1. Разработан алгоритм и блок-схема программы сводного расчета вертикального распределения безразмерных концентраций газообразных загрязнителей в приточном воздухе по высоте здания с учетом типа локальной застройки. Программа обеспечивает выполнение функций: на основе заданных исходных данных: высоты здания, расстояния источников до здания, высоты точечного источника, типа локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, торцевая под углом, смешанная), метеорологических параметров (температуры, скорости, розы ветров) в зимний и летний периоды года позволяет произвести сводный расчет по высоте каждого этажа здания величин безразмерных концентраций оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) с наветренной и подветренной здания от нескольких источников выброса.

2. При вертикальном расчете концентраций общепринятой методикой МРР 2017 с учетом застройки необходимо использовать в качестве приложения (дополнения) разработанную программу вертикального распределения безразмерных концентраций от точечных и передвижных источников, что позволит учитывать не только размеры здания, зоны аэродинамической тени, но и расположения зданий в локальном районе города по типу локальной застройки и результата вертикального распределения безразмерных концентраций C_i/C_{\max} газообразных загрязнителей (величину отношения концентрации загрязнителя C_i на каждом этаже здания h_i/H к его максимальной концентрации C_{\max} по наружной стене здания) по высоте каждого этажа здания.

3. Входящими параметрами программы от точечного источника являются: расстояние от источника до здания R_i , м; высота здания H , м; высота источника $H_{и}$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_{и}/H$. Метеорологические факторы в зимний и летний периоды года: скорость ветра (U), м/с; температура, в Кельвинах: зимний период (абсолютный максимум среднегодовой); летний период (абсолютный минимум среднегодовой); давление, мм.рт.ст. (атм); роза ветров, по основным румбам (среднегодовые параметры), %: для городов по данным центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; тип локальной застройки: периметральная; торцевая; строчная; торцевая под углом; смешанная.

4. Входящими параметрами программы с наветренной стороны от передвижного источника выброса (автомагистрали) являются: расстояние от магистрали до здания R_i , м; высота здания H , м; интенсивность автомагистрали I , авт./ч: до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч. Метеорологические факторы в зимний и летний периоды года: скорость ветра (V), м/с; температура, К: зимний период (абсолютный максимум); летний период (абсолютный минимум), К; давление, мм.рт.ст. (атм.); тип локальной застройки: периметральная, торцевая, строчная, торцевая под углом, смешанная.

5. Разработанная программа отображает результат в виде таблиц в теплый и холодный периоды года по всем этажам здания различной этажности; производит анализ и выделяет этажи здания, где отмечаются превышения концентраций загрязнителей. Экспортирует результаты в файлы программы Excel при различных типах застройки, в том числе результаты сводного расчета источников при локальных застройках.

6.7. Пример расчёта по разработанной программе ЭВМ для прогнозирования концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий в присутствии точечных источников

Для прогноза концентраций оксида углерода (II) в наружном воздухе по высоте зданий от стационарных высотных источников разработана программа для ЭВМ.

Исходными параметрами программы (входящими параметрами) являются (рис.6.26):

- $H_{и}$ – высота источника (высота трубы котельной), м;
- H – высота всего здания (проектируемого либо существующего), м;
- R – расстояние от источника до фасада здания, м.

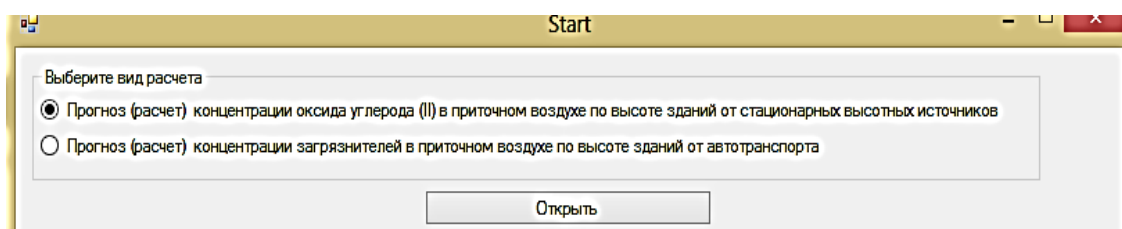


Рисунок 6.26 – Окно программы для выбора варианта расчета концентраций в наружном воздухе зданий от точечных источников

Высота от поверхности земли h (высота этажа здания), м. Программа самостоятельно задает шаг этажа в пределах высоты всего здания H , то есть начинает расчет показателя C (концентрации) с шагом высоты этажа здания от $h_1=1,5$ м (уровень первого этажа) до H – до высоты здания (до последнего этажа здания).

Если концентрация на i -ом этаже $C_i < 0$, то это означает, что концентрация в наружном воздухе не обнаружена. Следовательно, программа в таблице выдает результат «концентрация не обнаружена».

h, м С, мг/м³

Вывод:

Сделать расчет Экспорт в Word

Н_и - высота источника, м;
 Н - высота здания, м;
 R - расстояние от источника до здания, м;
 h - высота от поверхности земли, м;
 С - концентрация загрязнителя по высоте всего здания в наружном воздухе

Рисунок 6.27 – Ввод исходных данных в программу для прогнозирования концентрации СО в наружном воздухе по высоте зданий от точечных источников

Рассмотрим пример выходных параметров программы, если известны следующие исходные данные.

Пусть проектируемое здание (высотой 35 метров) будет находиться на расстоянии 100 метров от высотного источника выброса высотой 20 метров.

Исходными параметрами программы (входящими параметрами) являются (рис.6.28):

- Н_и – высота источника (высота трубы котельной), 20 м;
- Н – высота всего здания (проектируемого здания), 35 м;
- R – расстояние от источника до фасада здания, 100 м.

Hi 20 h, м C, мг/м³

H 35

R 100

Вывод

Сделать расчет Экспорт в Word

Hi - высота источника, м;
H - высота здания, м;
R - расстояние от источника до здания, м;
h - высота от поверхности земли, м;
C - концентрация загрязнителя по высоте всего здания в наружном воздухе

Рисунок 6.28 – Ввод исходных параметров в программу для прогноза концентраций в приточном воздухе от стационарных высотных источников

В программе и в формулах h_i – высота от поверхности земли (высота этажа здания), м. Задаёт h_i программа самостоятельно от 1,5 м до 35 метров расчет концентрации C_i загрязнителя с шагом высоты этажей здания, после того как выбираем вкладку «сделать расчет».

Тогда получаем результат концентрации СО оксида углерода (II), которая представлена в виде табл.6.6.

Таблица 6.6 – Прогнозируемые концентрации оксида углерода (II) по высоте всего здания (по высоте каждого этажа) в наружном воздухе

h, м высота от поверхности земли (высота этажа)	C, мг/м ³	ПДК СО, мг/м ³
1	2	3
1,5	5,02	3
4,5	4,91	3
7,5	4,80	3

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3
10,5	4,69	3
13,5	4,58	3
16,5	4,47	3
19,5	4,36	3
22,5	4,25	3
25,5	4,14	3
28,5	4,03	3
31,5	3,92	3
34,5	3,81	3

Затем программа выдает график $C(h)$, где видно, что очистка воздуха внутри помещений в проектируемом здании целесообразна на всех этажах, особенно на высоте от 1,5 до 28,5 метров. Кроме того, зная концентрацию в воздухе по стене здания, можно рассчитать на какой промежуток времени сорбенты в клапане будут эффективно справляться с загрязнителем (рис.6.29).

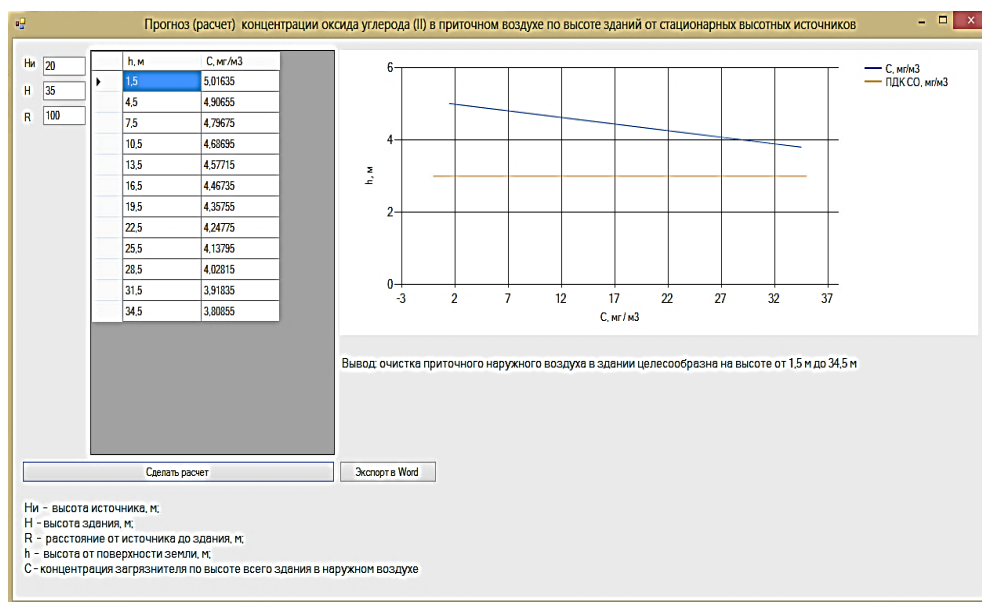


Рисунок 6.29 – Результаты прогноза концентрации оксида углерода (II) CO в наружном воздухе от высотного источника 35 метров на расстоянии 100 метров от здания (программа)

Программа делает вывод, на какой высоте здания целесообразна очистка. Затем результаты, полученные в программе, экспортируются в word (рис.6.30).

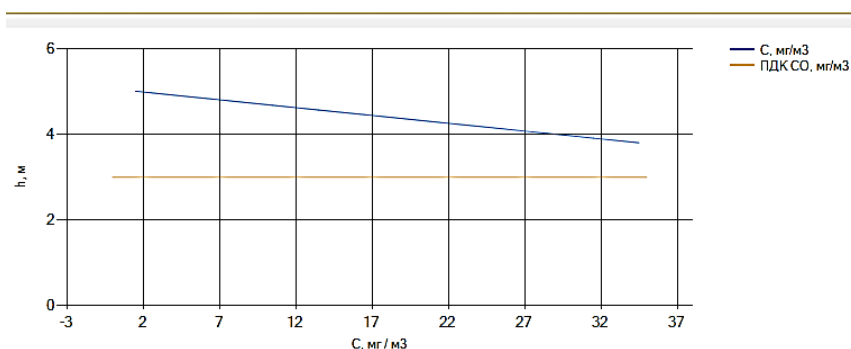


Рисунок 6.30 – График изменения концентрации СО в наружном воздухе по высоте здания от источника 35 метров на расстоянии 100 метров от здания

Очистка приточного воздуха в здании целесообразна на высоте от 1,5 м до 34,5 м.

Пусть проектируемое здание (высотой 35 метров) будет находиться на расстоянии 700 метров от высотного источника выброса высотой 45 метров.

Исходными параметрами программы (входящими параметрами) являются:

- $H_{и}$ – высота источника (высота трубы котельной), 45 м;
- H – высота всего здания (проектируемого здания), 35 м;
- R – расстояние от источника до фасада здания, 700 м;

В программе и формулах h_i – высота от поверхности земли (высота этажа здания), м. Программа самостоятельно задает от 1,5 м до 35 метров расчет концентрации C с шагом 3 метра.

Получаем результат концентрации СО оксида углерода (II), которая представлена в виде таблицы. Программа представляет данную таблицу (рис.6.31).

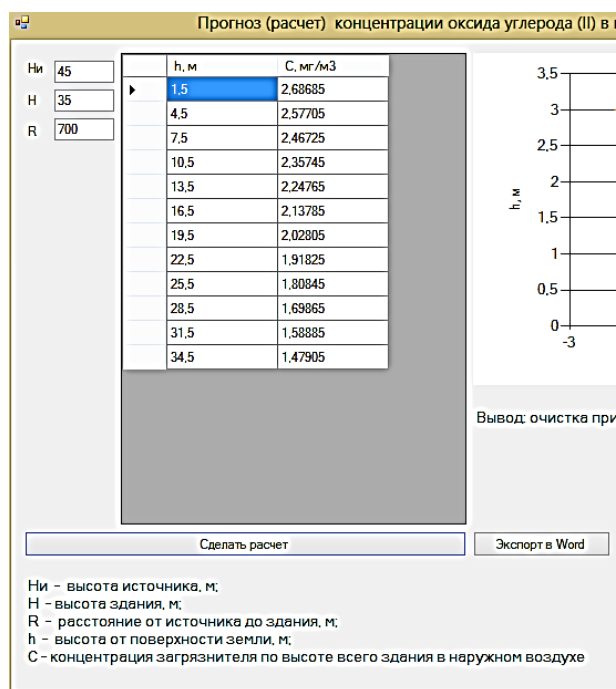


Рисунок 6.31 – Результаты прогноза концентрации CO в приточном воздухе от высотного источника 35 метров на расстоянии 700 метров от здания

Затем программа выдает график $C(h)$, где видно, что очистка воздуха в проектируемом здании не требуется на всех этажах, на высотах от 1,5 до 35 метров. Далее экспортируется результат в word: график (рис.6.32) и ВЫВОД.

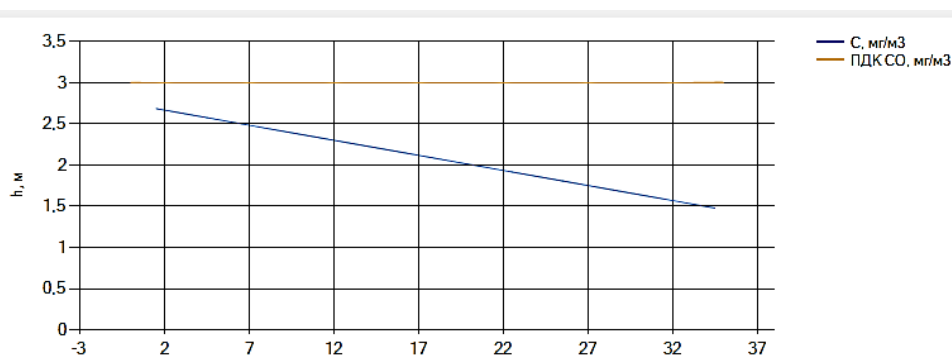


Рисунок 6.32 – График изменения концентрации CO в наружном воздухе по высоте здания от источника 35 метров на расстоянии 500 метров от здания

Вывод программы: очистка приточного воздуха в здании не требуется на высотах от 1,5 м до 34,5 м.

Пусть проектируемое здание (высотой 35 метров) будет находиться на расстоянии 600 метров от высотного источника выброса высотой 45 метров.

Для этого исходными параметрами программы (входящими параметрами в программу) являются:

- $H_{и}$ – высота источника (высота трубы котельной), 45 м;
- H – высота всего здания (проектируемого здания), 35 м;
- R – расстояние от источника до фасада здания, 600 м (рис.6.33).

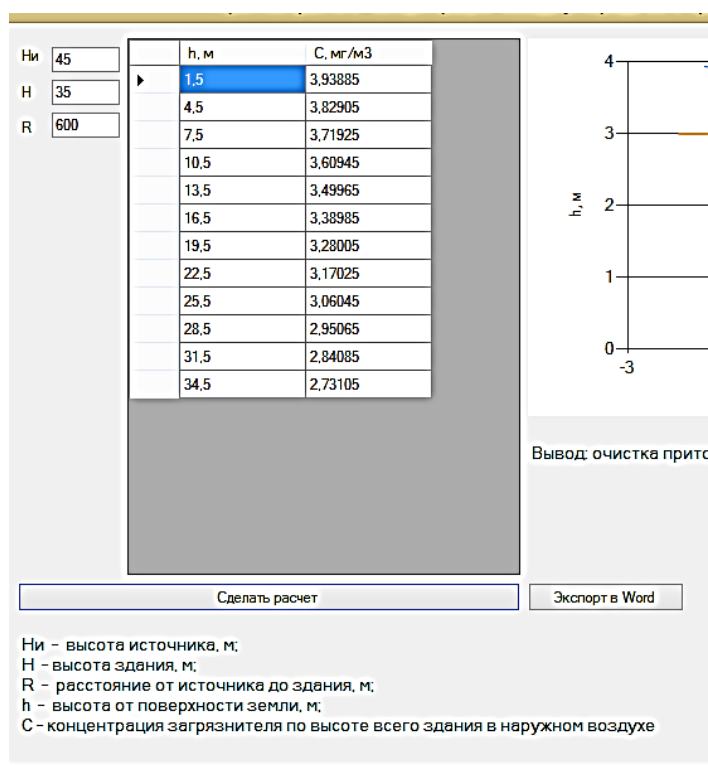


Рисунок 6.33 – Результаты прогноза концентрации CO в приточном воздухе от высотного источника 35 метров на расстоянии 700 метров от здания

h_i – высота от поверхности земли (высота этажа здания), м. Программа самостоятельно задает шаг этажа от 1,5 м до 35 м, для примера расчет концентрации загрязнителя C с шагом 3 метра.

Тогда получаем результат концентрации CO оксида углерода (II).

После расчётов программа выдает график $C(h)$, где видно, что очистка воздуха в проектируемом здании целесообразна на высотах от 1,5

до 25,5 метров. Кроме того, зная концентрацию в приточном воздухе, можно рассчитать, на какой промежуток времени сорбенты в клапане будут эффективно справляться с загрязнителем (рис.6.34).

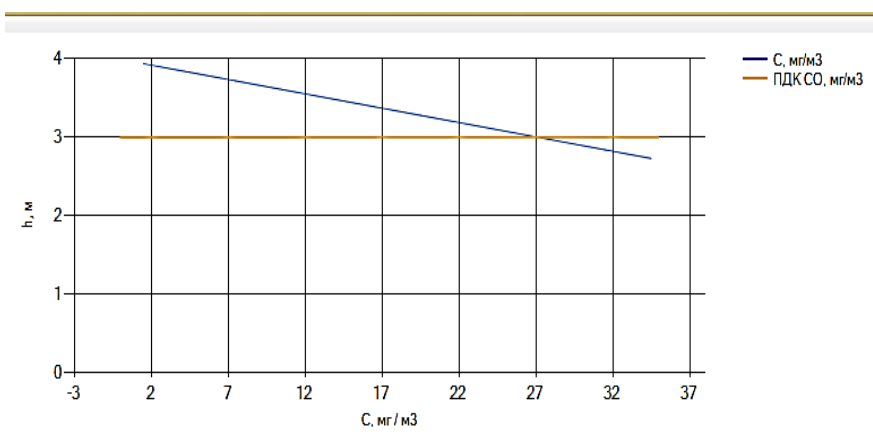


Рисунок 6.34 – График изменения концентрации СО в наружном воздухе по высоте здания от источника 35 метров на расстоянии 700 метров от здания

Далее программа экспортирует результат в word.

Вывод программы: очистка наружного воздуха в здании целесообразна на высоте от 1,5 м до 27,2 м.

Если по результатам исходных данных (вариантов) расчетов $C_1 < 0$, то в таких строках таблицы программа выдает «концентрация не обнаружена» (второй столбец таблицы), график не требуется, а в выводе «Очистка воздуха не требуется», с указанием высоты от поверхности земли, h_i , м.

6.8. Пример расчёта по разработанной программе ЭВМ для прогнозирования концентраций загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий в присутствии передвижных источников

Второй возможностью разработанной программы для проектировщиков, является вкладка, позволяющая сделать прогноз концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе по высоте зданий от

автотранспорта (рис.6.35).

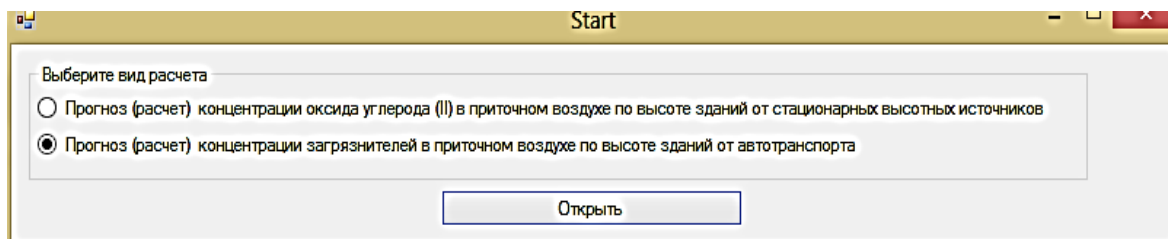


Рисунок 6.35 – Окно программы для выбора варианта расчета концентраций в наружном воздухе зданий от автотранспорта

Если по результатам прогноза по полученным уравнениям после расчета концентрация газообразной примеси (оксида углерода) будет превышать допустимую норму или отношение безразмерной величины $\frac{c}{c_{max}}$ будет больше 0,5, то на этой высоте будет необходима очистка воздуха в клапанах приточной принудительной вентиляции. Для других загрязнителей получена безразмерная ПДК. Безразмерные величины необходимы для того, чтобы математические уравнения имели универсальный характер для любого типа застройки, для зданий, находящихся на различных расстояниях от магистрали с различной интенсивностью движения автотранспорта. При $\frac{c_i}{c_{max}} = 1$ концентрация загрязнителя по высоте максимальна. Если h_i/N близко к 1, то это последний этаж здания, если $h_i/N = 0,5$ – середина здания.

Для этого исходными параметрами программы (входящими параметрами) являются:

- I – интенсивность автомагистрали, авт./ч;
- H – высота здания (проектируемого либо существующего), м;
- R – расстояние от магистрали до фасада здания, м (рис. 6.36).

Прогноз (расчет) концентрации загрязнителей в при

I Выберите вещество
 H оксид углерода (II)
 R углеводороды алифатические
 фенол
 формальдегид

Сделать расчет

hi/H	C/Cmax

Вывод:

Экспорт в Word

I - интенсивность автомагистрали, авт./час
 H - высота всего здания (проектируемого либо существующего), м
 R - расстояние от магистрали до фасада здания, м
 C - концентрация загрязнения на высоте hi от поверхности земли, мг/м³
 Cmax - максимальная концентрация загрязнителя на высоте hi от поверхности земли, мг/м³
 h - высота от поверхности земли, м

Рисунок 6.36 – Ввод исходных данных в программу для прогнозирования концентраций загрязнителей в приточном воздухе здания от автотранспорта

На рис.6.36: h – высота от поверхности земли (высота этажа здания), м. Программа самостоятельно задает шаг этажа в пределах высоты всего здания H .

Если $C_i/C_{max} < 0$, то концентрация загрязнителя в наружном воздухе не обнаружена. Следовательно, программа в таблице выдает результат в виде фразы «концентрация загрязнителя не обнаружена».

Программа позволяет выбирать вещества: оксид углерода (II), углеводороды алифатические, фенол, формальдегид.

Пусть проектируемое здание (высотой 35 метров) будет находиться на расстоянии 30 метров от магистрали с интенсивностью движения автотранспорта около 2564 авт./ч.

Для этого исходными параметрами программы (входящими параметрами в программу) являются:

- I – интенсивность автомагистрали, авт./ч;
- H – высота всего здания (проектируемого либо существующего), м;
- R – расстояние от магистрали до фасада здания, м (рис.6.37).

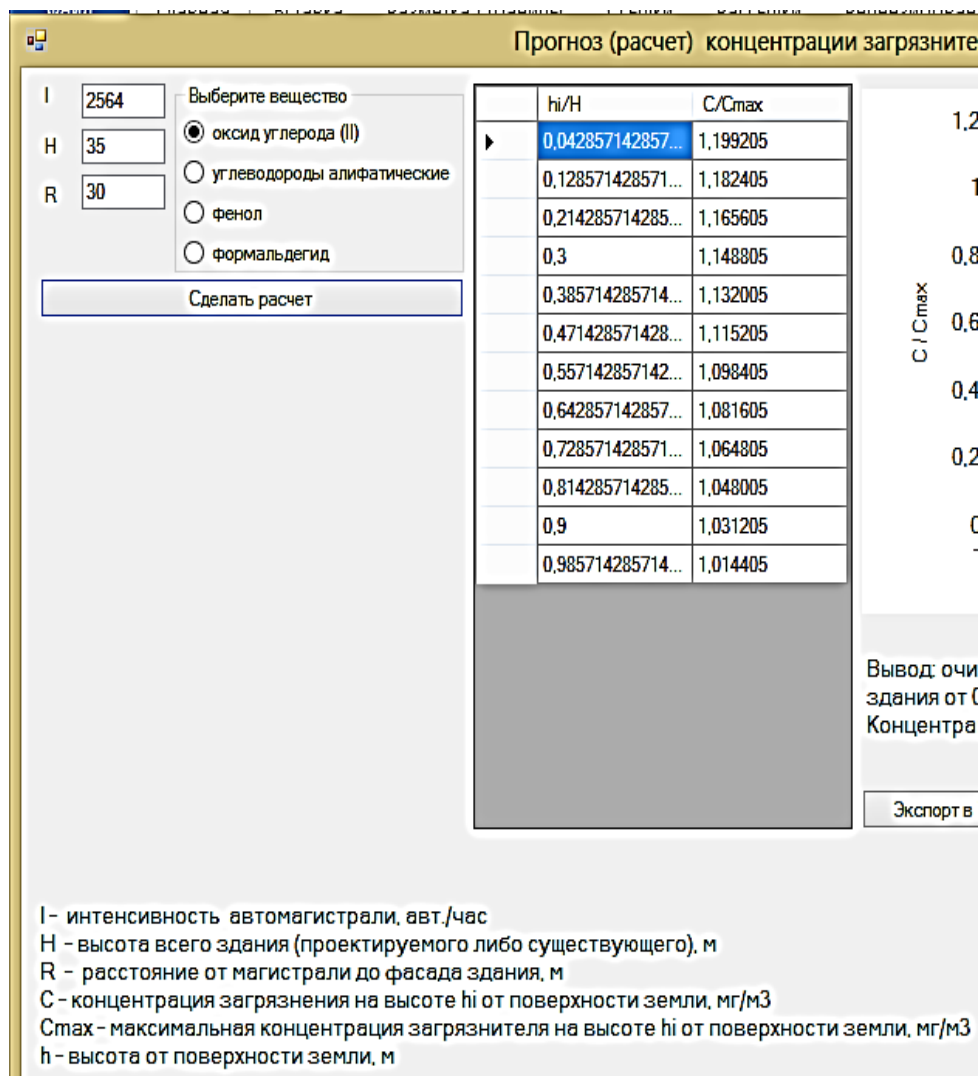


Рисунок 6.37 – Результаты прогноза безразмерных концентраций CO в наружном воздухе зданий на расстоянии 30 метров от магистрали

Тогда получаем результат безразмерной концентрации CO оксида углерода (II), которая представлена в виде табл. 6.6.

Таблица 6.6 – Прогнозируемые безразмерные концентрации оксида углерода (II) по высоте всего здания (по высоте каждого этажа) в наружном воздухе

h_i/H , м	C_i/C_{\max} , мг/м ³	ПДК C_i/C_{\max} , мг/м ³
0,043478	1,199083	0,5
0,130435	1,18204	0,5
0,217391	1,164996	0,5
0,304348	1,147953	0,5
0,391304	1,130909	0,5
0,478261	1,113866	0,5
0,565217	1,096822	0,5
0,652174	1,079779	0,5
0,73913	1,062735	0,5
0,826087	1,045692	0,5
0,913043	1,028648	0,5
1	1,011605	0,5

Для наглядности программа выдает график C/C_{\max} (h/H), где видно, что очистка воздуха в проектируемом здании целесообразна на всех этажах и экспортирует результат в word (рис.6.38). Также в выводе программа выдает, на какой высоте от поверхности земли концентрация максимальна. То есть на этой отметке очистка воздуха средствами и способами защиты обязательна.

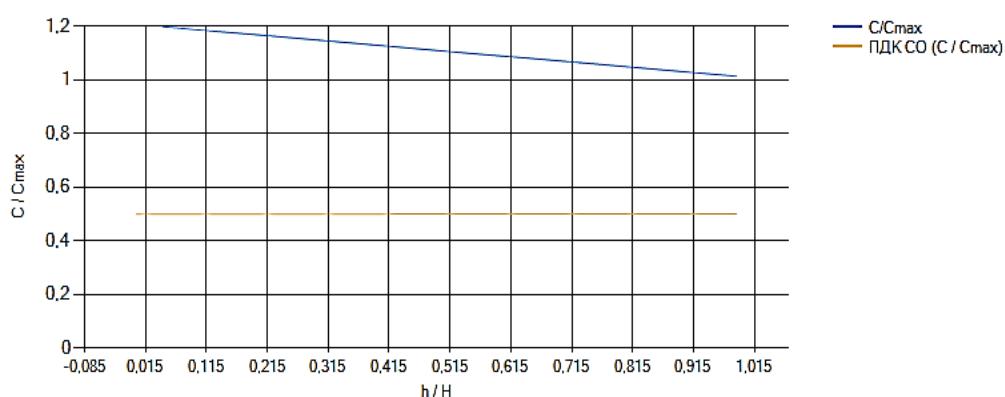


Рисунок 6.38 – Прогнозируемая величина безразмерной концентрации оксида углерода (II) в зависимости от высоты этажа здания

Программа выдает вывод: очистка поступающего воздуха в здание целесообразна по оксид углерода (II) на высотах от поверхности земли для здания от 0,043 (h_i/H) до 0,986 (h_i/H). Концентрация максимальна на высоте 0,043 (h_i/H).

Если $C_i/C_{\max} < \text{ПДК}(C_i/C_{\max})$, то программа должна выдавать результат «Очистка воздуха не требуется на высотах h_i/H ... метров».

Аналогичный результат безразмерной концентрации углеводородов алифатических (рис.6.27), которая представлена в виде табл.6.7. также выдает программа, согласно расчетам C_i/C_{\max} по формуле (6.39).

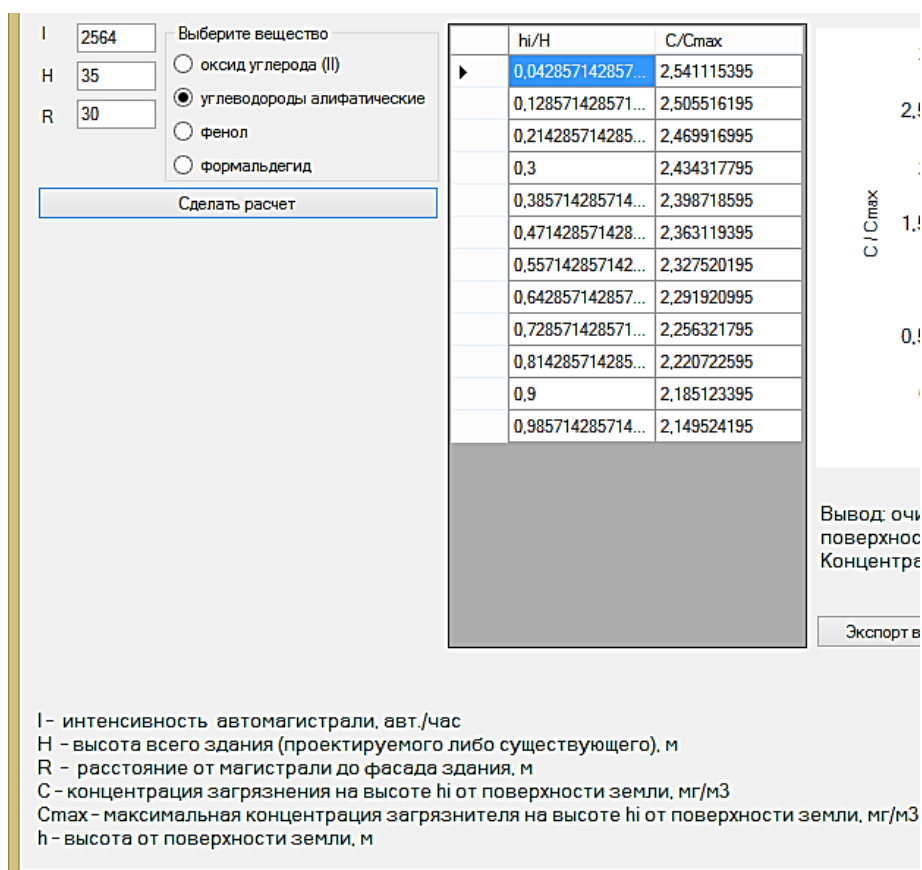


Рисунок 6.39 – Результаты прогноза концентраций углеводородов алифатических в наружном воздухе по высоте здания от автотранспорта

Таблица 6.7 – Прогнозируемые безразмерные концентрации углеводородов алифатических по высоте всего здания (по высоте каждого этажа) в наружном воздухе

h/H, м	C/C_{\max} , мг/м ³ расчет по уравнению (3)	ПДК c_i/c_{\max} , мг/м ³ углеводородов алифатических
0,043	2,540	0,3
0,130	2,504	0,3
0,217	2,468	0,3
0,304	2,432	0,3
0,391	2,396	0,3
0,478	2,360	0,3
0,565	2,324	0,3
0,652	2,288	0,3
0,739	2,252	0,3
0,826	2,216	0,3
0,913	2,179	0,3
1	2,144	0,3

Далее программа выдает график C_i/C_{\max} (h_i/H), где видно, что очистка воздуха в проектируемом здании целесообразна на всех этажах (рис.6.40).

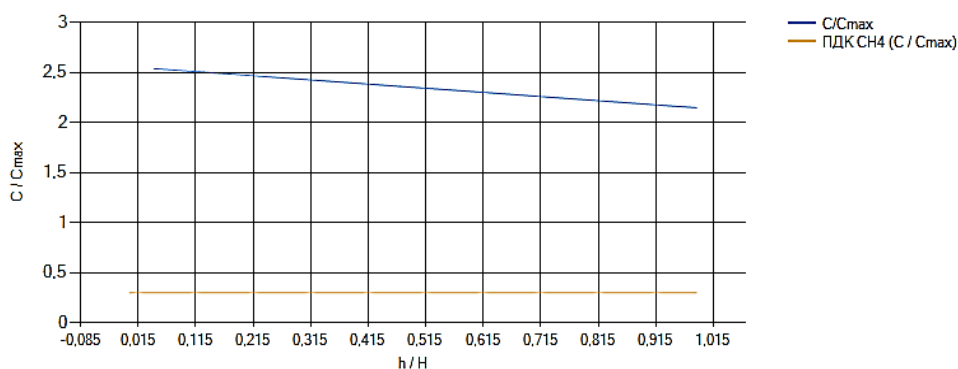


Рисунок 6.40 – Прогнозируемая величина безразмерной концентрации углеводородов алифатических в зависимости от высоты этажа здания

Программа выдает вывод: очистка поступающего воздуха в здание целесообразна по углеводородам алифатическим на высотах от поверхности земли для здания от 0,043 (h_i/H) до 0,986 (h_i/H). Концентрация максимальна на высоте 0,043 (h_i/H).

Аналогичный результат безразмерной концентрации фенола (рис.6.41), которая представлена в виде табл.6.8 выдает программа, согласно расчетам C_i/C_{\max} .

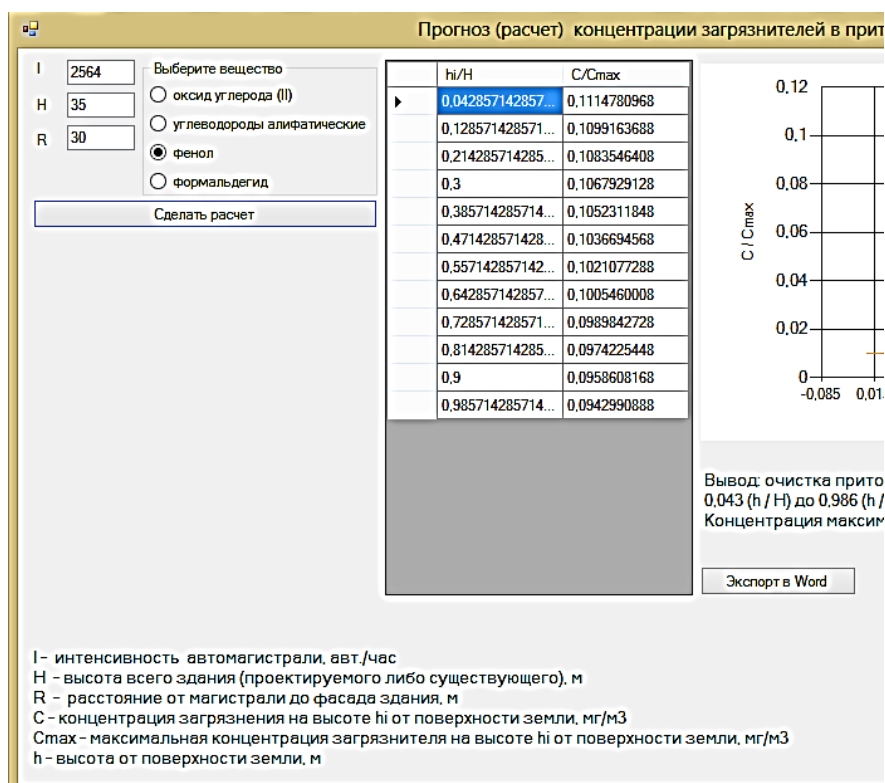


Рисунок 6.41 – Результаты расчета концентраций фенола в наружном воздухе по высоте здания от автотранспорта

Таблица 6.8 – Прогнозируемые безразмерные концентрации фенола по высоте здания (по высоте каждого этажа) в наружном воздухе

h_i/H , м	C/C_{\max} , мг/м ³	ПДК c/c_{\max} , мг/м ³ фенола
0,043	0,111	0,01
0,130	0,109	0,01
0,217	0,108	0,01
0,304	0,106	0,01
0,391	0,105	0,01
0,478	0,103	0,01
0,565	0,101	0,01
0,652	0,100	0,01
0,739	0,098	0,01
0,826	0,097	0,01
0,913	0,095	0,01
1	0,094	0,01

Программа выдает график C_i/C_{\max} (h_i/H), где видно, что очистка воздуха от загрязнителя в проектируемом здании целесообразна на всех этажах (рис.6.42).

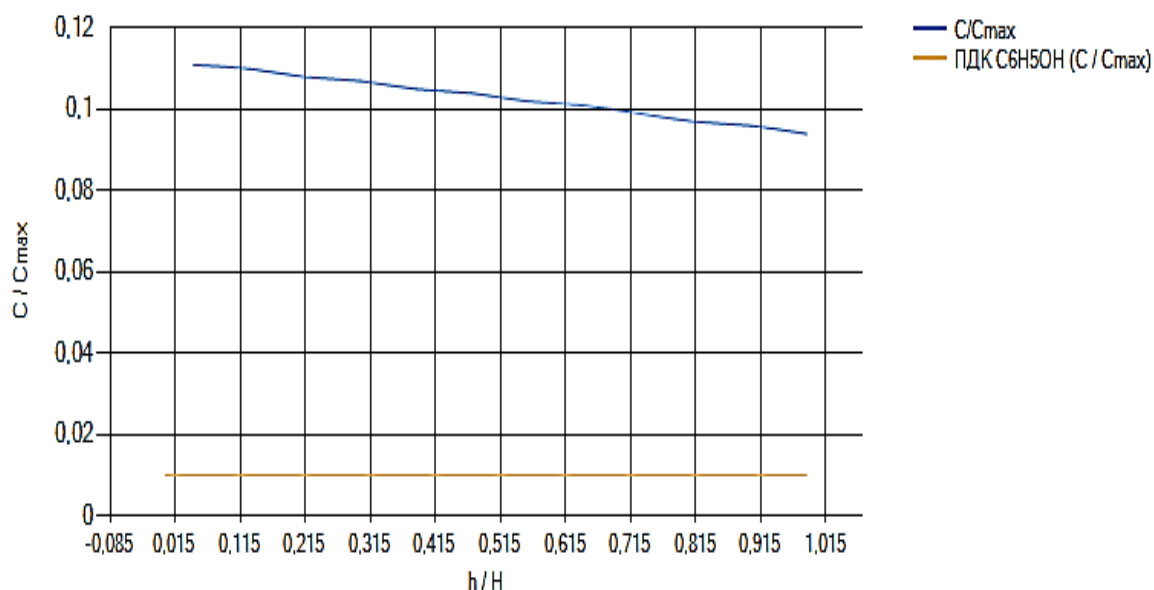


Рисунок 6.42 – Прогнозируемая величина безразмерной концентрации фенола в зависимости от высоты этажа здания

Программа выдает вывод: очистка поступающего воздуха в здание целесообразна по фенолу на высотах от поверхности земли для здания от 0,043 (h_i/H) до 0,986 (h_i/H). Концентрация максимальна на высоте 0,043 (h_i/H).

Аналогичный результат безразмерной концентрации формальдегида (рис.6.43), которая представлена в виде табл.6.9. также выдает программа, согласно расчетам C_i/C_{\max} .

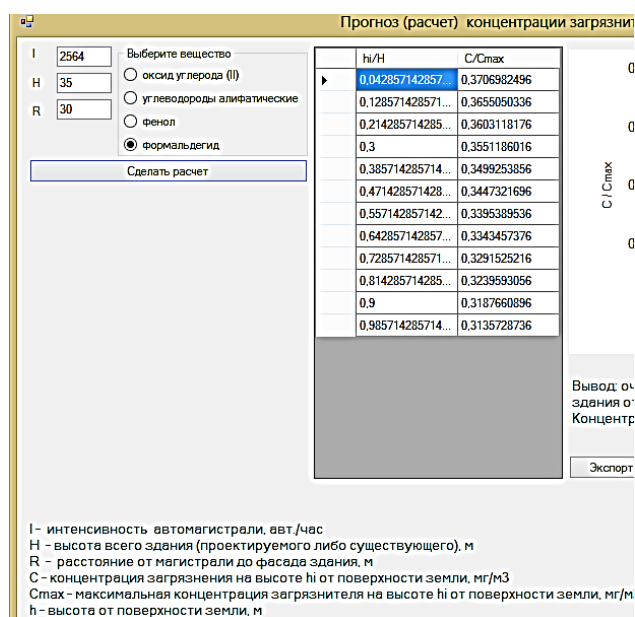


Рисунок 6.43 – Результаты прогноза концентраций формальдегида в приточном воздухе по высоте зданий от автотранспорта

Таблица 6.9 – Прогнозируемые безразмерные концентрации формальдегида по высоте всего здания (по высоте каждого этажа) в наружном воздухе

h_i/H , м	C_i/C_{max} , мг/м ³	ПДК (C_i/C_{max}), мг/м ³ формальдегид
0,043	0,370	0,14
0,130	0,365	0,14
0,217	0,360	0,14
0,304	0,354	0,14
0,391	0,349	0,14
0,478	0,344	0,14
0,565	0,339	0,14
0,652	0,333	0,14
0,739	0,328	0,14
0,826	0,323	0,14
0,913	0,317	0,14
1	0,312	0,14

Экспорт таблицы результатов прогноза в word.

Программа выдает график C_i/C_{max} (h_i/H), где видно, что очистка воздуха в проектируемом здании целесообразна на всех этажах (рис.6.44).

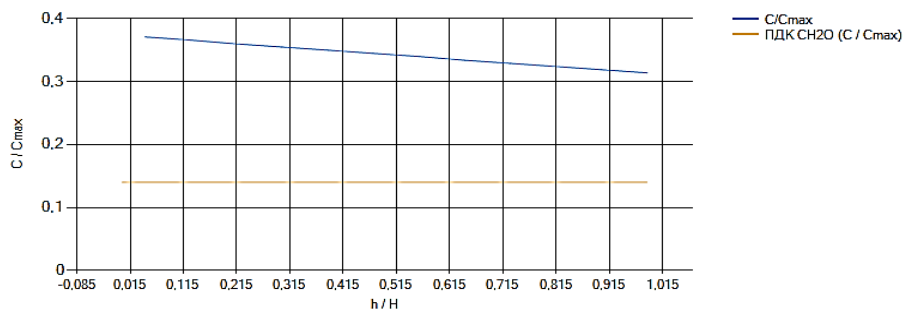


Рисунок 6.44 – Прогнозируемая величина безразмерной концентрации формальдегида в зависимости от высоты этажа здания

Вывод программы: очистка поступающего воздуха в здание целесообразна по формальдегид на высотах от поверхности земли для здания от 0,043 (h_i/H) до 0,986 h_i/H . Концентрация максимальна на высоте 0,043 h_i/H

Таким образом, по результатам многолетних исследований на основе полученных зависимостей концентраций загрязнителей в наружном воздухе от факторов внешних источников выбросов разработана программа для ЭВМ «Прогноз (расчет) концентраций загрязнителей по высоте зданий в приточном воздухе от стационарных высотных источников и автотранспорта» (свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2020618133 от 20.07.2020). Программа предназначена для прогнозирования концентраций загрязнителей в наружном воздухе по высоте зданий от стационарных высотных источников и автотранспорта и может применяться с целью обоснования необходимости очистки поступающего приточного воздуха в здание на высоте каждого этажа. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: на основе заданных исходных данных (высоты источника, расстояния от источника до здания, высоты здания или интенсивности автомагистрали, расстояния от магистрали до здания, высоты здания) позволяет рассчитывать концентрацию оксида углерода (II) от высотных источников и концентрации оксида углерода (II), углеводородов

алифатических, фенола, формальдегида от автотранспорта в приточном воздухе по высоте. Отображает результат в виде таблицы и в графической форме; делает вывод. Экспортирует результат в файл программы word. Язык программирования: C#.

6.9. Внедрение способа очистки приточного воздуха и конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в многоэтажное строительство

Для достижения цели изобретения проведена очистка воздуха внутри помещения здания.

Для проведения испытаний клапан был размещен в наружной стене помещения объемом 120-130 м³ на 1 этаже проектируемых зданий, вблизи с магистралями разной интенсивности движения.

В процессе эксперимента снаружи и внутри помещения измерялась концентрация оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5), фиксировались значения скорости воздушного потока, температура и влажность воздушной среды, средние параметры которых составили в теплый период: температура наружного воздуха 25,3 °С, влажность 48,6%, скорость воздуха 5,9 м/с, в холодный период соответственно: -11 °С, 23%, 5-6 м/с. Концентрация измерялась сертифицированным оборудованием: газоанализатором Testo 340 и газоанализатором ГАНК-4 (АР).

Для оценки эффективности очистки поступающего воздуха в помещение с помощью заявляемого изобретения выбраны три варианта загрузки фильтров:

1 вариант – фильтр с сорбционной загрузкой активированный уголь (фракции 3 мм) и фотокаталитический фильтр (тонкая пористая пластина

диоксида титана (TiO_2) и две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая);

2 вариант – фильтр с сорбционной загрузкой шунгит (фракции 1 мм), фильтр с сорбционной загрузкой цеолит (фракции 1-3 мм), фотокаталитический фильтр (тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO_2) и две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая);

3 вариант – фильтр с сорбционной загрузкой активированный уголь (фракции 3 мм), фильтр с сорбционной загрузкой цеолит (фракции 1-3 мм), фотокаталитический фильтр (тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO_2) и две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая).

Толщина слоя сорбентов в каждом варианте загрузки 20 мм.

В табл. 6.10-6.11 приведены результаты концентраций загрязнений и эффективности очистки воздуха с помощью разработанного клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха.

Таблица 6.10 – Результаты исследования концентраций загрязняющих веществ снаружи и внутри помещения с использованием клапана

№ варианта загрузки	Концентрация оксида углерода (II), мг/м^3		Концентрация углеводородов алифатических (C1-C5), мг/м^3		Концентрация фенола, мг/м^3		Концентрация формальдегида, мг/м^3	
	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри	снаружи	внутри
1	42,56	21,75	141	100	4,59	3,1	0,36	0,085
	41,43	20,65	170	120	4,58	3,12	0,35	0,077
	38,78	21,55	160	120	4,75	3,25	0,32	0,075
2	42,56	4	171	11	4,59	0,18	0,36	0,01
	41,43	0,05	170	15	4,58	0,16	0,35	0,015
	38,78	2,4	160	16	4,75	0,2	0,32	0,014
3	42,56	5,43	171	38	4,59	0,6	0,36	0,07
	41,43	4,85	170	36	4,58	0,5	0,35	0,06
	38,78	5,22	150	37	4,75	0,6	0,32	0,063

Таблица 6.11 – Эффективность очистки приточного воздуха в помещении от загрязняющих веществ при различных вариантах загрузки с помощью клапана

№ варианта загрузки фильтров	Эффективность очистки воздуха внутри помещения, %			
	по оксиду углерода (II)	по углеводородам алифатическим (C1-C5)	по фенолу	по формальдегиду
1	48,89	29,2	32,46	76,39
	50,16	29,41	31,88	78
	44,43	25	31,58	76,56
2	90,61	93,57	96,08	97,22
	99,88	91,18	96,51	95,71
	93,81	90	95,79	95,63
3	87,24	77,78	86,93	80,56
	88,29	78,82	89,08	82,86
	86,53	75,33	87,37	80,46

По результатам исследования использования трех вариантов фильтров наиболее эффективным себя показал вариант 2.

Для реализации результатов исследований и цели разработанного изобретения конструкции устройства (клапана) проведена очистка воздуха внутри помещений проектируемых зданий. В процессе эксперимента снаружи и внутри помещения измерялась концентрация оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5), фиксировались значения скорости воздушного потока на входе в устройство и выходе, температура и влажность воздушной среды, средние параметры которых составили в теплый период для наружного воздуха: температура +27,5 °С, влажность 48,6%, скорость воздуха 5,9 м/с, в холодный период соответственно: - 26 °С, 23%, 5-6 м/с.

Представленные данные (табл.6.11) свидетельствуют о повышении качества воздуха внутри помещения после очистки поступающего в помещение приточного воздуха от газообразных неорганических и

органических веществ с использованием разработанной конструкции клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха.

6.10. Описание программы для ЭВМ по расчёту и обоснованию технических характеристик загрузок фильтра и расчёту параметров приточных клапанов для зданий в условиях повышенного загрязнения атмосферы

Разработанная программа для ЭВМ имеет следующее название: Расчет и обоснование технических характеристик сорбентов в клапанах приточной принудительной вентиляции зданий в условиях повышенного загрязнения атмосферы от передвижных источников.

Данная программа необходима для того, чтобы обосновать и конкретизировать срок службы действия сорбентов в фильтрах клапанов, а также для того, чтобы подобрать необходимую толщину слоя и массу сорбентов в фильтрах. Периодичность замены определяется на основании расчета необходимого времени сорбции загрузок фильтров устройства.

Программа предлагает выбор сорбентов (загрузки фильтров) на рис.6.45.

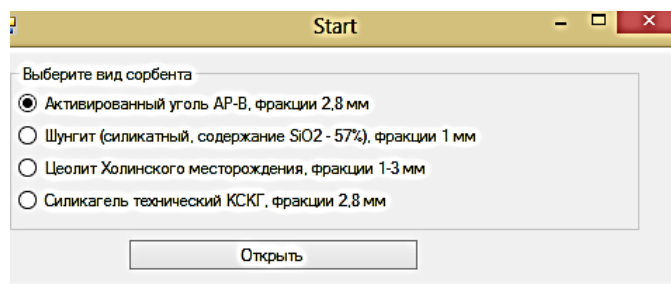


Рисунок 6.45 – Окно разработанной программы для выбора загрузки фильтра в приточном клапане

Для примера выбрали расчет и обоснование характеристик сорбента Активированный уголь AP-B, фракции 2,8 мм (рис.6.46).

1. Расчет по активированному углю

Ниже приведены примеры расчётных данных (табл.6.12-6.13), рис.6.47-6.57.

Таблица 6.12 – Расчет и обоснование технических характеристик по активированному углю в приточном клапане: толщины (высоты) слоя сорбента Н (мм) и его массы G (г), плотность 600 кг/м³

t, час время сорбции	D, м диаметр	Q, м ³ /ч расход воздуха	H, мм высота (толщина) слоя сорбента	G, г (масса)
168	0,1	100	7,75	36,51
168	0,1	115	8,92	41,99
168	0,1	130	10,08	47,47
168	0,1	145	11,24	52,94
168	0,1	160	12,4	58,42
168	0,1	175	13,57	63,9
168	0,1	190	14,73	69,38
168	0,1	205	15,89	74,85
168	0,1	220	17,06	80,33
168	0,1	235	18,22	85,81
168	0,1	250	19,38	91,28
168	0,1	265	20,54	96,76
168	0,1	280	21,71	102,24
168	0,1	295	22,87	107,72

При интенсивности магистрали свыше 2000 авт./ч срок действия сорбента 168 часов при производительности вентилятора от 100 до 295 м³/ч необходимая высота (толщина) слоя сорбента активированного угля от 7,75 мм до 22,87 мм при массе 36,51 до 107,72 г.

Таблица 6.13 – Расчет и обоснование технических характеристик по активированному углю в приточном клапане: толщины (высоты) слоя сорбента Н (мм) и его массы G (г), плотность 600 кг/м³

t, час	D, м	Q, м ³ /ч	H, мм	G, г
240	0,1	100	7,9	37,2
240	0,1	115	9,08	42,78
240	0,1	130	10,27	48,36
240	0,1	145	11,45	53,94
240	0,1	160	12,64	59,52
240	0,1	175	13,82	65,09
240	0,1	190	15,01	70,67
240	0,1	205	16,19	76,25
240	0,1	220	17,37	81,83
240	0,1	235	18,56	87,41
240	0,1	250	19,74	92,99
240	0,1	265	20,93	98,57
240	0,1	280	22,11	104,15
240	0,1	295	23,3	109,73

При интенсивности магистрали свыше от 1000 до 2000 авт./ч срок действия сорбента 240 часов при производительности вентилятора от 100 до 295 м³/ч необходимая высота (толщина) слоя сорбента активированного угля от 7,9 мм до 23,3 мм при массе 37,2 до 109,73 г.

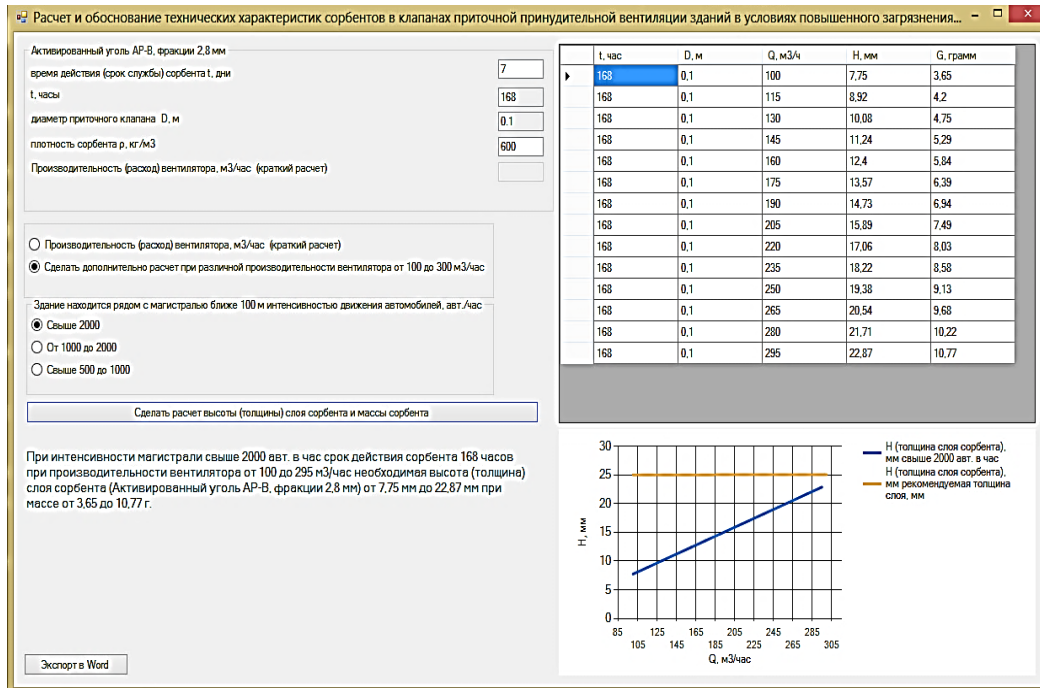


Рисунок 6.47 – Результаты расчета толщины слоя сорбента и массы для активированного угля AP-B, при интенсивности магистрали свыше 2000 авт./ч

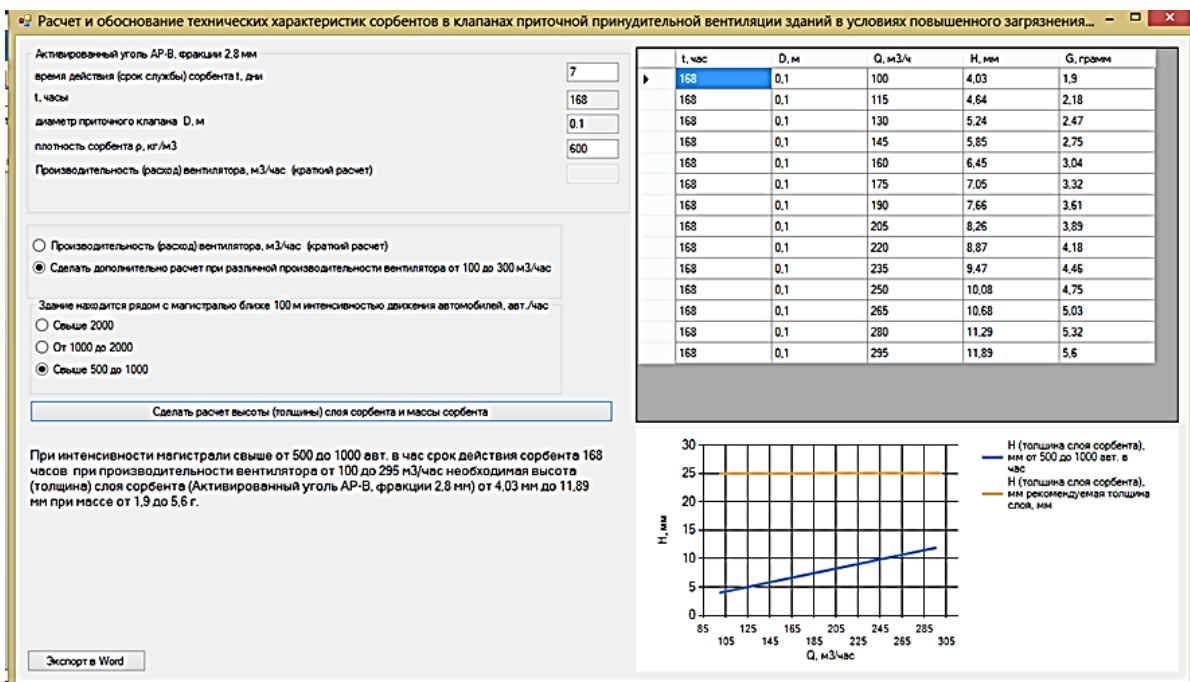


Рисунок 6.48 – Результаты расчета толщины слоя сорбента и массы для активированного угля AP-B, при интенсивности магистрали свыше 500 до 1000 авт./ч

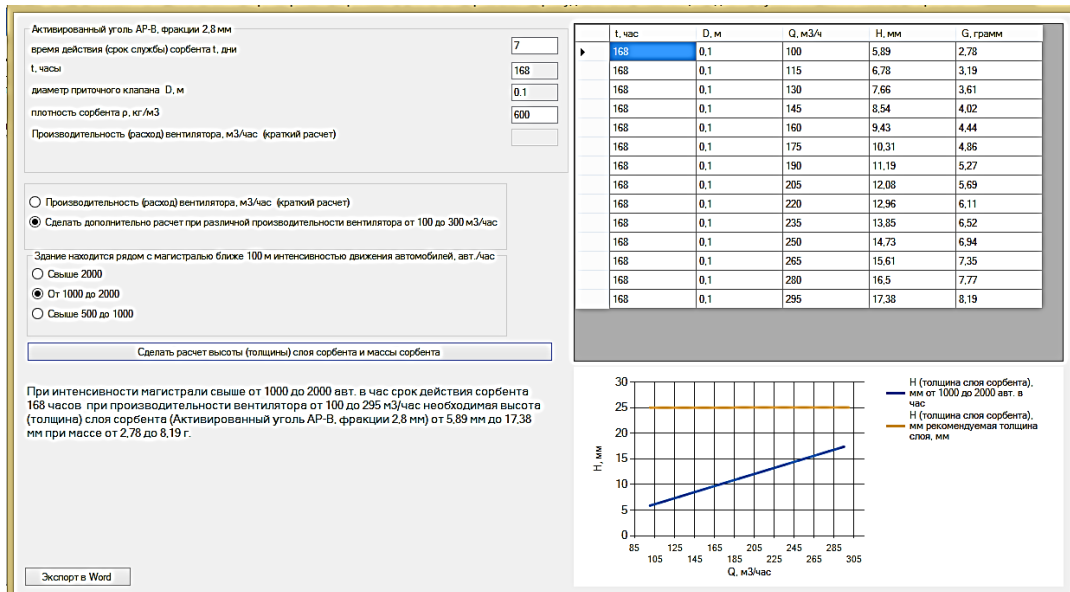


Рисунок 6.49 – Результаты расчета толщины слоя сорбента и массы для активированного угля AP-B, при интенсивности магистрали от 1000 до 2000 авт./ч

Аналогичным образом программа производит расчет необходимых характеристик сорбентов (шунгита, цеолита, силикагеля), что представлено на рис.6.50-6.57.

Шунгит (Зажогинского месторождения, содержание SiO₂ - 57%), фракции 1 мм

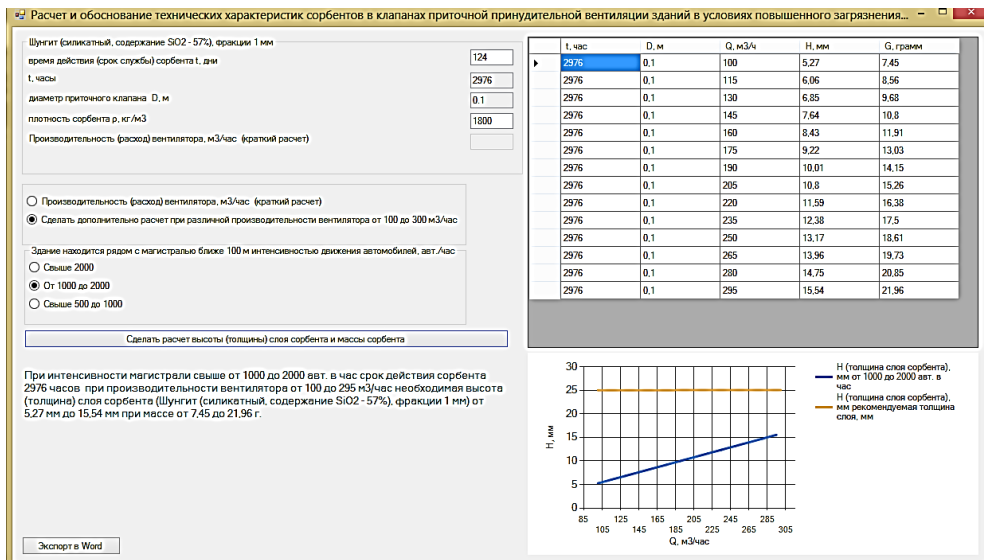


Рисунок 6.50 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы шунгита (Зажогинского месторождения), фракции 1 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч при интенсивности движения от 1000 до 2000 авт./ч

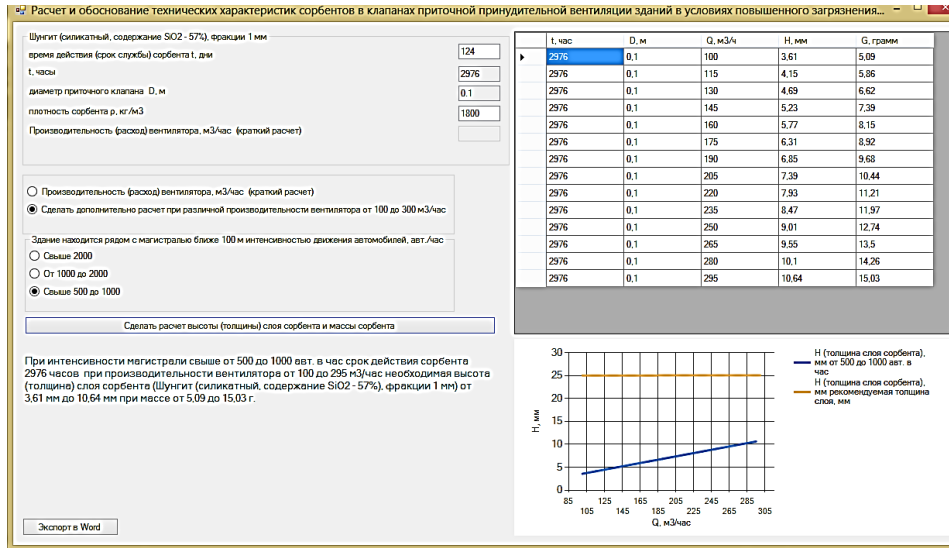


Рисунок 6.51 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы шунгита (Зажогинского месторождения), фракции 1 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч) при интенсивности движения от 500 до 1000 авт./ч

Цеолит Холинского месторождения, фракции 1-3 мм

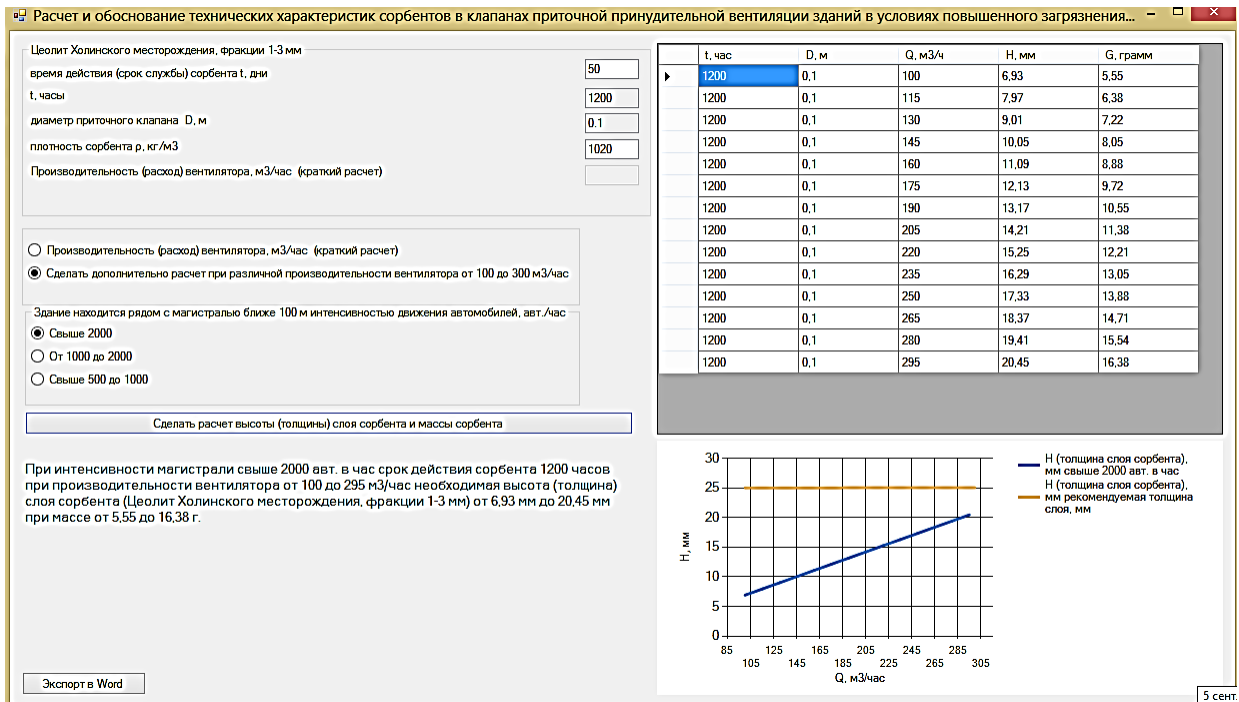


Рисунок 6.52 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы цеолита Холинского месторождения, фракции 1-3 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч) при интенсивности движения свыше 2000 авт./ч

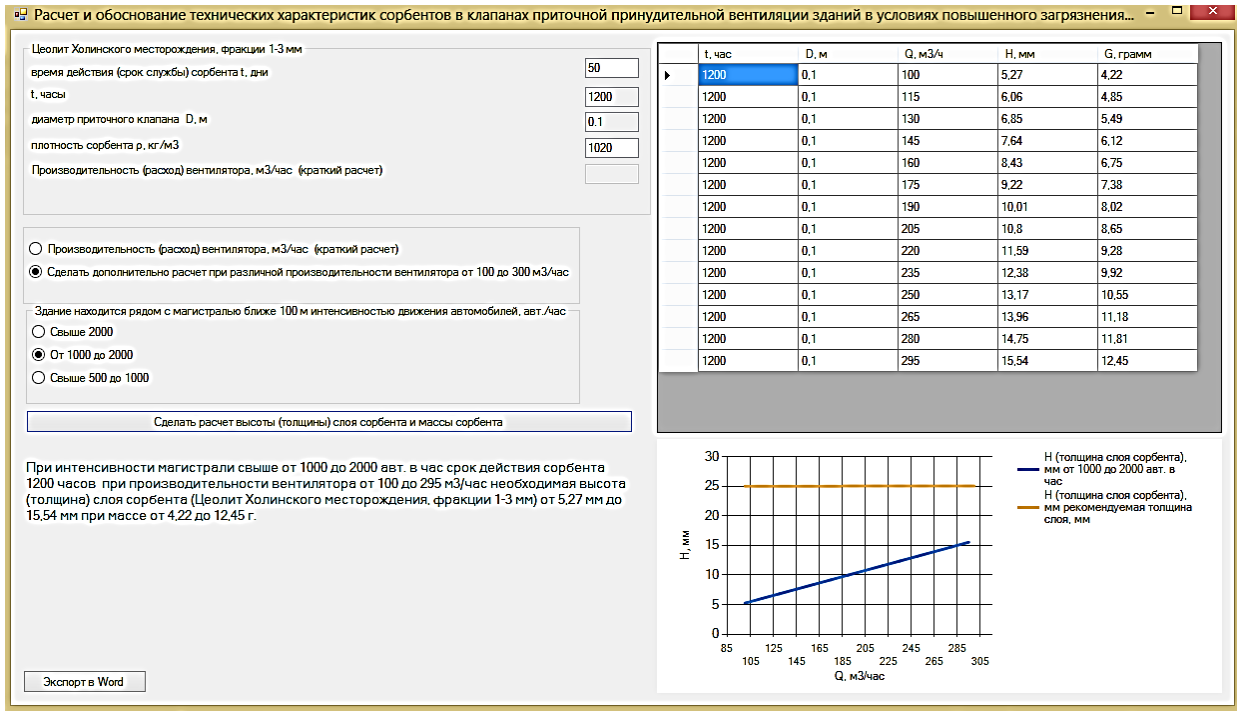


Рисунок 6.53 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы цеолита Холинского месторождения, фракции 1-3 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч) при интенсивности движения от 1000 до 2000 авт./ч

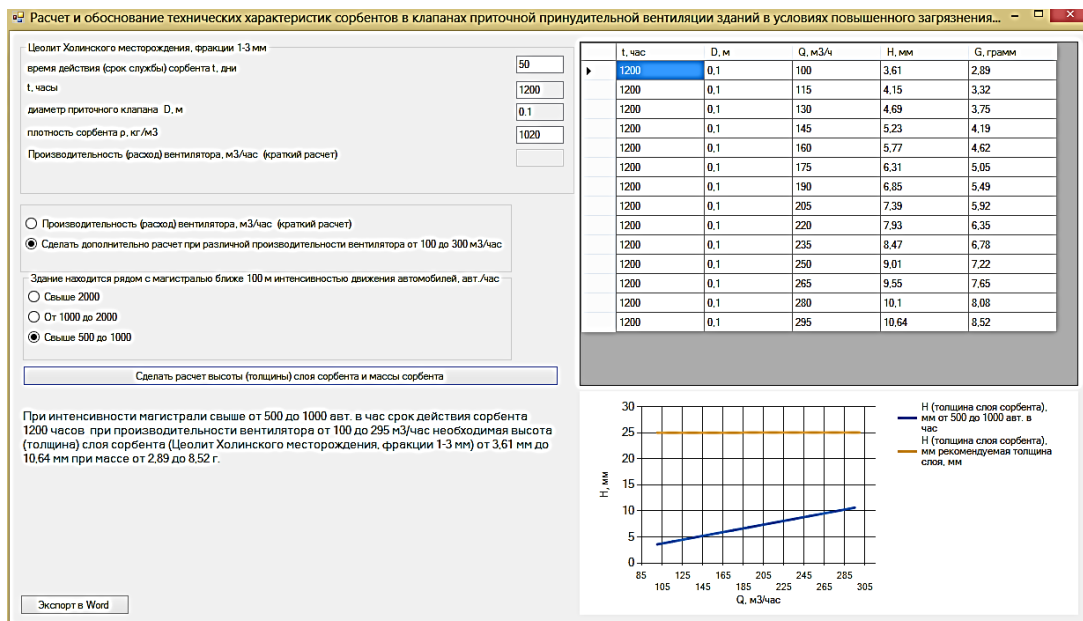


Рисунок 6.54 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы цеолита Холинского месторождения, фракции 1-3 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч) при интенсивности движения от 500 до 1000 авт./ч

Силикагель технический КСКГ, фракции 2,8 мм

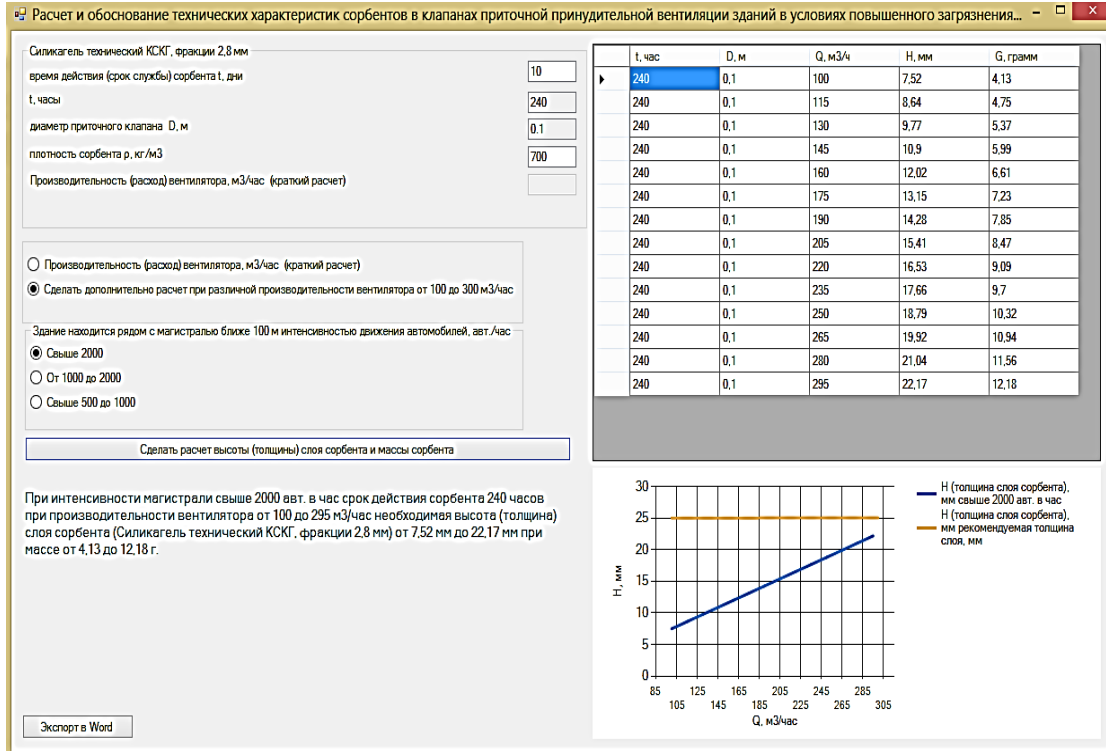


Рисунок 6.55 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы силикагель технический КСКГ, фракции 2,8 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч) при интенсивности движения свыше 2000 авт./ч

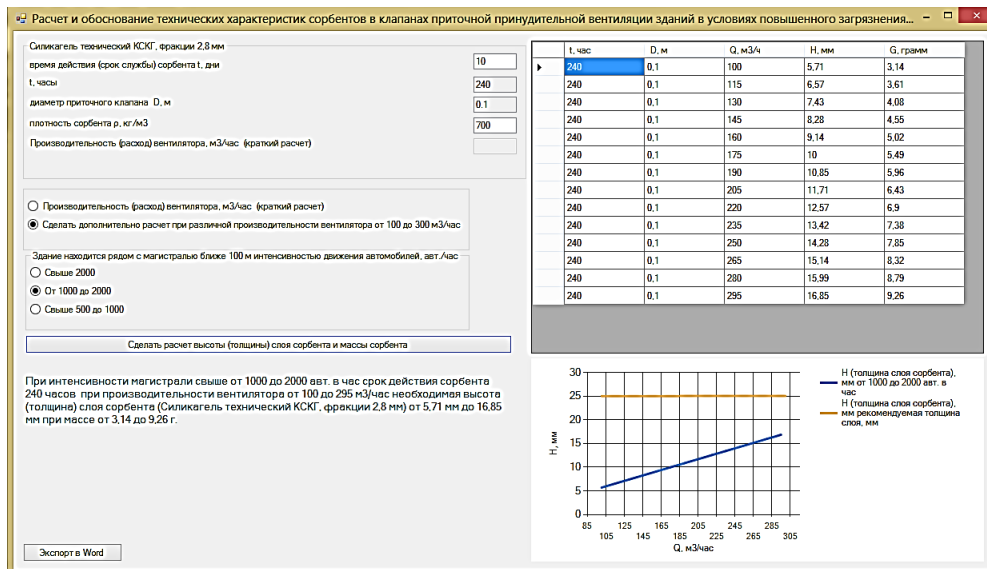


Рисунок 6.56 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы силикагель технический КСКГ, фракции 2,8 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч) при интенсивности движения от 1000 до 2000 авт./ч

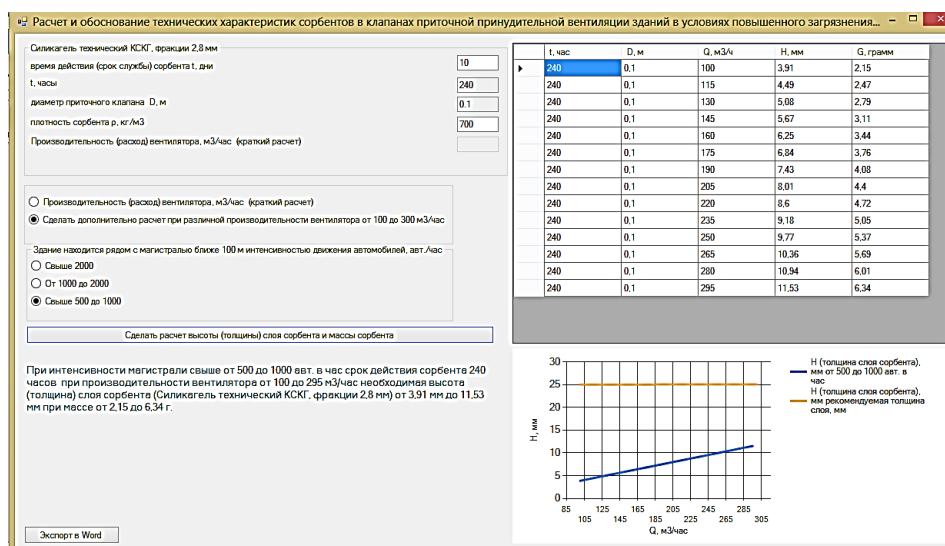


Рисунок 6.57 – Пример результатов расчета толщины слоя и массы силикагель технической КСКГ, фракции 2,8 мм (дополнительный расчет при производительности вентилятора от 100 до 300 м³/ч при интенсивности от 500 до 1000 авт./ч

Таким образом, разработано программное обеспечение, позволяющее спрогнозировать высоту этажа здания, где необходима очистка приточного воздуха помещений, находящихся вблизи внешних источников выброса, а также программное обеспечение, позволяющее определить технические характеристики сорбентов, которые используются в фильтрах разработанной конструкции клапана.

6.11. Технико-экономическое обоснование улучшения качества приточного воздуха в зданиях в условиях повышенного загрязнения атмосферы

Проектные затраты на разработку устройства с очисткой воздуха (клапана) определяются по формуле:

$$Z_{\text{проект}} = Z_{\text{об}} + Z_{\text{zin}} + Z_{\text{ЕСН}} + Z_{\text{ЭН}} + Z_{\text{н.р}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{пр}} , \quad (6.8)$$

где $Z_{\text{об}}$ – затраты на приобретение оборудования, руб.; Z_{zin} – заработная плата исполнителям и разработчикам проекта, руб.; $Z_{\text{ЭН}}$ – затраты на электроэнергию, руб.; $Z_{\text{н.р}}$ – накладные расходы, руб.; $Z_{\text{ам}}$ – затраты на амортизацию, руб.; $Z_{\text{пр}}$ – прочие затраты, руб.

1. затраты на приобретение оборудования $Z_{об}$:

При расчете указываются затраты на оборудование (по списку оборудования) с учетом транспортно-заготовительных расходов, которые составляют 10 % от стоимости оборудования. Список необходимого оборудования и его стоимость представлена в табл. 6.14.

Таблица 6.14 – Список оборудования и стоимость разработанной конструкции приточного клапана с очисткой воздуха

п/п	Наименование	Кол-во	Цена за шт.руб	Затраты,руб
1	фильтр	2	150	300
2	сорбент цеолит Холинского происхождения	20 г	30	30
3	сорбент шунгит Зажогинского месторождения	20 г	20	20
4	УФ-лампы (365 нм), 6 Вт	2	250	500
5	пластиковая труба (1 метр), диаметр 100 мм	1	200	200
6	пластиковый оголовок (200 на 200 мм)	1	500	500
7	решетка с сеткой	1	146	146
8	осевой вентилятор (300 м ³ /ч)	1	949	949
9	сетчатая пористая пластина (TiO ₂)	1	1000	1000
Итого: 3645 руб.				

Затраты на оборудование с учетом транспортно-заготовительных расходов:

$$Z_{об} = 4009,5 \text{ руб.}$$

2. Затраты на заработную плату исполнителям и разработчикам $Z_{зjn}$ определяются ориентировочные трудозатраты этапов работ по исполнителям и стоимость этих затрат (человек-часов) по формуле (6.9):

$$Z_{зjn} = \sum_i^n T_{opi} C_{чичj} , \quad (6.9)$$

где $Z_{зjn}$ – заработная плата j -го исполнителя; T_{opi} – ориентировочные трудозатраты i -го этапа j -го исполнителя в часах; $C_{чичj}$ – стоимость человека-часа j -го исполнителя.

Общие затраты на заработную плату определим по формуле (6.10):

$$Z_{zin} = \sum_{j=1}^m Z_{zinj} , \quad (6.10)$$

где $j = 1 \dots m$ – количество исполнителей.

$$C_{ч\ч} = O_m / (K_{pд} * D_{pаб}), \quad (6.11)$$

где $C_{ч\ч}$ – стоимость человека-часа, руб.; O_m – месячный оклад, руб.; $K_{pд}$ – количество рабочих дней в месяце (равный двадцати одному); $D_{pаб}$ – 8-ми часовой рабочий день.

Произведем расчет заработной платы:

$$Z_{zin} = C_{ч\ч} * T_{op} = 50713,92 \text{ руб.}$$

3. Отчисления на ЕСН $Z_{ЕСН}$:

$$Z_{ЕСН} = Z_{zin} * 0,302 , \quad (6.12)$$

$$Z_{ЕСН} = 1725,61 \text{ руб.}$$

4. Затраты на электроэнергию $Z_{Эн}$:

$$Z_{Эн} = P_i T_{\phi i} C_{эл} K_i , \quad (6.13)$$

где P_i – потребляемая устройства, кВт/ч; T – фактическое время работы i -го устройства, час; $C_{эл}$ – цена на электроэнергию за 1 кВт/час, руб.; K_i – коэффициент использования по времени i -го токоприемника, %; $P_i = 0,1$ кВт/ч; $T_{\phi i} = 360$ часов.

$$Z_{Эн} = 2036,7 \text{ руб.}$$

5. Накладные расходы $Z_{н.р}$:

$$Z_{н.р} = Z_{zin} * 0,1 , \quad (6.14)$$

$$Z_{н.р} = 571,392 \text{ руб.}$$

6. Расходы на амортизацию $Z_{ам}$:

Расходы на амортизацию составляют 12,5 % от стоимости оборудования

$$Z_{am} = Z_{об} * 0,125 \quad , \quad (6.15)$$

$$Z_{am} = 455,625 \text{ руб.}$$

7. Прочие затраты $Z_{пр}$:

Прочие затраты составляют 3 % от суммы всех предшествующих затрат

$$Z_{пр} = 0,03(Z_{об} + Z_{zin} + Z_{ЕСН} + Z_{эн} + Z_{н.р} + Z_{am}), \quad (6.16)$$

$$Z_{пр} = 424,43 \text{ руб.}$$

8. Затраты на этапе проектирования. Смета проектных затрат приведена в табл. 6.15.

Таблица 6.15 – Смета затрат

п/п	Наименование затрат	Сумма,руб.
1	Расходы на оборудование ($Z_{об}$)	3645
2	Расходы на заработанную плату (Z_{zin})	50713,92
3	Отчисление на ЕСН ($Z_{ЕСН}$)	1725,61
4	Расход на электроэнергию ($Z_{эн}$)	2036,7
5	Накладные расходы ($Z_{н.р}$)	571,392
6	Расходы на амортизацию ($Z_{ам}$)	455,625
7	Прочие расходы ($Z_{пр}$)	424,43
Итого		140572,68

Итого затраты на проектирование составят 140 572,68 рубля, для всего здания с наветренной и подветренной сторон 80 600 рублей при использовании программного обеспечения.

Расчет эксплуатационных затрат

Затраты на внедрение системы вычисляются по формуле (6.17):

$$Z_{экс} = Z_{об} + Z_{рем} + Z_{zin} + Z_{ЕСН} + Z_{эн} + Z_{н.р} + Z_{ам} + Z_{пр}, \quad (6.17)$$

где $Z_{\text{экс}}$ – эксплуатационные затраты, руб.; $Z_{\text{об}}$ – затраты на оборудование, руб.; $Z_{\text{рем}}$ – затраты на ремонт и содержание оборудования, руб.; Z_{zin} – затраты на заработную плату обслуживающего персонала, руб.; $Z_{\text{ЕСН}}$ – отчисления на единый социальный налог, руб.; $Z_{\text{эн}}$ – расходы на энергию для эксплуатации оборудования, руб.; $Z_{\text{ам}}$ – затраты на амортизацию, руб.; $Z_{\text{н.р}}$ – накладные расходы, руб.; $Z_{\text{пр}}$ – прочие расходы, руб.

1. Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$:

$$Z_{\text{об}} = C_{\text{об}} + E_{\text{об}} + M_{\text{об}}, \quad (6.18)$$

где $C_{\text{об}}$ – цена оборудования, руб.; $T_{\text{об}}$ – транспортные расходы (10 % от $C_{\text{об}}$), руб.; $M_{\text{об}}$ – расходы, связанные с монтажом оборудования (8 % от $C_{\text{об}}$), руб.

$$C_{\text{об}} = 3645 \text{ руб.};$$

$$T_{\text{об}} = 364,5 \text{ руб.};$$

$$M_{\text{об}} = 291,6 \text{ руб.}$$

Подставляя значения в формулу (6.18) получим:

$$Z_{\text{об}} = 4301,1 \text{ руб.}$$

2. Затраты на ремонт $Z_{\text{рем}}$:

$$Z_{\text{рем}} = C_{\text{об}} * 0,025, \quad (6.19)$$

$$Z_{\text{рем}} = 91,125 \text{ руб.}$$

3. Затраты на электроэнергию $Z_{\text{эн}}$:

Расходы на электроэнергию рассчитывают по стоимости потребляемой токоприемником электроэнергии

$$Z_{\text{эл}} = P_i T_{\text{фи}} C_{\text{эл}} K_p, \quad (6.21)$$

где P – средняя потребляемая мощность, кВт/час.; T – время работы токоприемника, час.; K_p – коэффициент использования по мощности

$(0,92-0,95)$; K_m – коэффициент использования по времени $(0,92-0,95)$;

$C_{эл}$ – цена за электроэнергию за 1 кВт·час., руб.

$$Z_{эн} = 2036,7 \text{ руб.}$$

4. Расходы на амортизацию $Z_{ам}$:

$$Z_{ам} = 455,625 \text{ руб.}$$

5. Прочие затраты $Z_{пр}$:

$$Z_{пр} = 0,03(Z_{об} + Z_{рем} + Z_{эл} + Z_{ЕСН} + Z_{эн} + Z_{н.р} + Z_{ам}), \quad (6.22)$$

$$Z_{пр} = 206,53 \text{ руб.}$$

6. Затраты на этапе эксплуатации.

Смета проектных затрат приведена в табл.6.15.

Таблица 6.15 – Смета затрат на этапе эксплуатации за единицу продукции

п/п	Наименование затрат	Сумма, руб.
1	Расходы на оборудование ($Z_{об}$)	4301,1
2	Затраты на ремонт ($Z_{рем}$)	980,75
3	Расход на электроэнергию ($Z_{эл}$)	2036,7
4	Расходы на амортизацию ($Z_{ам}$)	455
5	Прочие расходы ($Z_{пр}$)	214,54
Итого		7091,08

Итого затраты составят 7091,08 рублей, на всё здание с наветренной и подветренной сторон затраты составят 70 910,8 рубл.

Экономическая эффективность разработанных приточных устройств
с очисткой воздуха

Сравним затраты предлагаемых производителями приточных установок с очисткой воздуха, которые монтируются в наружной стене, с использованием сорбентов (активированного угля), фотокаталитического

окисления, средняя стоимость приточной системы 39 230 руб, затраты на эксплуатацию (табл.6.16).

Таблица 6.16 – Смета затрат на этапе эксплуатации системы

п/п	Наименование затрат	Сумма, руб
1	Расходы на оборудование ($Z_{об}$)	39230
2	Затраты на ремонт ($Z_{рем}$)	980,75
3	Расход на электроэнергию ($Z_{эч}$)	2036,7
4	Расходы на амортизацию ($Z_{ам}$)	4903,75
5	Прочие расходы ($Z_{пр}$)	1414,49
Итого		48563

Итого затраты составят 48563 рублей. С учетом монтажа по высоте всего здания стоимость составит 485 630 рубл.

Экономическая эффективность определяется по формуле (6.23):

$$\mathcal{E}_{год} = Z_{экс.анал.сист.} - Z_{экс.проект.сист.}, \quad (6.23)$$

$$\mathcal{E}_{год} = 414\,720 \text{ руб.}$$

При использовании программного обеспечения и в зависимости от расположения здания рядом с магистралями различной интенсивности движения экономическая эффективность может составлять от 414 720 рубл. до 475 630 рубл.

- Общие затраты $Z_{общ}$:

$$Z_{общ} = Z_{проект} + Z_{экс.пл}, \quad (6.24)$$

$$Z_{общ} = 206\,510,8 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости (6.25):

$$T = Z_{общ} / \mathcal{E}_{год}, \quad (6.25)$$

где T – срок окупаемости, лет; $Z_{общ}$ – суммарные затраты на разработку и внедрение системы, руб.; $\mathcal{E}_{год}$ – годовая экономия, руб.

$$T = 0,5 \text{ лет} = 5 \text{ месяцев.}$$

Таким образом, проанализировав экономические показатели, можно сделать вывод о целесообразности разработки клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха и внедрения ее в эксплуатацию в многоэтажное строительство, максимальный срок окупаемости составляет полгода (6 месяцев).

Разработанное устройство внедрено при строительстве многоэтажных зданий (Приложение В).

Ниже приведены данные для примера одного из объектов строительства. Разработанные клапаны приточной принудительной вентиляции с очисткой проектировались в здании высотой $H=35$ метров (12 этажей), на расстоянии от высотного источника выброса высотой $H_{и}=25$ метров, на расстоянии $R=300$ метров от источника воздействия (рис.6.58).



а



б



в

Рисунок 6.58 – Монтаж клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в помещениях: а – вид внутри помещений; б – общий вид клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха; в – разборные элементы конструкции клапанов: оголовок, пластиковая круглая труба с изоляцией; фильтры круглого сечения

Вводим все исходные данные в программу ЭВМ по прогнозу (расчету) концентраций СО от стационарных источников и получаем результат расчёта (табл.6.17, рис.6.46).

Таблица 6.17 – Результаты расчета по программе

h, м	C, мг/м ³
1	2
1,5	3,549
4,5	3,4399
7,5	3,3299
10,5	3,219
13,5	3,109
16,5	2,999
19,5	2,890
22,5	2,780
25,5	2,670
28,5	2,561
31,5	2,451
34,5	2,341

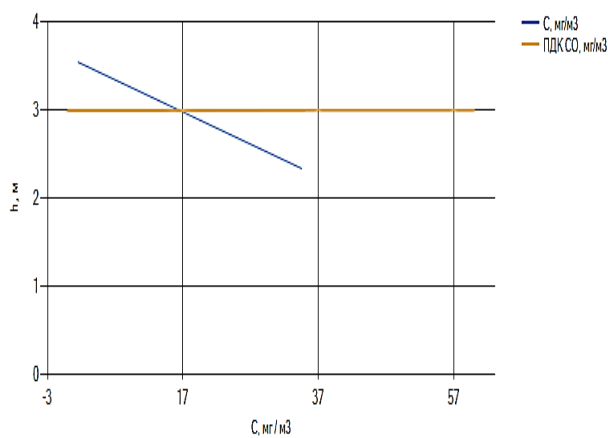


Рисунок 6.46 – Зависимость концентрации СО в приточном воздухе от высоты этажа здания

Вывод: очистка наружного воздуха в здании целесообразна на высоте от 1,5 м до 16,5 м.

Проведена оценка затрат при проектировании очистки по всей высоте здания и затраты при проектировании клапанов с очисткой приточного воздуха только на высоте от 1,5 до 16,5, то есть до высоты 6 этажа (табл.6.18).

Таблица 6.18 – Смета затрат на этапе эксплуатации

п/п	Наименование затрат	Сумма затрат на приобретение клапанов для всего здания при использовании программы ЭВМ для прогноза (расчета) концентраций загрязнителя в приточном воздухе, руб.	Сумма затрат на приобретение клапанов для всего здания без использования программы ЭВМ, руб.
1	2	3	4
1	Расходы на оборудование ($Z_{об}$)	258 060,6	516 130,2
2	Затраты на ремонт ($Z_{рем}$)	58 800	117 600
3	2	3	4
4	Расход на электроэнергию ($Z_{эл}$)	122 200,2	244 400,4
5	Расходы на амортизацию ($Z_{ам}$)	273 000	546 000
6	Прочие расходы ($Z_{пр}$)	12 870,24	25 740,48
	Итого	479 240,04	958 480,08

Итого затраты составят с использованием разработанной программы ЭВМ 479240,04 рублей.

Экономическая эффективность определяется по формуле (6.26):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{Z}_{\text{экс.анал.сист.}} - \mathcal{Z}_{\text{экс.проект.сист.}}, \quad (6.26)$$

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 479\,240,04 \text{ руб.}$$

- Общие затраты $\mathcal{Z}_{\text{общ}}$:

$$\mathcal{Z}_{\text{общ}} = \mathcal{Z}_{\text{проект}} + \mathcal{Z}_{\text{экспл}}, \quad (6.27)$$

$$\mathcal{Z}_{\text{общ}} = 1\,353\,600,12 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости определяется по формуле (6.28)

$$T = \mathcal{Z}_{\text{общ}} / \mathcal{E}_{\text{год}}, \quad (6.28)$$

где T – срок окупаемости, лет; $\mathcal{Z}_{\text{общ}}$ – суммарные затраты на разработку и внедрение системы, руб.; $\mathcal{E}_{\text{год}}$ – годовая экономия, руб.

$$T = 2,82 \text{ лет} = 3 \text{ года}$$

Если здание находится на расстоянии более 300 метров, то затраты согласно расчетам по программе ЭВМ составляли меньше на 40% (проектируем очистку до третьего этажа):

$$T = 0,93 \text{ года} = 1 \text{ год}$$

Таким образом, проанализировав экономические показатели для данного варианта при строительстве всего здания, можно сделать вывод о целесообразности разработки клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха с использованием программы для ЭВМ и внедрения их в эксплуатацию в многоэтажное строительство. Максимальный срок окупаемости может составлять от 1 года до трех лет в зависимости от параметров наружных источников выброса: высоты источника выброса, высоты здания, расстояния от источника выброса до здания, типа локальной застройки внутри квартала.

Выводы по 6 главе

Практически реализованы рекомендации по повышению качества очистки атмосферного воздуха поступающего в помещения при проектировании зданий в городской среде:

1. Экспериментальные исследования температурного режима помещений проводились при температурах наружного воздуха: - 32; - 11,5; 0; + 11,5; + 27,5 °С в течение двух часов работы клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха. В холодный период года температура поверхности отопительного прибора изменялась от + 70 до + 95 °С в зависимости от температуры наружного воздуха. В процессе опытных испытаний клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха струя приточного воздуха смешивается с внутренним, внутри помещения температура повышается от +21,5 до +25,2 °С, скорость воздуха в струе уменьшается до 0,11-0,12 м/с. В холодный период через 5 мин после открытия клапана температура воздуха на высоте 0,1 м в нижней зоне помещения понижается в среднем на 1,3-1,7 °С и принимает стабильное допустимое значение после 15-20 минут.

2. Температурное поле и поля скоростей движения воздуха экспериментально измерялись по высоте и длине помещений с шагом 0,1 м. Температура воздуха на высоте 0,1; 0,5; 1,5 м; 1,7 м принимает стабильное значение после 15 минут и находится в пределах допустимых значений на расстояниях 0,5 м и далее от наружной стены помещения.

3. По результатам экспериментальных исследований опытных испытаний в теплый и холодный периоды года при работе приточного клапана с очисткой воздуха температура внутри помещения и на поверхностях ограждающих конструкций не ниже температуры точки росы, что исключает образование конденсата.

4. Приведено распределение полей температур поверхностей вблизи клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха диаметром 100 мм через 1 час после открытия приточной струи с расходом 65 м³/ч при температурах наружного воздуха -25 °С; - 15 °С. При работе клапана ($\Delta p=15-20$ Па) значительного изменения температуры поверхности не наблюдалось на внутренней решетке клапана, у решетки клапана + 14-

15°C – на незначительной зоне поверхности под клапаном при температуре наружного воздуха – 25 °C. Под радиатором отопления у поверхности пола температура поверхности ограждения снизилась менее чем на 1°C.

5. По полученным уравнениям с помощью программного обеспечения к клапанам приточной вентиляции при температуре наружного воздуха - 32 °C расход подаваемого воздуха изменяется от 55 до 65 м³/ч, при температуре наружного воздуха - 27,5 °C расход воздуха от 65 до 75 м³/ч; при + 11,5 °C от 95 до 100 м³/ч, при + 27,5 °C от 105 до 120 м³/ч. По времени суток расход приточного воздуха изменяется автоматически, регулируется с помощью блока управления на основе уравнений для расчета концентраций загрязнителей внутри помещений в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха газообразными веществами по высоте зданий от автотранспорта.

6. Построены поля температуры поверхностей ограждающих конструкций при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в течение 1 часа и при закрытых клапанах. При обследовании поверхности наружной стены около работающего приточного клапана с очисткой воздуха зафиксирована лишь незначительная область пониженных температур над клапаном вблизи воздухораспределительной решетки до +14-16 °C. При работе приточных клапанов с очисткой воздуха над радиатором отопления, значительного изменения температуры вблизи клапанов не наблюдалось. Коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций для помещений составил от 3,1 до 4,2 м²·°C/Вт, при понижении температуры наружного воздуха до – 30 °C находится в пределах допустимых значений, что достигается регулированием расхода воздуха в течение суток на основании программного обеспечения автоматически либо ручным переключателем.

7. Результатом расчета программы для ЭВМ сводного расчета вертикального распределения безразмерных концентраций газообразных

загрязнителей в приточном воздухе по высоте зданий с учетом типа локальной застройки (№ 2021664849 от 14.09.2021) являются по полученному уравнению величины безразмерных концентраций с наветренной и подветренной сторон (по всем направления розы ветров) здания для холодного и тёплого периодов для оксид углерода (II) от точечных источников, сводный расчет CO от точечных и передвижных источников, сводный расчет для магистралей с разной интенсивностью движения (до 500 авт./час; 500-1000 авт./час, 1000-2000 авт./час; от 2000 авт./час) безразмерных концентраций CO, фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (C1-C5) по всем этажам до высоты H здания, расчет доли распределения концентраций загрязнителей по высоте к максимальной концентрации по высоте всего здания. Результат расчета можно учитывать при любой ориентации наружной стены здания по частям света (Ю, С, СВ, ЮВ, ЮЗ, В, З).

8. По результатам многолетних исследований разработана программа для ЭВМ (№2020618133 от 20.07.2020) для прогнозирования концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе по высоте зданий в присутствии точечных высотных источников или автотранспорта и может применяться с целью обоснования необходимости очистки поступающего атмосферного воздуха в помещения на высоте каждого этажа.

9. Разработана программа для ЭВМ (№2020660657, от 09.09.2020) для обоснования технических характеристик сорбентов: высоты (толщины) слоя сорбентов, их массы для активированного угля, шунгита, цеолита, силикагеля.

10. Для реализации результатов исследований и цели разработанного изобретения конструкции устройства с очисткой воздуха проведена очистка воздуха внутри помещений зданий. Для оценки эффективности очистки поступающего воздуха в помещение с помощью изобретения выбран 2 вариант загрузки фильтров: фильтр с сорбционной

загрузкой шунгит (фракции 1 мм), фильтр с сорбционной загрузкой цеолит (фракции 1-3 мм), фотокаталитический фильтр (тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO₂) и две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая). Толщина слоя сорбентов в каждом варианте загрузки 20 мм. По результатам исследования использования наиболее эффективным себя показал вариант 2: по оксиду углерода (II) – 99,8%; по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 93,57 %; по фенолу – 96,51%; по формальдегиду 97,22 %. Представленные данные свидетельствуют о повышении качества воздуха внутри помещения после очистки поступающего в помещение воздуха от газообразных веществ с использованием разработанной конструкции устройства для защиты качества воздуха здания.

11. Разработанное программное обеспечение, устройство и способ защиты качества воздуха зданий внедрены и используются ФБУЗ «Центром гигиены и эпидемиологии по Тюменской области», отделом санитарно-гигиенических исследований, при проектировании жилых многоэтажных зданий в строительной организации ОАО «Тюменская домостроительная компания» (ОАО «ТДСК» Тюмень). Прошли испытания не только в жилищном строительстве, но в строительстве административных зданий, имеется акт внедрения в административных и промышленных зданиях в ООО «Уралмаш НГО Холдинг», ПАО «Сибур ТюменьГаз».

12. Проанализировав экономические показатели для выбранного варианта очистки приточного воздуха и способа защиты качества воздуха при строительстве всего здания, можно сделать вывод о целесообразности разработки способов и средств с очисткой воздуха зданий с использованием программ для ЭВМ на основе модели вертикального распределения безразмерных концентраций и внедрения их в эксплуатацию в многоэтажное строительство. Максимальный срок

окупаемости может составлять до трех лет. Общая экономическая эффективность при строительстве зданий с очисткой воздуха с использованием программного обеспечения составила от 414 720 до 475 630 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная работа позволяет предложить новое научное направление в области повышения эффективности очистки приточного воздуха помещений различного назначения с помощью приточных устройств вентиляции с забором воздуха по высоте зданий путем использования нового технического решения конструкции клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, теоретических основ их расчёта на основе представленных методик расчёта вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей вблизи фасадов зданий с учётом типологии городской застройки по результатам теоретических и экспериментальных исследований, алгоритмов расчёта прогнозирования параметров приточного воздуха помещений в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха по высоте зданий, внедрение которых в многоэтажное строительство вносит значительный вклад в развитие страны.

1. Использование существующих методик рассеивания газообразных загрязнителей требует учёта и конкретизации вертикального распределения концентраций загрязнителей по высоте здания, максимальной концентрации по высоте здания при разных типах локальной застройки, изменяющихся по величине и направлению скоростей ветра наружного воздуха по высоте здания. Существующие способы и средства защиты качества воздуха средствами вентиляции в малой степени обеспечивают защиту загрязнения воздуха зданий от газообразных загрязнителей при расположении их в районах с оживленными транспортными магистралями и другими наружными источниками выброса.

2. Экспериментально и теоретически обоснована методология определения вертикального распределения концентраций газообразных загрязнителей с учётом типа локальной застройки при проектировании воздухозаборных устройств с очисткой приточного воздуха зданий по высоте:

- входящие параметры методики расчёта, учитывающей вертикальное загрязнение наружного воздуха точечным источником в зимний и летний периоды года параметры приточного воздуха: скорость ветра; температура; давление; роза ветров, по основным румбам, %; расстояние от источника до здания R_i , м; высота здания H , м; высота источника $H_{и}$, м; отношение высоты источника к высоте здания $H_{и}/H$; тип локальной застройки: периметральная; торцевая; строчная; торцевая под углом; смешанная;

- входящие параметры методики расчёта, учитывающей вертикальное загрязнение наружного воздуха от автотранспорта в зимний и летний периоды параметры приточного воздуха: скорость ветра;

температура; давление; роза ветров; расстояние от магистрали до здания R_i , м; высота здания H , м; интенсивность автомагистрали I , авт./ч: до 500 авт./ч; 500-1000 авт./ч; 1000-2000 авт./ч; свыше 2000 авт./ч; тип локальной застройки.

- доказано, что законы распределения функции величины концентрации газообразных загрязнителей для разных уровней от поверхности земли по высоте здания от передвижных источников, в расчетных зависимостях отличаются по времени суток, интенсивности движения магистрали, градостроительной типологии локальной городской застройки при различных независимых величинах метеорологических факторов;

- выявлено, что закономерности изменений концентраций CO зависят не только от высоты источника $H_{и}$, высоты здания H , расстояния от источника до здания, но и типа локальной застройки. Экспериментальные исследования концентраций оксида углерода (CO) от точечных источников выброса по высоте зданий показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителя с подветренной стороны зданий уменьшается до 31,25%, при торцевой – до 10%, при периметральной – до 20%, при торцевой под углом – до 17,86%, при смешанной – до 12,11 % . ;

- определены поправочные коэффициенты концентраций газообразных загрязнителей, позволяющие учитывать тип локальной застройки (строчная, периметральная, торцевая, смешанная) от точечных и передвижных источников, позволяющие конкретизировать расчетные концентрации по высоте здания в зависимости от типологий городской застройки;

- построены поверхности изменения закономерностей концентраций газообразных загрязнителей в наружном воздухе по высоте здания, позволяющие поставить долгосрочный прогноз по вертикальному загрязнению приточного воздуха от точечных и передвижных источников в зависимости: от расстояния от источника до наружной стены здания, высоты источника выброса, высоты этажа наружной стены здания, расстояния от магистрали до наружной стены здания, интенсивности магистрали, высоты каждого этажа помещения здания.

- построены эпюры величин безразмерных концентраций по высоте зданий, которые показали, что при строчной застройке концентрация загрязнителей с подветренной стороны уменьшается до 13,02%, при торцевой – до 2-3%, при периметральной – до 25%, при торцевой под углом – до 18,75%, при смешанной – до 31,16 %, что важно учитывать при обосновании воздушного режима зданий с учетом степени загрязнения наружного воздуха по высоте.

3. Экспериментально исследовано влияние вертикального распределения концентраций загрязнителей в приточном воздухе на качество и микроклиматические параметры воздушной среды в здании:

- в результате установлена степень влияния вертикального распределения концентраций загрязнителей на качество внутреннего воздуха: в режиме проветривания в воздушной среде внутри здания концентрация загрязнителей достигает до 80-88,5% от концентрации по наружной стене здания, при закрытых проемах от 15 до 38% (от точечных источников выброса) и от 21,2 до 46,2% (от передвижных источников);

- по эмпирическим зависимостям можно спрогнозировать концентрацию загрязнителей внутри здания при различных скоростях наружного воздуха. С повышением скорости ветра наружного воздуха выше 6 м/с до 8 м/с концентрации газообразных загрязнителей снаружи и внутри зданий уменьшаются на 20-26% по высоте здания. При увеличении влажности с 30 до 70 % концентрация загрязнителей снаружи здания практически не изменяется;

- получены многофакторные регрессионные зависимости концентраций оксида углерода (II) CO, углеводородов алифатических (C1-C5), фенола, формальдегида внутри помещения от факторов наружного воздуха: концентраций загрязнителей по высоте зданий, температуры ($^{\circ}$ C), скорости движения воздуха (м/с), влажности воздуха (%), позволяющие прогнозировать возможные концентрации загрязнителей при различных метеорологических условиях.

4. Проведены 5 экспериментальных исследований 36 вариантов очистки приточного воздуха зданий с помощью конструкции опытного образца устройства с очисткой воздуха с учетом вертикального распределения газообразных загрязняющих веществ:

- исследованиями установлено влияния **последнего расположения сорбентов при наличии катализатора (диоксида марганца) на качество очистки приточного воздуха**: по оксиду углерода (II) CO: в летний период года – «шунгит +MnO₂+цеолит+силикагель» - 93,75 % и «шунгит» – 96,92%. По органическим веществам эффективность очистки: «шунгит+MnO₂+цеолит+силикагель» - по углеводородам алифатическим - 30,6% , по фенолу - 37,12%, по формальдегиду - 30,6%. По варианту «шунгит» в летний период года низкая эффективность по органическим веществам – углеводороды алифатические – 5,89-9,36%, по фенолу – 8,50-15%, формальдегиду – 3,125-14,29%. В зимний период эффективность очистки 5 варианта возрастает: «шунгит+MnO₂+цеолит+силикагель»: по оксиду углерода (II) - 95%, по углеводородам алифатическим - 32%; по фенолу - 39,3 %, по формальдегиду - 38,9 %. По «шунгиту» эффективность по CO – 97,23%. В зимний период вариант «шунгит»: углеводороды алифатические – 8,82-15%, фенол – 10-20%, формальдегид – 12-17%. По углеводородам

алифатическим (С1-С5) в зимний года максимальная эффективность составила 60% варианта «Уголь+силикагель+MnO₂+цеолит», в летний период года – 61,75%. По загрязнителю фенол в зимний период варианта «цеолит» - 55,04%, в летний период года - 55,82%. По загрязнителю формальдегид максимальная эффективность очистки у варианта «уголь+силикагель+MnO₂+цеолит» - 45% в зимний период года, в летний период - 47%.

- исследована зависимость величины интенсивности УФ-излучения с длиной волны 365 нм (6-12 Вт) от расстояния до пористой пластины диоксида титана TiO₂ совместно с послойно расположенными сорбентами (шунгит, цеолит) на эффективность очистки приточного воздуха в клапанах приточной вентиляции: 6-ой вариант исследований «шунгит+цеолит+ фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, мощностью 6 Вт)»: эффективность очистки по оксиду углерода (II) СО в летний период составила от 90,6% до 99,88% (в зимний 89,5 до 91,83%), по фенолу от 95,79-96,07% в летний период (95,2 до 96,34% в зимний период), по формальдегиду от 95,63-97,22% в летний период (90 до 93,27% в зимний период), по углеводородам алифатическим (С1-С5) от 90-93,57% в летний период (в зимний период от 88,89 до 91,86%). Результаты оценки влияния фотокатализа совместно с сорбентами с 8 по 12 вариант исследований (дополнительно с силикагелем) в зимний период показали, что наиболее эффективно применять 11 вариант очистки приточного воздуха: «шунгит+цеолит+силикагель+TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт»: эффективность очистки в этом случае в зимний период по СО составила от 96,39-99,98%, по фенолу от 96,39-97,89%, по формальдегиду от 95,76-97,78%, по углеводородам алифатическим (С1-С5) от 93,13-95,12%. В летний период года эффективности составили: по СО до 99,9%, по фенолу от 88 до 93 %, по формальдегиду от 89 до 95 %, по углеводородам алифатическим (С1-С5) до 94%. При интенсивности УФ-А излучения в устройстве по очистке воздухе 8,6 Вт/м² на расстоянии 1 см от двух ламп (по 6 Вт) в УФ-А диапазоне (315-400) нм эффективность очистки воздуха по оксиду углерода (II) до 38%, по углеводородам алифатическим до 39%, по фенолу до 39%, по формальдегиду до 34%. При интенсивности излучения УФ-А 3,8 Вт/м² (1 лампа) эффективность очистки от всех загрязнений изменялась от 16,42 до 28,65%. Интенсивность УФ-А спектра излучения 8,6 Вт/м², с длиной волны 365 нм от УФ-лампы 6 Вт эффективна при использовании совместно с сорбентами шунгитом, цеолитом, силикагелем толщиной 20 мм - эффективность очистки свыше 90%.

- экспериментально исследованы изменения концентрации загрязнителей от продолжительности сорбции на сорбентах (шунгит, цеолит, активированный уголь, силикагель) и катализаторе (диоксиде марганца): концентрация СО внутри помещения при использовании

«шунгита, силикагеля, диоксида марганца, цеолита» (7 вариант) превышает норму через 502 часа (20 суток). В городских условиях сорбентов при совместной очистке при расположении здания рядом с магистралью свыше 2000 авт./ч установлен срок службы сорбентов - 20 суток, 500-1000 авт./ч – 56 дней; до 500 авт./ч – 90 дней. При совместном использовании шунгита, силикагеля, диоксида марганца, цеолита эффективность очистки 95,35%.

- **экспериментально исследовано влияние температурного фактора наружного воздуха на процессы очистки приточного воздуха:** в диапазоне измерения от +27,5 до -11,5⁰С; -32⁰С эффективность очистки увеличивается. Для 6 варианта «шунгит+цеолит+фотокаталитический фильтр (TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт)» по оксиду углерода (II) – с 93,81% до 94%, по углеводородам алифатическим – с 90% до 91,86%, практически не изменяется по формальдегиду – 95%, по фенолу – от 96,0 до 96,1%, для 11 варианта «шунгит+цеолит+силикагель+ TiO₂+2 УФ лампы 365 нм, 6 Вт» по оксиду углерода (II) увеличивается – с 96,5 до 99,97%; по углеводородам алифатическим – с 93,53% до 95%; по формальдегиду – с 88,7% до 99,9%; по фенолу – с 90,2% до 97%.

- **экспериментально исследовано влияние скорости движения и влажности наружного воздуха на концентрацию загрязнителей и процессы очистки приточного воздуха:** при увеличении относительной влажности наружного воздуха с 30 до 70 % концентрация загрязнителей внутри помещения уменьшается в теплый и холодный периоды года: для СО на 75%, углеводородов алифатических на 80%, фенола на 50-60%, формальдегида на 60 %. С ростом весового влагосодержания сорбента объем очищенного воздуха от газообразных загрязнителей увеличивается для шунгита на 7-10%, цеолита на 30-35%, активированного угля на 75-80%, силикагеля на 71%. При увеличении скорости движения наружного воздуха с 5 м/с до 8 м/с концентрация внутри помещения СО уменьшается на 20%, углеводородов алифатических (С1-С5) на 26%, концентрация формальдегида на 2,31% . При уменьшении скорости воздуха от 8 м/с до 0 м/с концентрация СО внутри помещения увеличивается на 38 %, углеводородов алифатических (С1-С5) на 36 %, концентрация фенола на 33,33 %, формальдегида на 6,07 %.

5. Разработаны инженерно-технические методы и способы снижения концентраций газообразных загрязнителей в зданиях в условиях повышенного загрязнения атмосферы:

- экспериментально и теоретически обоснованы параметры клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха: оптимальная скорость 2,81 м/с, минимально необходимый диаметр 0,1 м, расход воздуха от 55-300 м³/ч, технические характеристики загрузок фильтров клапанов (сорбентов): высота слоя от 7 мм до 20 мм для сорбента «шунгит» и от 6,93 мм до 20 мм

для сорбента «цеолит» в зависимости от степени загрязнения наружного воздуха по высоте здания (патент на изобретение).

-теоретически и экспериментально обоснован метод расчета параметров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, позволяющий при расходах приточного воздуха от 55 до 300 м³/ч подобрать технические и физико-химические характеристики загрузок фильтров приточных устройств по высоте зданий.

-теоретически и экспериментально установлена закономерность влияния очередности послойного расположения сорбентов (шунгита, цеолита, силикагеля) и их пропорциональные соотношения, для сорбентов определенного фракционного состава в слоях при наличии катализатора (диоксида марганца) на эффективность очистки приточного воздуха помещений зданий от оксида углерода (II), алифатических углеводородов (С1-С5), фенола, формальдегида. Это позволило разработать эффективный способ очистки приточного воздуха: от оксида углерода (II) – до 93,75 %; углеводородов алифатических (С1-С5) – 80,59%, фенола – 79,84%, формальдегида – 71,88%. В зимний период года эффективность очистки воздуха по оксиду углерода (II) – 95%, по углеводородам алифатическим (С1-С5) – 84,78%; по фенолу – 80,84 %, по формальдегиду – 75,89 % (патент на изобретение).

- изотермы загрузок фильтров внутри клапана показали, что с уменьшением наружной температуры в диапазоне от +32⁰С до -32⁰С, процесс сорбции идет медленнее и предел адсорбции становится выше. При понижении температуры наружного воздуха предел адсорбции возрастает: на шунгите для оксида углерода (II) СО с 0,695 до 0,935 кг/кг; углеводородов алифатических с 0,315 до 0,695 кг/кг, формальдегида с 0,022 до 0,045 кг/кг, фенола с 0,111 до 0,351 кг/кг. На сорбенте цеолите предел адсорбции по СО увеличился с 0,090 до 0,340 кг/кг; по углеводородам алифатическим с 0,199 до 0,690 кг/кг; для фенола с 0,271 до 0,788 кг/кг; для формальдегида с 0,0048 до 0,014 кг/кг. На сорбенте силикагеле предел адсорбции увеличился: для СО с 0,111 до 0,856 кг/кг; для углеводородов алифатических с 0,168 до 0,399 кг/кг; для формальдегида с 0,007 до 0,032 кг/кг; для фенола с 0,105 до 0,262 кг/кг.

6. Результаты исследований внедрены в практику проектирования приточных устройств вентиляции зданий по устранению и снижению концентраций загрязнений воздушной среды помещений: разработаны программы для ЭВМ сводного расчёта вертикального распределения безразмерных концентраций газообразных загрязнителей по высоте зданий с учетом типа локальной застройки (№ 2021664849 от 14.09.2021) по предложенной методике расчета величины безразмерных концентраций СО с наветренной и подветренной сторон здания для зимнего и летнего периода от точечных источников, сводного расчёта степени загрязнения наружного воздуха от точечных и передвижных источников, сводного

расчёта для магистралей с разной интенсивностью движения безразмерных концентраций СО, фенола, формальдегида, углеводородов алифатических (С1-С5) по высоте здания, расчёта доли распределения максимальной концентрации загрязнителя к его концентрации по высоте здания. Разработаны программы для ЭВМ: (№2020618133 от 20.07.2020) для прогнозирования концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе по высоте зданий от точечных источников и автотранспорта, которые применены с целью обоснования необходимости очистки приточного воздуха в помещения на разной высоте; для обоснования технических характеристик загрузок фильтров клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха (№2020660657, от 09.09.2020).

- разработанное программное обеспечение, конструкция клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха, способ очистки приточного воздуха зданий внедрены и используются при проектировании многоэтажных зданий различного назначения в ОАО «ТДСК», ООО «Уралмаш НГО Холдинг», ПАО «Сибур ТюменьГаз», при проведении мониторинга атмосферного воздуха по высоте зданий лабораторией ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Тюменской области». Подтверждена целесообразность разработки способов очистки приточного воздуха и приточных устройств с очисткой воздуха зданий с использованием программ для ЭВМ на основе методик расчета вертикального распределения безразмерных концентраций и внедрения их в эксплуатацию в многоэтажное строительство. Общая экономическая эффективность при строительстве зданий с очисткой приточного воздуха с использованием программного обеспечения составила от 414 720 до 475 630 рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаев, Ф. Б. Количественная и качественная оценка взаимосвязи заболеваемости младенцев с химическим загрязнением атмосферы в условиях Баку / Ф. Б. Агаев, И. Г. Самедов, А. С. Кулиев. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 1993. – № 4. – 76 с.
2. Азаров, В.Н. Анализ дисперсного состава пыли в техносфере : учебное пособие / В. Н. Азаров, Е. Ю. Есина, Н. В. Азарова ; Федеральное агентство по образованию РФ, Волгоградский гос. архитектурно–строительный ун-т. – Волгоград : Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Волгоградский гос. архитектурно–строительный ун-т", 2008. – 44 с. – Текст : непосредственный.
3. Азаров, В.Н. Комплексная оценка пылевой обстановки и разработка мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий : диссертация ... доктора технических наук : 05.26.01, 03.00.16. – Ростов-на-Дону, 2003. – 334 с. – Текст : непосредственный.
4. Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : Материалы VII очной Международной научно-практической конференции, проведенной 15-16 марта 2018 года кафедрой «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение» / [Под ред. Ф. К. Абдразакова] ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова. – Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2018. – 349 с. – Текст : непосредственный.
5. Алексеева, И. Ю. Регулируемая система вентиляции жилых помещений/ И. Ю. Алексеева. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2001. – № 5. – С.31-36.
6. Алехина, М.Б. Свойства и особенности поведения микропористых адсорбентов (цеолитов и активных углей), предназначенных для новых процессов очистки и разделения газов : автореферат дис. – Текст : непосредственный. ... доктора химических наук : 05.17.01 / Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева. – Москва, 2006 – 33 с. – Текст : непосредственный.
7. Андрианов, В.А. Метод коррекции расчетных полей загрязнения воздуха выбросами автотранспорта с использованием данных мониторинга атмосферы : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.36. – Санкт–Петербург, 2006. – 123 с. – Текст : непосредственный.

8. Антропов, К.М. Математические модели загрязнения атмосферного воздуха мегаполиса и промышленного центра выбросами автотранспорта и промышленных предприятий : диссертация ... кандидата физико-математических наук : 05.13.18 / Антропов Константин Михайлович; [Место защиты: Ур.гос. техн. Ун-т-УПИ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина]. – Екатеринбург, 2012. – 194 с. – Текст : непосредственный.
9. Афонин, К. В. Тепловой и воздушный режим зданий с легкими ограждающими конструкциями в условиях Западной Сибири : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха и освещение»: дис. ... канд. техн. наук / К. В. Афонин. – Тюмень : [б.и.], 2003. – 115 с. – Текст : непосредственный.
10. Аэрозоли Сибири = Aerosols of Siberia / [Андреева И. с.и др.] ; отв. ред. К. П. Куценогий. – Новосибирск :Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2006. – 547 с., [2] л. цв. ил. : ил., табл.; 25 см. – (Интеграционные проекты СО РАН / Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т химической кинетики и горения, Ин-т катализа им. Г. К. Борескова, Ин-т неорганической химии им. А. В. Николаева [и др.]; Вып. 9). – Текст : непосредственный.
11. Бабков, В.С. Анализ математических моделей распространения примесей от точечных источников / В.С.Бабков, Т.Ю. Ткаченко – Текст : непосредственный // Наукові праці ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". – Випуск 13(185), 2011. – С. 147-155.
12. Байтелова, А.И. Источники загрязнения среды обитания: учеб.пособие / Байтелова А. И., Гарицкая М. Ю., Куксанов В. Ф. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. – 191 с. – Текст : электронный.
13. Баркалов, Б. В. Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Б. В. Баркалов, Н. Н. Павлов. – Москва : Стройиздат, 1992. – 416 с. – Текст : непосредственный.
14. Барсуков, Д.В. Фотоокисление СО и летучих органических соединений на поверхности гидратированных полупроводниковых катализаторов : автореферат дис. – Текст : непосредственный. ...кандидата химических наук : 02.00.04 / Барсуков Денис Валерьевич; [Место защиты: Ин-т орган. химии им. Н.Д. Зелинского РАН]. – Москва, 2018. – 26 с. – Текст : непосредственный.
15. Батулин, В. В. Вентиляция / В. В. Батулин. – Москва : Госстройиздат, 1959. – 133 с. – Текст : непосредственный.
16. Безуглая, Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов / Э. Ю. Безуглая. – Санкт-

- Петербург: Гидрометеиздат, 1980. – 130 с. – Текст : непосредственный.
17. Безуглая, Э. Ю. Мониторинг состояния атмосферы в городах / Э. Ю. Безуглая. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1991. – 254 с. – Текст : непосредственный.
 18. Беккер, А. Системы вентиляции / А. Беккер ; под ред. Г. В. Резникова ; пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. – Москва : Техносфера : Евроклимат, 2007. – 237, [2] с. – Текст : непосредственный.
 19. Блинов, Л.Н. Автотранспорт, экология, безопасность / Л. Н. Блинов, В. В. Букреев ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский госполитехнический ун-т. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2007. – 266 с. – Текст : непосредственный.
 20. Богословский, В. Н. Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция/ В. Н. Богословский, А. И. Пирумов. – Москва : Стройиздат, 1992. – 319 с. – Текст : непосредственный.
 21. Богуславский, Е. И. Жизнеобеспечение в окружающей среде / Е. И. Богуславский. – Ростов-на-Дону: РГАС, 1992. – 110 с. – Текст : непосредственный.
 22. Большаков, В. Д. Теория ошибок наблюдений / В. Д. Большаков. – Москва : Недра, 1983. – 224 с. – Текст : непосредственный.
 23. Бричков, А.С. Технология и физико-химические свойства тонкопленочных и дисперсных материалов на основе оксидов титана, кремния и кобальта : диссертация ... кандидата технических наук : 05.17.11 / Бричков Антон Сергеевич; [Место защиты: Нац. исслед. Том.гос. ун-т]. – Томск, 2013. – 140 с.: ил. – Текст : непосредственный.
 24. Быстрых, В. В. Комплексная гигиеническая оценка загрязнения окружающей среды промышленного города и показателей здоровья новорожденных : специальность 14.00.07 «Гигиена» : дис. ... канд. мед.наук / В. В. Быстрых. – Оренбург: [б.и.], 1995. – Текст : непосредственный.
 25. Вентиляционное устройство: пат. 136541 F24F7/00 Рос. Федерация № 136541 / Исенов К.А. ; заяв. 17.01.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл.№ 11. – 5 с. – Текст : непосредственный.
 26. Вентиляция воздуха в производственных, общественных и жилых зданиях : учебное пособие по курсам "Энергетические системы обеспечения жизнедеятельности", "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха" / Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет "МЭИ" ; под ред. А. Я. Шелгинского. – Москва : Изд-во МЭИ, 2017. – 115 с. – Текст : непосредственный.

27. Вентиляция. Оборудование и технологии : учебно-практическое пособие / [Афанасьева Р. Ф. и др.]. – Москва : Стройинформ, 2007. – 418 с. – Текст : непосредственный.
28. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура = Bulletin of the Perm national research polytechnic university. Construction and architecture : журнал / учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский национальный исследовательский политехнический университет". – Пермь : ПНИПУ, 2012-2019, Т. 10, № 2. – 2019. – 143 с. – Текст : непосредственный.
29. Вислогузов, А.Н. Особенности современного проектирования систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха общественных, многоэтажных и высотных зданий : учебное пособие : направление подготовки 08.04.01 – Строительство : магистр / А. Н. Вислогузов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Северо-Кавказский федеральный университет". – Ставрополь : Изд-во СКФУ, 2016. – 171 с. – Текст : непосредственный.
30. Владимирова, Е. А. Численное моделирование распространения пассивной примеси в атмосфере / Е. А. Владимирова. – Текст : непосредственный // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 7. – С. 22-34.
31. Воздействие на организм опасных и вредных экологических факторов: метеорологические аспекты / Л. К. Исаева [и др.] ; под ред. Л. Н. Сухова. – Москва: ПАИМС, 1997. – 512 с. – Текст: непосредственный.
32. Воздухообменный клапан: пат. 148405 U1 Рос. Федерация № 148405 U1 F24F 7/04 / Овсянников Н., Самохвалов А.с.; заявл. 01.07.14 ; опубл. 01.07.14, Бюл. № 34. 6 с. – Текст : непосредственный.
33. Волкодаева, Марина Владимировна. Анализ и прогноз загрязнения воздуха выбросами автотранспорта : диссертация ... кандидата географических наук : 11.00.09. – Санкт-Петербург, 1998. – 157 с. – Текст : непосредственный.
34. Воробьева, Ю. А. Влияние процесса старения ограждающих конструкций и инженерных систем жилых зданий на микроклимат помещений : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха и освещение» : дис... канд. техн. наук / Ю. А. Воробьева. – Воронеж : [б.и.], 2006. – 189 с. – Текст : непосредственный.

35. Ворожнин, В.С. Разработка методики обеспечения экологической безопасности участников дорожного движения : на примере крупного города : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.01 / Ворожнин Владимир Сергеевич; [Место защиты: Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. Ун-т (МАДИ)]. – Москва, 2014. – 133 с. – Текст : непосредственный.
36. Воронцов, А.В. Гетерогенная фотокаталитическая окислительная деструкция углеродсодержащих соединений на чистом и платинированном диоксиде титана : диссертация ... доктора химических наук : 02.00.15 / Воронцов Александр Валерьевич; [Место защиты: Ин-т катализа им. Г.К. Борескова СО РАН]. – Новосибирск, 2009. – 317 с. – Текст : непосредственный.
37. Воронцов, А.В. Фотокаталитическое окисление газообразных органических веществ на полупроводниковых оксидах : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.15. – Новосибирск, 1998. – 190 с. – Текст : непосредственный.
38. Выбросы стационарных источников. Определение содержания полициклических ароматических углеводородов в газообразном состоянии и в виде твердых взвешенных частиц. Ч. 2. Подготовка, очисткаианализпроб : Stationary source emission. Determination of gas and particle–phase polycyclic aromatic hydrocarbons. Part 2. Sample preparation, clean–up and determination : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 11338–2–2008 : введен впервые : введен 2009-09-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Стандартинформ, 2009. – IV, 22 с. – Текст : непосредственный.
39. Выбросы стационарных источников. Отбор проб при автоматическом определении содержания газов с помощью постоянно установленных систем мониторинга = Stationary source emissions. Sampling for the automated determination of gas emission concentrations for permanently–installed monitoring systems : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 10396–2012 : изд. офиц. : взамен ГОСТ Р ИСО 10396–2006 : введен 2013-12-01 / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии; научно-исследоват. центр контроля и диагностики техн. Систем. – Москва : Стандартинформ, 2014. – IV, 26 с. – Текст : непосредственный.
40. Высоцкая, С. О. Исследование влияния мелкодисперсной платины на состояние адсорбатов фталоцианина магния на диоксиде кремния и на фотосенсибилизированное разложение воды : диссертация ... кандидата физико-математических наук : 01.04.07. – Санкт–Петербург, 2001. – 108 с. – Текст : непосредственный.

41. Гагарин, В. Г. Взгляд на современные конструкции наружных стен с повышенными теплоизоляционными свойствами / В. Г. Гагарин – Текст : непосредственный // АВОК. – 2007. – № 8. – 5-7 с.
42. Газоанализатор дымовых выбросов ТЭС / А. Е. Бакарев, Е. Н. Бондарчук, А. А. Ковалев и др. – Новосибирск : ИТФ, 1991. – 16 с. – Текст : непосредственный.
43. Газоанализатор ПЭМ–2. Непрерывный контроль CO, NO_x, SO₂ и O₂ в дымовых выбросах ТЭС / Бондарчук Е. Н., Панченко В. М., Пахомов Л. М. и др. – Новосибирск : ИТФ, 1996. – 27 с. – Текст : непосредственный.
44. Гарицкая, М.Ю. Экологические особенности городской среды: учеб.пособие / Гарицкая М. Ю., Байтелова А. И., Чекмарева О. В., Оренбургский государственный университет. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2012. – 216 с. – Текст : электронный.
45. ГН 2.1.6.3492–17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений : дата введения 2018-05-31. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 40 с. – Текст : непосредственный.
46. ГОСТ 22270–2018. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Термины и определения = Heating, ventilation, air conditioning systems. Terms and definitions : издание официальное : введен Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 октября 2018 г. 762-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации : взамен ГОСТ 22270–76 : дата введения 2018-11-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; разработан Закрытым акционерным обществом "ИСЗС-Консалт" (ЗАО "ИСЗС-Консалт"), Техническим комитетом по стандартизации ТК 400 "Производство работ в строительстве, типовые технологические, организационные процессы". – Москва : Стандартинформ, 2019. – IV, 23 с. – Текст : непосредственный.
47. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : дата введения 2013-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 10 с. – Текст : непосредственный.
48. ГОСТ 34060–2017. Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проведения и контроль выполнения работ = Testing and adjusting ventilation systems and air-conditioning. Rules of carrying out and control of performance of works : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 января 2018 г. № 4-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации : введен впервые : дата введения

- 2018-02-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; разработан Закрытым акционерным обществом "ИСЗС-Консалт" (ЗАО "ИСЗС-Консалт"), Техническим комитетом по стандартизации ТК 400 "Производство работ в строительстве, типовые технологические, организационные процессы". – Москва : Стандартиформ, 2018. – III, 31, [1] с. : табл. – (Инженерные сети зданий и сооружений внутренние = Internal buildings and structures utilities). – Текст : непосредственный.
49. Грачев, Ю.Г. Очистка воздуха зданий от вредных веществ (Словник терминов) : Учеб.пособие / Ю. Г. Грачев; М-во общ. и проф. образования РФ и др. - Пермь : ПГТУ, 1996 – 279/[1] с. – Текст : непосредственный.
50. Гримсруд, Д. Т. Борьба с загрязнением воздуха в жилых зданиях средствами вентиляции: летучие органические вещества и радон / Д. Т. Гримсруд, Д. Е. Хэдлиш-Текст : непосредственный // Труды ASHRAE. – Москва : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1999. – С.114. .
51. Губернский, Ю. Д. Эколого–гигиеническая безопасность жилища / Ю. Д. Губернский. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 1994. – № 3. – С. 15-18.
52. Губернский, Ю. Д. Эколого–гигиенические аспекты организации мониторинга жилой среды / Ю. Д. Губернский, Н. В. Калинина, А. И. Мельникова. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 1997. –№ 3. – С. 46-49
53. Гусейнов, А. И. Хионоиндикационный мониторинг в районе теплоэлектроцентралей города Тюмени (эколого–геохимические аспекты) / А. И. Гусейнов. – Текст : непосредственный // Экология и промышленность России. – 1997. – № 5. – С. 4-8.
54. Дацюк, Т. А. Моделирование рассеивания вентиляционных выбросов / Т. А. Дацюк. – Текст : непосредственный.// Сборник материалов конференции СПбГАСУ. – Санкт–Петербург : СПбГАСУ, 2000. – № 1. – С. –12-14.
55. Дацюк, Т. А. Новая технология проектирования систем обеспечения микроклимата зданий / Т. А. Дацюк, В. Ф. Васильев, В. В. Дерюгин. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2005. – № 3 (4). – С. 57-62.
56. Дацюк, Т. А. Совершенствование принципов расчета систем обеспечения микроклимата зданий / Т. А. Дацюк, В. В. Дерюгин, Ю. Н. Леонтьева – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 8. – С. 51-56.
57. Денисова, Е. Л. Влияние факторов среды обитания на состояние здоровья населения (на примере г. Орехово-Зуево) / Е. Л. Денисова,

- А. И. Горшков, Н. П. Ляхова. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 2005. – № 1. – С. 6-8.
58. Джигола Л.А., Тихонова К.С., Реснянская А.С. Новая каталитическая система для очистки воздуха от монооксида углерода. – Текст : непосредственный // Естественные науки. – 2017. – № 1 (58). – С. 98-102.
59. Диденко, В. Г. О совершенствовании методики расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере / В. Г. Диденко, Н. Б. Иванов // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : труды II Международной научно–практической конференции. – Волгоград : ВолГАСУ, 2004. – С. 7. – Текст : непосредственный.
60. Дмитриенко, Ю. В. Проблемы свинцового загрязнения в г. Тюмени / Ю. В. Дмитриенко. – Текст : непосредственный // Материалы областной научно-практической конференции, посвященной 80-летию образования государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации. – Москва : Госсанэпимслужба, 2002. – С. 54-64.
61. Другов, Ю.С. Мониторинг органических загрязнений природной среды: 500 методик : практическое руководство / Ю. С. Другов, А. А. Родин. – 3–е изд. (электронное). – Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2013. – 893 с. – Текст : электронный.
62. Другов, Ю.С. Пробоподготовка в экологическом анализе: практическое руководство / Ю. С. Другов, А. А. Родин. – 4-е изд. (электронное). – Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2013. – 855 с. – Текст : электронный.
63. Евсина, Е.М. Математическое моделирование аэродинамических систем при создании средств очистки атмосферного воздуха : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.18 / Евсина Елена Михайловна; [Место защиты: Астрахан.гос. ун-т]. – Астрахань, 2008. – 145 с. – Текст : непосредственный.
64. Езерский, В.А. Техничко-экономическая оценка термомодернизации жилых зданий: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 270100 "Строительство" по специальности 270105 "Городское строительство и хозяйство" / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников. – Москва : Изд-во Ассоц. строительных вузов, 2011. – 174 с. – Текст : электронный.
65. Жукова, Н.С. Инженерные системы и сооружения : учебное пособие : в трех частях / Н. С. Жукова, В. Н. Азаров ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград : ВолГГТУ, 2017. –171 с. – Текст : непосредственный.

66. Зайнишев А.В. Особенности процесса управления работой фотокаталитического воздухоочистителя / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин, Е.Г. Колганов. – Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 12. – С. 11-14.
67. Зайнишев, А.В. Определение гидравлического сопротивления фотокаталитического воздухоочистителя / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин, Р.Х. Юсупов, В.И. Панферов. – Текст: непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – № 4. – С. 17-18.
68. Зайнишев, А.В. Особенности воздушного потока в спиральном фотокаталитическом воздухоочистителе / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин. – Текст : непосредственный // Материалы ЛШ международной науч.-техн. конференции «Достижения науки – агропромышленному производству». Ч. IV. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – С. 121.
69. Зайнишев, А.В. Фотокаталитический воздухоочиститель / А.В. Зайнишев, Р.Х. Юсупов, В.В. Старших, Г.А. Полунин. – Текст : непосредственный// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 2. – С. 27-30.
70. Зайцев, В. И. Гигиеническая оценка окружающей среды при многолетней эксплуатации сосредоточенных химических предприятий / В. И. Зайцев, А. П. Михайлуц. – Кемерово : Медицина, 1999. – 56 с. – Текст : непосредственный.
71. Зиганьшин, И.Р. Пористые материалы на основе диоксида циркония, допированного оксидами иттрия и церия : диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.06, 05.16.09 / Зиганьшин Ильдар Равимович; [Место защиты: Перм. нац. исслед. политехн. Ун-т].– Пермь, 2012. – 126 с. – Текст : непосредственный.
72. Ибрагимов, И.М. Инновационные технологии и системы для защиты окружающей среды от воздействия энергетики : диссертация ... доктора технических наук : 03.02.08 / Ибрагимов Ильдар Маратович; [Место защиты: Моск. гос. открытый ун-т]. – Москва, 2011. – 243 с. – Текст : непосредственный.
73. Ильин, Л. А. Онкологическая “цена” тепловой и атомной электроэнергии / Л. А. Ильина, И. П. Коренкова. – Москва : Медицина, 2001. – 240 с. – Текст : непосредственный.
74. Инженерное оборудование высотных зданий / [А. А. Антонов и др.] ; под общ.ред. М. М. Бродач. – Москва : АВОК-Пресс, 2007. – 314, [1] с. – Текст : непосредственный.
75. Исаенко, П.В. Автотранспортная экология : учебное пособие / П. В. Исаенко, В. Д. Исаенко, В. А. Аметов ; Федеральное агентство по образованию, Гос. – Текст : непосредственный. образовательное учреждение высш. проф. образования Томский гос. архитектурно – строительный ун-т, Ин-т заочного и дистанционного обучения. –

- Томск : Изд-во Томского гос. архитектурно – строительного ун-та, 2006. – 239 с. – Текст : непосредственный.
76. Казакевич, М. И. Актуальные проблемы здания и аэродинамика / М. И. Казакевич. – Текст : непосредственный // Труды молодых ученых: тезисы докладов. – Киев : Национальный университет железнодорожного транспорта Днепрпетровский Вольт, 2007. – с. 152-161.
77. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы X международной научной конференции, 13-20 мая 2012 г., г. Будапешт / М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. архитектурно-строит. ун-т, Будапештский ун-т технологий и экономики, Российская акад. архитектуры и строит. наук ; [редкол .С.Ю. Калашников, А. Н. Гвоздков, А. Г. Кочев] Волгоград : ВолгГАСУ, 2012 – 472, [1] с. – Текст : непосредственный.
78. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях : руководство Р 3.5.1904–04 / [разраб. М. Г. Шандала и др.].– Изд. офиц. Москва : Минздрав России, 2004. – 40 с. – Текст : непосредственный.
79. Полуниин, Г.А. Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода в кабинах и кузовах мобильных машин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.01 / Полуниин Георгий Александрович; [Место защиты: Юж.-Ур.гос. ун-т]. – Челябинск, 2016. – 139 с : ил. – Текст : непосредственный.
80. Полуниин, Г.А. Применение ультрафиолетовых светодиодов в фотокаталитических воздухоочистителях для очистки воздуха кабин мобильных машин / Г.А. Полуниин, А.В. Зайнишев // Технологии техносферной безопасности. – Издательство: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Москва) – 2012. – № 6 (46). – с. 12. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-6/12-06-12.ttb.pdf>. – Текст : электронный.
81. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды = Indoor air and environmental quality : материалы XIV Международной научной конференции, 18-29 сентября 2016 г., г. Афины / М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. – Текст : непосредственный. архитектурно–строит. ун–т, Московский гос. – строит. Ун-т, Российская акад. архитектуры и строит. наук (РААСН)

- ; [редкол.: А. Н. Гвоздков (сост.) и др.]. - Волгоград : ВолгГАСУ, 2016 – 373 с. – Текст : непосредственный.
82. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы VIII Международной научной конференции, 17-21 мая 2010 г., г. Самарканд / М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. архитектурно-строит. Ун-т [и др.] ; [редкол. : С. Ю. Калашникова, В. Г. Диденко, А. Н. Гвоздков (сост.)]. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. – 529 с. – Текст : непосредственный.
83. Квашнин, И. М. Рассеивание и установление нормативов выбросов для предприятия / И. М. Квашнин. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2007. – № 8. – С. 20-22.
84. Китайцева, Е. Х. Естественная вентиляция жилых зданий / Е. Х. Китайцева, Е. Г. Малявина. – Текст : непосредственный // АВОК. – 1999. – № 3. – С. 14-17.
85. Клапан инфильтрации воздуха (Кив–М): пат. 2400 676 С1 Рос. – Текст : непосредственный. Федерация № 2009113073/06 / Демидов М.А.; заяв. 07.04.2009; опуб. 07.09.2010, Бюл.27. 8 с. – Текст : непосредственный.
86. Клапан приточной вентиляции : пат. 177 794 U1 F 16 K 24/00 Рос. – Федерация № 177 794 U1 / Балобанов С.А.; заявл.22.06.17; опубл. 13.03.18, Бюл.№ 8. - 6 с. – Текст : непосредственный.
87. Клапан приточной вентиляции: пат. 2523224 С2 Рос. Федерация № 2012151230112 / Дубичев В.Г.; заяв. 30.11.2012; опуб. 20.07.2014, Бюл. - 6 с. – Текст : непосредственный.
88. Клапаны обратные с защитным покрытием Ду 50 на Рр 0,1 МПа (10 кгс/см²) и Тр. ср. до 170° С : техн. описание и инструкция по эксплуатации 50 КТ 5113-050 ТО. – Санкт–Петербург, 1993. – 10 с. – Текст : непосредственный.
89. Козачек, А. В. Теория и практика нормативного расчёта величин загрязнения окружающей среды на автомобильном транспорте и транспортных предприятиях : учебное электронное пособие. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО "ТГТУ", 2015. – 79 с. – Текст : непосредственный.
90. Козлов, Д.В. Новые высокоактивные материалы на основе TiO₂ для фотокаталитического окисления паров органических веществ и очистки воздуха : автореферат дис. ... доктора химических наук : 02.00.15 / Козлов Денис Владимирович; [Место защиты: Ин-т катализа им. Г.К. Борескова СО РАН]. – Новосибирск, 2014. – 36 с. – Текст : непосредственный.
91. Кокатев, А.Н. Структура и свойства композитных покрытий на основе пористых анодных оксидов алюминия и титана, модифицированных наночастицами Ag и γ-MnO₂ : автореферат дис. ... кандидата технических наук: 01.04.07 / Кокатев Александр

- Николаевич; [Место защиты: Моск. гос. – Текст : непосредственный.техн. ун-т им. Н.Э. Баумана]. – Москва, 2013. – 18 с. – Текст : непосредственный.
92. Колесник, Ирина Валерьевна. Мезопористые материалы на основе диоксида титана : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.21, 02.00.01 / Колесник Ирина Валерьевна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Хим. фак.]. – Москва, 2010. – 155 с. – Текст : непосредственный.
93. Колмаков, К.А. Фотокаталитическое окисление метана и метанола на поверхности оксидов переходных металлов Фотокаталитическое окисление метана и метанола на поверхности оксидов переходных металлов : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.04. – Санкт–Петербург, 2000. – 138 с. – Текст : непосредственный.
94. Комплексное энерготехнологическое использование газа и охрана воздушного бассейна / Е. Е. Новгородский [и др.]. – Москва : Дело, 1997. – 386 с. – Текст : непосредственный.
95. Кононович, Ю. В. Основы экологического планирования градостроительной деятельности : учебное пособие / Ю. В. Кононович, А. Д. Потапов. – Москва : Издатпресс, 1999. – 125 с. – Текст : непосредственный.
96. Кондрашова, А.В. Физико-химические и каталитические свойства дисперсного кремнезёма : автореферат дис. ...кандидата химических наук : 02.00.04 / Кондрашова Анжела Владимировна; [Место защиты: Сарат. гос. Ун-т им. Н.Г. Чернышевского]. – Саратов, 2010. – 22 с. – Текст : непосредственный.
97. Контакт для очистки воздуха от монооксида углерода и способ его получения(19)SU(11) 1 641 418 (13) A1 (51) МПК В01J 29/26(2006.01) В01J 37/02(2006.01) (21)(22) / Власенко В.М., Соловьев С.А., Турутина Н.В., Белоклейцева Г.М., Ильин В.Г. Заявка: 4616843, 1988.12.08 (22) ; заявл.: 1988.12.08 (45); опубл.: 1991.04.15 (72). – Текст : непосредственный.
98. Королев, А. А. Медицинская экология : учебное пособие / А. А. Королев, М. В. Богданов, А. А. Королев. – Москва : Академия, 2003. – 192 с. – Текст : непосредственный.
99. Корчагин, В. Д. Особенности мониторинга атмосферы крупного промышленного предприятия : специальность 25.00.36 «Геоэкология», 25.00.30 «Метеорология, климатология, агрометеорология» : дис. ... канд. геологических наук / Д. В. Корчагин. – Воронеж : [б.и.], 2004. – 173 с. – Текст : непосредственный.
100. Краснов, В.И. Монтаж систем вентиляции и кондиционирования воздуха : учебное пособие для студентов средних специальных строительных учебных заведений,

- обучающихся по специальности 270110 "Монтаж и эксплуатация внутренних сантехнических устройств и вентиляции" / В. И. Краснов. – Москва : ИНФРА-М, 2012. – 223, [1] с. – Текст : непосредственный.
101. Кузнецов, И. С. Моделирование полей концентраций вредных веществ и обоснование воздухообмена в производственных помещениях : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха и освещение» : дис. – ... канд. техн. наук / И. С. Кузнецов. – Воронеж : [б.и.], 2007. – 125 с. – Текст : непосредственный.
102. Кузьмичев, А. В. Основы мониторинга воздушного бассейна застроенных территорий в условиях децентрализации систем теплоснабжения : специальность 03.00.16 «Экология», 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха и освещение» : дис. ... канд. техн. наук / А. А. Кузьмичев. – Волгоград : [б.и.], 2005. – 129 с. – Текст : непосредственный.
103. Куликов, В. Г. Сравнительная гигиеническая оценка состояния внутренней среды жилых зданий, расположенных в селитебных зонах с различными уровнями загрязнения атмосферного воздуха / В. Г. Куликов, Э. Г. Плотко, К. П. Селянкина. – Текст : непосредственный // Медицина труда и экология человека в горно-металлургической промышленности : сборник научных трудов. – Екатеринбург : Наука, 1998. – С. 119-125.
104. Курень, С. Г. Математическое моделирование загрязнения приземного слоя атмосферы : монография / С.Г. Курень, Г. Ю. Рябых, Г. В. Николенко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный технический университет". – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2019. – 113 с. – Текст : непосредственный.
105. Кучма, В. Р. Эпидемиология заболеваний населения, проживающих на экологически неблагоприятных территориях / В. Р. Кучма, С. Р. Гильденскиольд, Т. Ш. Минибаев. – Текст : непосредственный // Экологическая безопасность регионов и рыночные отношения : материалы международной конференции. – Москва : ЭКСПРЕСС, 1994. – С. 363-368.
106. Лавыгина, О.Л. Экология городской среды : учебное пособие / О. Л. Лавыгина ; Министерство науки и высшего образования РФ, Иркутский национальный исследовательский технический университет. – Иркутск : Издательство ИРНТУ, 2019. – 145 с. – Текст : непосредственный.
107. Лебедькова, С. Е. Распространенность сердечно-сосудистых заболеваний в детской популяции школьного возраста с учетом

- экологической обстановки воздушной среды / С. Е. Лебедькова, В. М. Боев, Л. В. Колбина. – Текст : непосредственный // Педиатрия. – 1991. – № 12. – с. 41-44.
108. Ливчак, В. И. Решения по вентиляции многоэтажных жилых зданий / В. И. Ливчак // АВОК. – 1999. – № 6. – С. 21-25. – Текст : непосредственный.
109. Ливчак, И. Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации в России за 100 последних лет / И. Ф. Ливчак, Ю. Я. Кувшинов. – Москва : Изд-во АСВ, 2004. – 149 с. – Текст : непосредственный.
110. Ливчак, И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И. Ф. Ливчак, А. Л. Наумов. – М. : АВОК–Пресс, 2005 (ОАО Ярослав. полигр. комб.). – 133, [1] с. – Текст : непосредственный.
111. Литвинова, Н.А. Вентиляция и качество воздуха в зданиях городской среды : монография. – М.: Инфра-М, 2019. – 170 с. – Текст : непосредственный.
112. Литвинова, Н.А. Улучшение качества воздушной среды помещений с учетом качества наружного воздуха: монография. – Тюмень: ТИУ, 2019. 160 с. – Текст : непосредственный.
113. Литвинова, Н. А. Автотранспорт и чистота воздуха в жилых помещениях / Н. А. Литвинова. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: труды материалов III международной научно-практической конференции. – Тюмень : ТюмГАСУ, 2010. – С. 113-116.
114. Литвинова, Н.А. Аппараты пыле- и газоочистки воздушной среды : учебное пособие / Н. А. Литвинова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский индустриальный университет" Тюмень : ТИУ, 2017. – 134 с. – Текст : непосредственный.
115. Литвинова, Н.А. Качество воздуха в зданиях городской среды : монография / Н. А. Литвинова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Тюменский гос. архитектурно-строит. Ун-т" Тюмень : Тюменский гос. архитектурно-строит. ун-т, 2014. – 161 с. – Текст : непосредственный.
116. Лобачева, Г.К. Экология и автотранспорт : учеб.-метод. пособие / Г.К. Лобачева, И.Ж. Гучанова, А.И. Гучанова; Под общ. ред. Г.К. Лобачевой; М-во образования Рос. Федерации. Волгогр. гос. ун-т, Междунар. акад. авторов науч. открытий и изобрет. – Волгоград : [Изд-во Волгогр. гос. – Текст : непосредственный.ун-та], 2004. – 501 с. – Текст : непосредственный.

117. Ломовцева Е.Е. Поглотитель водяных паров на основе органического материала / Е. Е. Ломовцева, М. А. Ульянова, В. П. Андреев, О. И. Макридина. – Текст : непосредственный // Вопросы оборонной техники: композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – 2012. – Сер. 15. – С. 69-74.
118. Ломовцева, Е. Е. О пористой структуре гибридных сорбирующих материалов для осушки воздуха / Е. Е. Ломовцева, М. А. Ульянова, Н. Ц. Гатанова. – Текст : непосредственный // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2014. – Т. 20. – № 2. – С. 299 -305.
119. Ломовцева, Е. Е. Сорбционные осушители воздуха на основе органических материалов / Е. Е. Ломовцева, М. А. Ульянова, В. П. Андреев. – Текст : непосредственный // Стратегия развития научно-производственного комплекса Российской Федерации в области разработки производства систем жизнеобеспечения и защиты человека в условиях химической и биологической опасности : материалы Российской научной конференции, Тамбов, 14 октября 2009 г. – Тамбов, 2009. – С.113-115.
120. Ломовцева, Е.Е. Процессы осушки воздуха гибридными сорбирующими материалами на основе силикагеля и полиакрилата калия в системах жизнеобеспечения : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.17.08 / Ломовцева Елена Евгеньевна; [Место защиты: Тамб. гос техн. Ун-т]. – Тамбов, 2014. – 16 с. – Текст : непосредственный.
121. Магадеев, В.Ш. Снижение токсичности дымовых газов тепловых электростанций / В. Ш. Магадеев. – Москва : Энергоатомиздат, 2009. – 181 с. : ил., табл.; 22 см.(в пер.). – Текст : непосредственный.
122. Макаров, А.А. Высокопористые ячеистые материалы в устройствах каталитической очистки газовых выбросов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.16.06. – Пермь, 2004. – 154 с. – Текст : непосредственный.
123. Макаров, А.М. Процессы формирования структуры и свойств композиционных высокопористых ячеистых материалов : диссертация ... доктора технических наук : 05.16.06. – Пермь, 2006. – 348 с. – Текст : непосредственный.
124. Малахов, П. В. Проект естественно–механической вентиляции жилого дома в Москве / П. В. Малахов. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2003. – № 3. – С. 12-17.
125. Малявина Е. Г. Воздушный режим высотного здания в течение года. – Текст : непосредственный //АВОК. – 2003. – № 6. – С. 14.
126. Манжилевская, С.Е. Экологическая безопасность в строительстве : учебное пособие / С. Е. Манжилевская, В. Н. Азаров,

- Л. К. Петренко ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет". – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2020. – 122 с. – Текст : непосредственный.
127. Мастеров, И. В. Вентиляция. – Санкт–Петербург: Издательство ДИЛЯ, 2005. – 192 с. – Текст : непосредственный.
128. МГСН 3.01-01. Жилые здания : дата введения 2001-10-02. – Москва : ГПЦГП, 2002. – 20 с. – Текст : непосредственный.
129. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. – Москва : Санкт-Петербург, 1999. – 30 с. – Текст : непосредственный.
130. Мироненко, К. В. Экологическое ранжирование территорий и разработка средств снижения техногенного воздействия на окружающую среду : специальность 11.00.11 «Охрана окружающей среды и хозяйственное использование природных ресурсов» : дис. – Текст : непосредственный. ... канд. техн. наук / К. В. Мироненко. – Барнаул : [б.и.], 1999. – 165 с.– Текст : непосредственный.
131. Михайлов, Р.В. Фотостимулированное взаимодействие O_2, CO, NO с дисперсным TiO_2 при облучении в области собственного и несобственного поглощения : автореферат дис. ...кандидата физико-математических наук : 01.04.07 / Михайлов Руслан Вячеславович; [Место защиты: С.-Петерб. гос. Ун-т]. – Санкт–Петербург, 2015. – 16 с. – Текст : непосредственный.
132. Монтаж, эксплуатация и сервис систем вентиляции и кондиционирования воздуха : учебно–справочное пособие / С. И. Бурцев, А. В. Блинов, Б. с. Востров [и др.]. – Санкт-Петербург : Профессия, 2005. – 376 с. – Текст : непосредственный.
133. Монтаж, эксплуатация и сервис систем вентиляции и кондиционирования воздуха : учебно–справочное пособие / под общ.ред. В. Е. Минина. – 2–е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Профессия, 2007. – 370 с. – Текст : непосредственный.
134. Мусина, У.И. Очистка выхлопных газов автотранспорта с помощью коксуской шунгитистой породы / У.И. Мусина, Д.Т. Оразова, Г.З. Бижанова, Б.Е. Нурдилданова. – Текст : непосредственный // Вестник КазНТУ, 2012. №3 (91). – С. 62-66.
135. Наумов, А. Л. Оценка расхода теплоты на отопление и вентиляцию в жилых зданиях / А. Л. Наумов // АВОК. – 2007. – № 8. – С. 8-12. – Текст : непосредственный.
136. Никифоров, Д. М. Эколого-географическая оценка состояния воздушной среды Иволго-Удинской котловины : специальность 11.00.11 «Охрана окружающей среды и хозяйственное

- использование природных ресурсов» : дис. ... канд. техн. наук / Д. М. Никифоров. – Улан-Удэ : Иркутский государственный университет, 1999. – 131 с. – Текст : непосредственный.
137. Новиков, С. М. Проблема оценки канцерогенного риска воздействия химических загрязнений окружающей среды / С. М. Новиков, Г. И. Румянцев, З. И. Жолдакова. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 1998. – № 1. – С. 29-34.
138. Нуман, Н.Л. Исследование и разработка методов регулирования загрязнения городского воздуха, вызванного автомобильным транспортом : диссертация ... кандидата физико-математических наук : 11.00.09. – Санкт-Петербург, 1996. – 175 с.: ил. – Текст : непосредственный.
139. Оганесян, Э. Б. Исследование структуры геометрически модифицированных силикагелей-адсорбентов и носителей для газовой хроматографии : автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата химических наук / [Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. Хим. фак.] Москва : Изд-во Моск. ун-та, [19] – 18 с. – Текст : непосредственный.
140. Онищенко, Г. Г. Основы оценки риска для здоровья при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин. – Москва : Медицина, 2002. – с. 368-406. – Текст : непосредственный.
141. Онищенко, Г. Г. Риск здоровью / Г. Г. Онищенко. – Текст : непосредственный // Гигиена и санитария. – 2002. – № 6. – С. 3-5.
142. Орозалиев, Э.Э. Фотокаталитические покрытия на основе поливинилбутирала и модифицированного полититаната калия : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.17.06 / Орозалиев Эмиль Эсенбекович; [Место защиты: Сарат. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А.]. – Саратов, 2015. – 22 с. – Текст : непосредственный.
143. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко [и др.]. – Москва: НИИЭУ и ГОС, 2002. – 408 с. – Текст : непосредственный.
144. Першин, А.А. Исследование фотокаталитических процессов разложения экозагрязнителей воздуха промышленных и административных помещений металлургических производств : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.26.01 / Моск. гос. ин-т стали и сплавов. – Москва, 2005. – 24 с. – Текст : непосредственный.
145. Першин, С. Е. Здоровье населения как показатель экологического состояния территории промышленного города : специальность 03.00.16 «Экология»: дис. ...канд. мед. наук / С. Е.

- Першин. – Волгоград : [б.и.], 1998. – с. 150. – Текст : непосредственный.
146. Петров, В.А. Воздух как наиболее общая среда обитания человека и методология управления его качеством : учебное пособие / В. А. Петров ; М-во здравоохранения Российской Федерации, Тихоокеанский государственный медицинский ун-т. – Владивосток : Медицина ДВ, 2014. – 153 с.: ил. – Текст : непосредственный.
147. Платонов, Е.А. Модифицирование каталитических и адсорбционных свойств нанесённых на силикагель металлов Cu, Ni, Co и оксидов NiO, ZnO : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.04 / Платонов Евгений Александрович; [Место защиты: Рос. хим.-технол. Ун-т им. Д.И. Менделеева]. – Москва, 2016. – 146 с. – Текст : непосредственный.
148. Полосин, И.И. Оборудование и детали вентиляционных систем : учебно-справочное пособие : в четырех частях : учебно-справочное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 "Строительство" / И. И. Полосин, В. Н. Шершнев ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Воронежский гос. Архитектурно-строит. ун-т. – Воронеж : Воронежский гос. Архитектурно-строит. ун-т, 2007. – 29 см. Ч. 2. – 2007. – 129 с. – Текст : непосредственный.
149. Порецкий, В. В. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / В. В. Порецкий, И. С. Березович, Т. И. Стомахина. – Москва : Патери, 2003. – 308 с. – Текст : непосредственный.
150. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов : справочно-методическое пособие / Технопромстрой ; [Костюченко П. А. и др.] ; под общ. ред. О. Л. Данилова, П. А. Костюченко. – Москва : Технопромстрой, 2006. – 668 с. – Текст : непосредственный.
151. Прибор для принудительного проветривания помещений, фильтрующий приточный воздух: пат. 54659 U1 Рос. Федерация № 54659 U1 / Провадкин Г.Г.; заявл. 01.03.2005; опуб.10.07.2006, Бюл. № 8. - 5 с. – Текст : непосредственный.
152. Приточный вентиляционный клапан: пат. 178462 Рос. – Текст : непосредственный. Федерация № 2017110661 / Малетин А.А.; заяв. 30.03.2016; опуб. 30.03.2017, Бюл. 5 с. – Текст : непосредственный.
153. Приходько, С. В. Повышение эффективности систем улавливания диоксида углерода из дымовых газов котельных установок : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 03.02.08 / Приходько Степан Владимирович; [Место защиты: Моск. гос. – Текст : непосредственный. открытый ун-т им. В.С. Черномырдина]. – Москва, 2013. – 26 с. – Текст : непосредственный.

154. Прыткова, О. В. Комплексная эколого-гигиеническая характеристика антропогенных химических факторов промышленного города : специальность 11.00.11 «Охрана окружающей среды и хозяйственное использование природных ресурсов» : дис. ... канд. биологических наук / О. В. Прыткова. – Оренбург : [б.и.], 1998. – 123 с. – Текст : непосредственный.
155. Пушкарева, М. В. Критерии и методы минимизации воздействия экологических нагрузок на население: специальность 14.00.07 «Гигиена» : дис. ... канд. мед.наук / М. В. Пушкарева. – Москва : [б. и.], 1995. – 144 с. – Текст : непосредственный.
156. Расчет и проектирование регулируемой естественной и гибридной вентиляции в многоэтажных жилых зданиях :Р НП "АВОК" 5.4.1–2020 : утверждены и введены в действие от 22 января 2020 г. : взамен Р НП "АВОК" 5.4.1–2018 (исправлено и дополнено) / разработаны : Ю. А. Табунщиков – руководитель [и др.]. – Москва : АВОК–ПРЕСС, сор. 2020. – Текст : непосредственный.
157. Рафиенко, В.В. Механизм естественного кислотообразования шунгитовых пород и его роль при промышленном внедрении = Mechanism of natural acid-forvation of shungite rocks and its role in ibdustrial introduction : научное издание / В. А. Рафиенко, Д. Г. Зубков ; Научно–производственное предприятие "Фильтроткани" [и др.] Москва : Фильтроткани, 2019. – 99 с. – Текст : непосредственный.
158. Рафиенко, В.А. Повышение качества шунгитовых концентратов с применением процесса кислотного выщелачивания : препринт / В. А. Рафиенко, Т. И. Юшина, А. А. Романов. – Москва : Горная кн., 2013 – 14, [1] с. – Текст : непосредственный.
159. Рафиенко, В.А. Технология переработки шунгитовых пород / В. А. Рафиенко ; НПП "Фильтроткани", Российский фонд фундаментальных исследований Москва : ГЕОС, 2008. – 213 с. – Текст : непосредственный.
160. Ревуцкая, И. Л. Пылевое загрязнение атмосферного воздуха в окрестностях ТЭЦ г. Биробиджан / И. Л. Ревуцкая. – Текст : непосредственный // Аспирант и соискатель. – 2006. – № 3. – с. 250-252.
161. Ревуцкая, И.Л. Качество атмосферного воздуха г. Биробиджана и его влияние на здоровье населения : монография / И. Л. Ревуцкая, В. Ю. Поляков; Минобрнауки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема". – Биробиджан : ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2017. – 87 с. – Текст : непосредственный.

162. Рябиков, Н.А. Оценка влияния условий движения автомобилей на загрязнение воздуха отработавшими газами бензиновых двигателей (окисью углерода) : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.10. – Москва, 1984. – 190 с. – Текст : непосредственный.
163. Рябов, С. Н. Разработка характеристик комплексной оценки экологической безопасности воздушной среды жилых помещений и мероприятия по ее обеспечению : специальность 03.00.16 «Экология», 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха и освещение»: автореферат дис. – Текст : непосредственный. ... канд. техн. наук. – Волгоград: [б.и.], 2005. – 20 с. – Текст : непосредственный.
164. Савичев, В.В. Разработка системы вентиляции с регенерацией газового состава воздушной среды административного здания : автореферат дис. – Текст : непосредственный. ... кандидата технических наук : 05.23.03 / Савичев Виталий Валерьевич; [Место защиты: науч.-исслед. ин-т строит. физики Рос. акад. архитектуры и строит. наук]. – Москва, 2012. – 21 с. – Текст : непосредственный.
165. Сазонов, Э.В. Экология городской среды : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 "Строительство" / Э. В. Сазонов. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2010. – 310 с. – Текст : непосредственный.
166. Сазонов, Э. В. Организация и расчет воздухообмена помещений / Э. В. Сазонов. – Воронеж : ВВАА, 2000. – 109 с. – Текст : непосредственный.
167. СанПиН 2.1.2.2645–10. Санитарно–эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях : дата введения 2010-07-15. – Москва : Гострой России, 2010. – 15 с. – Текст : непосредственный.
168. СанПиН 2.1.6.0132–01. Гигиенические требования к атмосферному воздуху населенных мест : дата введения 2001-10-01. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – 16 с. – Текст : непосредственный.
169. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно–защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов (с изменениями на 25 апреля 2014 года) : дата введения 2007-09-25. – Москва : Гострой России, 2014. – 25 с. – Текст : непосредственный.
170. Селищев, Д.С. Исследование материалов на основе диоксида титана, нанесенного на пористые носители, в реакциях фотокаталитического окисления паров органических веществ : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.15 / Селищев Дмитрий Сергеевич; [Место защиты: Ин-т катализа им. Г.К.

- Борескова СО РАН].– Новосибирск, 2013. – 165 с. – Текст : непосредственный.
171. Сидоренко, В.Ф. Исследование и применение градостроительных мероприятий по защите жилой застройки от выхлопных газов автотранспорта : диссертация ... кандидата технических наук : 05.00.00 / В.Ф. Сидоренко. – Волгоград, 1970. – 307 с. – Текст : непосредственный.
172. Сидоренко, В.Ф. Учет загрязнения воздушного бассейна автотранспортом в градостроительном проектировании : учеб.пособие / В.Ф. Сидоренко; М-во образования Рос. Федерации. Волгогр. гос.-строит.акад. – [2. изд., перераб.]. – Волгоград, 1999. – 69 с. – Текст : непосредственный.
173. Сидоренко, В. Ф. Теоретические и методологические основы экологического строительства / В. Ф. Сидоренко. – Волгоград : ВолГАСУ, 2000. – 200 с. – Текст : непосредственный.
174. Смирнова, В.В. Разработка технологии получения функциональных сорбентов на основе TiO₂ : диссертация ... кандидата технических наук : 05.17.11 / Смирнова Валентина Владимировна; [Место защиты: Нац. исслед. Том.политехн. ун-т]. – Томск, 2014. – 199 с. – Текст : непосредственный.
175. Семашко, К. И. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки / К. И. Семашко. – Москва : Стройиздат, 1995. – 250 с. – Текст : непосредственный.
176. Сеппанен, О. Энергоэффективные системы вентиляции для обеспечения качественного микроклимата помещений / О. Сеппанен. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2000. – № 5. – с. 26-31.
177. Смирнова, Людмила Ивановна. Теплогазоснабжение и вентиляция : учебное пособие / Л. И. Смирнова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. – Текст : непосредственный.архитектурно-строит. Ун-т. – Волгоград : ВолГАСУ, 2010. – 122, [1] с. – Текст : непосредственный.
178. Соколов, В. Ю. Энергосбережение в системах жизнеобеспечения : учебное пособие. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2016. – 200 с. – Текст : непосредственный.
179. Сотников, А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции : теория, техника и проектирование на рубеже столетий : в 2 т. / А. Г. Сотников. – Санкт-Петербург : St-Publishing, 2005–2007. – 29 см. Т. 2, ч. 2. – 2007. – 512 с. – Текст : непосредственный.

180. СП 54.13330.2011. акт. СНиП 31-01-2003. Здания жилые многоквартирные : дата введения 2003-10-01. – Москва : ФГУПЦНС, 2003. – 25 с. – Текст : непосредственный.
181. СП 60.13330.2016. акт. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование : дата введения 2017-06-17. - Москва : ГУП ЦПП, 2017. – 46 с. – Текст : непосредственный.
182. Способ очистки воздуха от оксида углерода и фильтрующий модуль для очистки воздуха от оксида углерода: пат. 2 274 485 (13) С2 Рос. Федерация № 2 274 485 / Ерохин С. Н., Симаненков С.И., Симаненков Э.И., Путин С. Б., Гладышев Н.Ф.; заявл. 2004.07.06; опубл. 2006.04.20. - 6 с. – Текст : непосредственный.
183. Способ очистки газовых выбросов и устройство для его осуществления : пат. 2 323 769 (13) Рос. Федерация № 2 323 769 / Золотушкин А.А., Сержантов В.Г.; заявл. 2006.08.04; опубл. 2008.05.10. - 5 с. – Текст : непосредственный.
184. Способ очистки воздуха от токсичных компонентов и фильтрующий модуль для очистки воздуха от газообразных токсичных веществ : пат 2 172 641 (13) С1 Рос. Федерация № 2000128897/12/ Кумпаненко И.В., Лосев В.В., Шеляпин И.П., Васильев Н.П., Романчук Э.В., Замараев Б.К., Дейкун М.М., Ермаков А.И., Довидчук А.Н.; заявл. 2000.11.21; опубл. 2001.08.27. - 7 с. – Текст : непосредственный.
185. Стенной проветриватель : пат. 83318 U1 F24F7/04 E04B1/70 Рос. Федерация № 83318 U1 / Клапишевский А.С., Цьомык А.М. ; заявл. 01.12.08 ; опубл. 27.05.09, Бюл. № 21. - 5 с. – Текст : непосредственный.
186. Стрижанцева, О. М. Метеорологические условия юго-западного Кыргызстана, влияющие на загрязнение атмосферы : специальность 25.00.30 «Метеорология, климатология, агрометеорология» : дис.... канд. географических наук / О. М. Стрижанцева. – Бишкек : [б.и.], 2005. –159 с. – Текст : непосредственный.
187. Стурман, В. И. Экологическое картографирование : учебное пособие / В. И. Стурман. – Москва : Аспект Пресс, 2003. – 251 с. – Текст : непосредственный.
188. Стяжкин, В. М. Вопросы эффективного и безопасного применения полимерных материалов в жилищном, гражданском и промышленном строительстве / В. М. Стяжкин, Г. М. Кузнецов. – Текст : непосредственный // Материалы 8-го Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей. – Москва : ПРАДИС, 1996. – С. 60-62.

189. Суворов, Г. А. Микроклимат жилых и гражданских зданий / Г. А. Суворов, Г. Ф. Афанасьева, Ю. Д. Губернский. – Москва : ПРЕСС, 1999. – 108 с. – Текст : непосредственный.
190. Табунщиков, Ю. А. Проблемы высотных зданий / Ю. А. Табунщиков. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2002. – № 1. – С. 5-9.
191. Танеева, А.В. Автомобильный транспорт и окружающая среда / А. В. Танеева, А. В. Синкевич, В. Ф. Новиков ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский гос. энергетический ун-т". – Казань : Изд-во КГЭУ, 2009. – 95 с. – Текст : непосредственный.
192. Татарина, Е.А. Обеззараживание и тонкая фильтрация воздуха в обитаемых герметичных и замкнутых помещениях : автореферат дис.... кандидата технических наук : 05.26.02 / Ин-т мед.-биол. проблем Москва, 2005. – 26 с. – Текст : непосредственный.
193. Петросова, Д.В. Неизотермическая фильтрация воздуха через ограждающие конструкции замкнутых помещений : автореферат дис.... кандидата технических наук : 05.23.16 / Петросова Дарья Владимировна; [Место защиты: С.-Петерб. гос. политехн. Ун-т] Санкт-Петербург, 2012. – 21 с. – Текст : непосредственный.
194. Тетиор, А.Н. Архитектурно-строительная экология : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 "Строительство" / А. Н. Тетиор. – Москва : Академия, 2008. – 360, [1] с. – Текст : непосредственный.
195. ТР АВОК-4-2004. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома : дата введения 2004-01-01. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2004. – 34 с. – Текст : непосредственный.
196. Устройство для вентиляции помещения: пат. 15905 U1 Рос. – Федерация № 2000120419/20 / Баткалов А.Я., Куренкова А.Ю., Могутов В.А., Пяткин С. В.; заяв. 08.08.2000; опуб. 20.11.2000, Бюл. 5 с. – Текст : непосредственный.
197. Устройство приточной вентиляции: пат. 153181 U1, F 24F 7/013 Рос. Федерация № 153181 U1 / Трубицын Д.А., Волков Д.С.; заявл. 06.03.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. - 6 с. – Текст : непосредственный.
198. Устройство приточной вентиляции: пат.2 581 816 C1 F 24F 7/80 Рос. Федерация № 2015100851 / Севрюгин С. А., Петров Е.В.; заяв. 12.01.2015; опуб. 20.04.2016, Бюл.№ 11. - 6 с. – Текст : непосредственный.

199. Филиппов, Т.Н. Исследование уран–содержащих фотокатализаторов в реакциях окисления паров органических веществ под действием видимого света : автореферат дис. ... кандидата химических наук : 02.00.15 / Филиппов Тихон Николаевич; [Место защиты: Ин-т катализа им. Г.К. Борескова СО РАН].– Новосибирск, 2018. – 17 с. – Текст : непосредственный.
200. Филов, В. А. Химические канцерогены в окружающей среде и их экологическое значение. Природные и антропогенные канцерогены / В. А. Филов, В. В. Худолей. – Текст : непосредственный // Журнал экологической химии. – 1993. – № 4. – С. 313-317
201. Фильтры воздушные для общей очистки воздуха. Термины и определения = Air filters for general air cleaning. Terms and definitions : национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ЕН 14799-2013 : изд. офиц. : введен впервые : введен 2014-12-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Текст : непосредственный.
202. Фокин, С. В. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования зданий: устройство, монтаж и эксплуатация : учебное пособие / С. В. Фокин, О. Н. Шпортко. – 2–е изд., стер. – Москва : КноРус, 2016. – 364 с. – Текст : непосредственный.
203. Фотокаталитический воздухоочиститель: пат. Рос. Федерация № 2497584RUC1 B01J 20/00 / А.В. Зайнишев, Г.А. Полуниин // № 2012119643; заявл. 12.05.12.; опубл. 10.11.13, Бюл. № 31. – Текст : непосредственный.
204. Фотокаталитический воздухоочиститель: пат. Рос. Федерация № RU156652U1 B01D 53/86 / А.В. Зайнишев, Г.А. Полуниин // № 2015106508/05; заявл. 25.02.15.; опубл. 10.11.15, Бюл. № 31. – Текст : непосредственный.
205. Фрайт, М.А. Разработка фотокаталитического бетона для очистки атмосферного воздуха и обоснование экологической безопасности строительных конструкций на его основе : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.19 / Фрайт Михаил Александрович; [Место защиты: Моск. гос. строит. Ун-т]. – Москва, 2016. – 105 с. – Текст : непосредственный.
206. Характеристика погрешности и нормативы их оперативного контроля для методик выполнения измерений показателей состава и физико-химических свойств объектов санитарно-гигиенического контроля : методическое пособие. – Москва : Уральский научно-исследовательский институт метрологии, 2000. – 20 с. – Текст : непосредственный.

207. Харитонова, В. П. Естественная вентиляция с побуждением / В. П. Харитонова // АВОК. – 2006. – № 3. – С. 8-10.– Текст : непосредственный.
208. Хватов, В.Ф. Научные основы методов и средств контроля экологического состояния автотранспорта и его воздействия на окружающую среду : диссертация ... доктора технических наук : 05.11.13 / Хватов Владимир Филиппович; [Место защиты: Сев.-Зап. гос. заоч. техн. Ун-т]. – Санкт-Петербург, 2007. – 332 с.: ил. – Текст : непосредственный.
209. Хомич, В.А. Экология городской среды : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Городское строительство и хозяйство" направления подготовки "Строительство" / В. А. Хомич ; под ред. Ю. В. Кононовича. – Москва : Изд-во Ассоц. строительных вузов, 2006. – 238 с. – Текст : электронный.
210. Хэдлиш, Д. Е. Борьба с загрязнением воздуха в жилых зданиях средствами вентиляции: влажность и продукты сгорания / Д. Е. Хэдлиш, Д. Т. Гримсруд. – Текст : непосредственный // Труды ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1999. – С. 147.
211. Шалаев, И.М. Энергосбережение в теплотехнологиях : учебное пособие для студентов теплотехнических специальностей / И. М. Шалаев ; Федеральное агентство по образованию, Сибирский федеральный ун-т, Ин-т цветных металлов и золота. – Красноярск : СФУ, 2007. – 111 с. – Текст : непосредственный.
212. Штокман, Е.А. Очистка воздуха : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 653500 "Строительство" / Е. А. Штокман. – Москва : Изд-во Ассоц. строит.вузов, 2007. – 311 с. – Текст : электронный.
213. Шунгиты и безопасность жизнедеятельности человека : материалы Первой всероссийской научно–практической конференции (3-5 октября 2006 г.) / под ред. Ю. К. Калинина. – Петрозаводск : Карбон–Шунгит, 2007 – 126, [1] с. – Текст : непосредственный.
214. Aldeberky, A. A. The influence of high-rise buildings on the environment / A. A. Aldeberky. – Direct text // Atmospheric Environment. – 2007. – P. 180–191.
215. Aldeberky, Amal. Environmental adaptation of urban design for desert settlements in Upper Egypt, Ph.D. thesis / Amal Aldeberky. – Direct text // Faculty of Engineering, Ain-Shams University, 2005. – P. 82-117.
216. Artíñano, B. Influence of traffic on the PM10 and PM2.5 urban aerosol fractions in Madrid (Spain) / Artíñano, B., Salvador, P., Alonso,

- D. G. – Direct text // Science of The Total Environment. – 2004. – P. 111-123.
217. ASTM STP 1393. Proposed ASHRAE Cabin Air Quality Standard (161P). Air quality and comfort in airliner ca. N L Nagda, Ed. American Society for Testing and Materials, West Conshocken, PA, 2000.
218. ANWER, H. and PARK, J.-., 2018. Synthesis and characterization of a heterojunction rGO/ZrO₂/Ag₃PO₄ nanocomposite for degradation of organic contaminants. *Journal of hazardous materials*, 358, pp. 416-426.
219. Atmospheric measurements of trace pollutants; Long path fourier transform infrared spectroscopy // *Advances in Environmental Science and Technology*. 1980. №4(10). Pp. 259–300.
220. BAHRI, M. and HAGHIGHAT, F., 2014. Plasma-based indoor air cleaning technologies: The state of the art-review. *Clean - Soil, Air, Water*, 42(12), pp. 1667-1680.
221. BAIMATOVA, N., DERBISSALIN, M., KABULOV, A. and KENESSOV, B., 2016. Adsorption of benzene, toluene, ethylbenzene and o-xylene by carbon-based adsorbents. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 18(2), pp. 123-131.
222. BALANAY, J.A.G. and LUNGU, C.T., 2009. Exposure of jeepney drivers in Manila, Philippines, to selected volatile organic compounds (VOCs). *Industrial health*, 47(1), pp. 33-42.
223. BALATHANIGAIMANI, M.S., SHIM, W.-., LEE, M.-., LEE, J.-. and MOON, H., 2008. Adsorption isotherms of benzene and toluene on corn grain-based carbon monolith at (303.15, 313.15, and 323.15) K. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 53(3), pp. 732-736.
224. BALLESTA, P., FIELD, R. and SAEGER, E., 2007. Population exposure to air pollutants in Europe (people) how clean is the air in European cities? *Communicating European Research*, 2005(2007), pp. 211-217.
225. BALLESTA, P.P., FIELD, R.A., CONNOLLY, R., CAO, N., BAEZA CARACENA, A. and DE SAEGER, E., 2006. Population exposure to benzene: One day cross-sections in six European cities. *Atmospheric Environment*, 40(18), pp. 3355-3366.
226. BARLETTA, B., MEINARDI, S., SIMPSON, I.J., ZOU, S., SHERWOOD ROWLAND, F. and BLAKE, D.R., 2008. Ambient mixing ratios of nonmethane hydrocarbons (NMHCs) in two major urban centers of the Pearl River Delta (PRD) region: Guangzhou and Dongguan. *Atmospheric Environment*, 42(18), pp. 4393-4408.
227. BARREFORS, G. and PETERSSON, G., 1996. Exposure to volatile hydrocarbons in commuter trains and diesel buses. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 17(6), pp. 643-647.

228. BATTERMAN, S.A., PENG, C.-. and BRAUN, J., 2002. Levels and composition of volatile organic compounds on commuting routes in Detroit, Michigan. *Atmospheric Environment*, 36(39-40), pp. 6015-6030.
229. Baxter LK, Clougherty JE, Laden F, Levy JJ. Предикторы концентраций диоксида азота, тонкодисперсных твердых частиц и компонентов частиц внутри городских домов с низким социально-экономическим статусом. *Evaluating Heterogeneity in Indoor and Outdoor Air Pollution Using Land-Use Regression and Constrained Factor Analysis // Expo Sci Environmental*. 2007 Авг; 17 (5):433-44. doi: 10.1038 / sj.- Джес.7500532. Epub 2006 Oct 18.PMID: 17051138
230. Begum S, Rathna MB (2012). Pulmonary function tests in petrol filling workers in mysore city. *Pak. J. Physiolo* 8: 12 – 14.
231. BOIS, F.Y., JACKSON, E.T., PEKARI, K. and SMITH, M.T., 1996. Population toxicokinetics of benzene. *Environmental health perspectives*, 104(SUPPL. 6), pp. 1405-1411.
232. Brevsse, P. A. The health cost of tight homes / P. A. Brevsse, J. *Am. Med. – Direct text // Assoc.* –1981. – № 5. – P. 267–268.
233. Briganti, A. Оценка и отношение к качеству воздуха владельцев зданий и сотрудников / Antonio Briganti //АВОК. – 2000. – № 5. – P.12–14.
234. BROCCO, D., FRATARCANGELI, R., LEPORE, L., PETRICCA, M. and VENTRONE, I., 1997. Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome. *Atmospheric Environment*, 31(4), pp. 557-566.
235. BROWN, S.K., 2002. Volatile organic pollutants in new and established buildings in Melbourne, Australia. *Indoor air*, 12(1), pp. 55-63.
236. Brunekreef B, Beelen R, Hoek G, Schouten L, Bausch-Goldbohm S, Fischer P, Armstrong B, Hughes E, Jerrett M, van den Brandt P. Влияние долгосрочного воздействия загрязнения воздуха, связанного с дорожным движением, на показатели респираторной и сердечно-сосудистой смертности в Нидерландах: исследование *Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: the NLCS-AIR study // NLCS-AIR. Res Rep Health Eff Inst*. 2009 Mar; (139):5-71; обсуждение 73-89. PMID: 19554969
237. Canagaratna MR, TB Onasch, EC Wood, SC Herndon, JT Jayne. Evolution of vehicle exhaust particles in the atmosphere // *Journal of the Air & Waste Management Association* 60 (10), 1192-1203. doi: 10.3155/1047-3289.60.10.1192. PMID: 21090548.
238. CAO, Y., XING, Z., LI, Z., WU, X., HU, M., YAN, X., ZHU, Q., YANG, S. and ZHOU, W., 2018. Mesoporous black TiO₂-x/Ag nanospheres coupled with g-C₃N₄ nanosheets as 3D/2D ternary

- heterojunctions visible light photocatalysts. *Journal of hazardous materials*, 343, pp. 181-190.
239. CARERE, A., ANTOCCIA, A., CREBELLI, R., DI CHIARA, D., FUSELLI, S., IAVARONE, I., ISACCHI, G., LAGORIO, S., LEOPARDI, P. and MARCON, F., 1995. Exposure to benzene and genotoxic effects among filling station attendants. *Epidemiologia e prevenzione*, 19(62), pp. 105-119.
240. Challoner, G. Indoor/outdoor air quality relationship in urban commercial buildings: Dublin case studies / Gill Challoner. – Direct text // ITRN2011 University College Cork, 2011, pp. 1-5.
241. CHAN, C.-., LIN, S.-. and HER, G.-., 1994. Office workers's exposure to volatile organic compounds while commuting and working in Taipei City. *Atmospheric Environment*, 28(14), pp. 2351-2359.
242. CHAN, C.Y., CHAN, L.Y., WANG, X.M., LIU, Y.M., LEE, S.C., ZOU, S.C., SHENG, G.Y. and FU, J.M., 2002. Volatile organic compounds in roadside microenvironments of metropolitan Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 36(12), pp. 2039-2047.
243. CHAN, L.Y. and LIU, Y.M., 2001. Carbon monoxide levels in popular passenger commuting modes traversing major commuting routes in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 35(15), pp. 2637-2646.
244. CHAN, L.Y., LAU, W.L., LEE, S.C. and CHAN, C.Y., 2002. Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 36(21), pp. 3363-3373.
245. CHAN, L.Y., LAU, W.L., WANG, X.M. and TANG, J.H., 2003. Preliminary measurements of aromatic VOCs in public transportation modes in Guangzhou, China. *Environment international*, 29(4), pp. 429-435.
246. CHAN, L.Y., LAU, W.L., ZOU, S.C., CAO, Z.X. and LAI, S.C., 2002. Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, 36(38), pp. 5831-5840.
247. Charles O., Stanier, Sang-Rin Lee. Development and Application of an Aerosol Screening Model for Size-Resolved Urban Aerosols Res Rep Health Eff Inst Published // Environmental Science, Medicine. 2014 Июнь; (179):3-79.
248. CHATZIS, C., ALEXOPOULOS, E.C. and LINOS, A., 2005. Indoor and outdoor personal exposure to benzene in Athens, Greece. *Science of the Total Environment*, 349(1-3), pp. 72-80.
249. CHAU, C.K., TU, E.Y., CHAN, D.W.T. and BURNETT, J., 2002. Estimating the total exposure to air pollutants for different population age groups in Hong Kong. *Environment international*, 27(8), pp. 617-630.

250. CHEN, C.-., HSU, C.-., CHEN, C.-. and CHEN, S.-., 2015. Silica gel polymer composite desiccants for air conditioning systems. *Energy and Buildings*, 101, pp. 122-132.
251. CHEN, C.-., HUANG, P.-., YANG, T.-., CHIANG, Y.-. and CHEN, S.-., 2016. Polymer/alumina composite desiccant combined with periodic total heat exchangers for air-conditioning systems. *International Journal of Refrigeration*, 67, pp. 10-21.
252. CHEN, J., LI, G., HE, Z. and AN, T., 2011. Adsorption and degradation of model volatile organic compounds by a combined titania-montmorillonite-silica photocatalyst. *Journal of hazardous materials*, 190(1-3), pp. 416-423.
253. CHIN, J.-., GODWIN, C., PARKER, E., ROBINS, T., LEWIS, T., HARBIN, P. and BATTERMAN, S., 2014. Levels and sources of volatile organic compounds in homes of children with asthma. *Indoor air*, 24(4), pp. 403-415.
254. CHOW, W.K. and WONG, L.T., 1997. Design of air diffusion terminal devices in passenger train vehicle. *Journal of Environmental Engineering*, 123(12), pp. 1203-1207.
255. CHOW, W.K., WONG, L.T. and FUNG, W.Y., 1996. Field Study on the indoor thermal environment and carbon monoxide levels in a large underground car park. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11(3), pp. 333-343.
256. Collett, R.,S., Oduyemi, K., *Air Quality Modeling: A Technical Review of Mathematical Approaches, Meteorological Application*, 4(3), 1997, p.235-246.
257. Cleveland, W. S. Urban formaldehyde. Observed correlation with source emissions and photochemistry / W. S. Cleveland, T. E. Graedel. – Direct text // *Atmos. Environ.* –1977. – № 11. – P. 357–360.
258. CORREA, S.M., ARBILLA, G., MARQUES, M.R.C. and OLIVEIRA, K.M.P.G., 2012. The impact of BTEX emissions from gas stations into the atmosphere. *Atmospheric Pollution Research*, 3(2), pp. 163-169.
259. CRONKITE, E.P., DREW, R.T., INOUE, T. and BULLIS, J.E., 1985. Benzene hematotoxicity and leukemogenesis. *American Journal of Industrial Medicine*, 7(5-6), pp. 447-456.
260. CRUMP, K.S., 1994. Risk of benzene-induced leukemia: A sensitivity analysis of the pliofilm cohort with additional follow-up and new exposure estimates. *Journal of toxicology and environmental health*, 42(2), pp. 219-242.
261. Сырсы J, Peters A, Soentgen J, Wichmann HE. J Зоны с низким уровнем выбросов снижают массовую концентрацию ТЧ10 и сажу дизельного топлива в немецких городах. Low emission zones reduce PM10 mass concentrations and diesel soot in German cities //

- Управление Воздушными Отходами ДООЦ. J Air Waste Manag Assoc. 2014 Апрель; 64 (4):481-7. doi: 10.1080/10962247.2013.868380. PMID: 24843918
262. DE BRUIN, Y.B., CARRER, P., JANTUNEN, M., HÄNNINEN, O., DI MARCO, G.S., KEPHALOPOULOS, S., CAVALLO, D. and MARONI, M., 2004. Personal carbon monoxide exposure levels: Contribution of local sources to exposures and microenvironment concentrations in Milan. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 14(4), pp. 312-322.
263. DE LUNA, M.D.G., LACISTE, M.T., TOLOSA, N.C. and LU, M.-., 2018. Effect of catalyst calcination temperature in the visible light photocatalytic oxidation of gaseous formaldehyde by multi-element doped titanium dioxide. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), pp. 15216-15225.
264. Delp WW, Singer BC. Оценка эффективности вытяжных вытяжек жилых домов США. Performance assessment of US residential cooking exhaust hoods // *Environ Sci Technol*. 2012. Vol. 46(11). P. 6167–73.
265. DENG, X.-., LIU, J.-., LI, X.-., ZHU, B., ZHU, X. and ZHU, A.-., 2017. Kinetic study on visible-light photocatalytic removal of formaldehyde from air over plasmonic Au/TiO₂. *Catalysis Today*, 281, pp. 630-635.
266. DING, M., ZUO, S. and QI, C., 2015. Preparation and characterization of novel composite AlCr-pillared clays and preliminary investigation for benzene adsorption. *Applied Clay Science*, 115, pp. 9-16.
267. Dockerv, D. W. Personal exposure to respirable particulates and sulfates / D. W. Dockerv, J. D. Spengler. – Direct text // *Air Pollut. Control Assoc.* –1981. –№ 12. – P.153–159.
268. DOR, F., LE MOULLEC, Y. and FESTY, B., 1995. Exposure of city residents to carbon monoxide and monocyclic aromatic hydrocarbons during commuting trips in the Paris metropolitan area. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 45(2), pp. 103-110.
269. DU, L., BATTERMAN, S., GODWIN, C., ROWE, Z. and CHIN, J.-., 2015. Air exchange rates and migration of VOCs in basements and residences. *Indoor air*, 25(6), pp. 598-609.
270. DUCI, A., CHALOULAKOU, A. and SPYRELLIS, N., 2003. Exposure to carbon monoxide in the Athens urban area during commuting. *Science of the Total Environment*, 309(1-3), pp. 47-58.
271. DUFFY, B.L. and NELSON, P.F., 1997. Exposure to emissions of 1,3-butadiene and benzene in the cabins of moving motor vehicles and

- buses in Sydney, Australia. *Atmospheric Environment*, 31(23), pp. 3877-3885.
272. EDWARDS, R.D., JURVELIN, J., SAARELA, K. and JANTUNEN, M., 2001. VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, 35(27), pp. 4531-4543.
273. FAN, G., XIE, J., YOSHINO, H., YANAGI, U., HASEGAWA, K., KAGI, N. and LIU, J., 2017. Environmental conditions in homes with healthy and unhealthy schoolchildren in Beijing, China. *Building and Environment*, 112, pp. 270-284.
274. Fanger, P. Ole. Качество внутреннего воздуха в XXI ВЕКЕ: в поисках совершенства / P. Ole. Fanger. – Direct text // *Indoor Air*. – 2000. – № 2. – С.14– 16.
275. FERNANDEZ-BREMAUNTZ, A.A. and ASHMORE, M.R., 1995. Exposure of commuters to carbon monoxide in Mexico city-I. Measurement of in-vehicle concentrations. *Atmospheric Environment*, 29(4), pp. 525-532.
276. FONDELLI, M.C., BAVAZZANO, P., GRECHI, D., GORINI, G., MILIGI, L., MARCHESE, G., CENNI, I., SCALA, D., CHELLINI, E. and COSTANTINI, A.S., 2008. Benzene exposure in a sample of population residing in a district of Florence, Italy. *Science of the Total Environment*, 392(1), pp. 41-49.
277. FONG, K.F. and LEE, C.K., 2018. Impact of adsorbent characteristics on performance of solid desiccant wheel. *Energy*, 144, pp. 1003-1012.
278. Francisco PW, Jacobs DE, Targos L, Dixon SL, Breyse J, Rose W и др. Ventilation, indoor air quality, and health in homes undergoing weatherization. *Indoor Air*. Вентиляция, качество воздуха в помещении и здоровье в домах, подвергающихся атмосферизации воздух в помещении. 2017;27(2):463–77.
279. FRESNO, F., PORTELA, R., SUÁREZ, S. and CORONADO, J.M., 2014. Photocatalytic materials: Recent achievements and near future trends. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(9), pp. 2863-2884.
280. GALLEGO, E., ROCA, F.X., GUARDINO, X. and ROSELL, M.G., 2008. Indoor and outdoor BTX levels in Barcelona City metropolitan area and Catalan rural areas. *Journal of Environmental Sciences*, 20(9), pp. 1063-1069.
281. Gamble J, Jones W, Minshall S (1987). Epidemiological-Environmental study of Diesel Bus Garage workers: Acute effects of NO₂ and respirable particulate on the respiratory system. *Environ Research* 42: 201–214.

282. GE, T.S., QI, D., DAI, Y.J. and WANG, R.Z., 2018. Experimental testing on contaminant and moisture removal performance of silica gel desiccant wheel. *Energy and Buildings*, 176, pp. 71-77.
283. Gomez-Perales JE, Colvile, RN, Nieuwenhuijsen MJ, Fernandez-Bremauntz A, Gutierrez-Avedoy VJ, Paramo-Figueroa VH, Blanco-Jimenez S, Bueno- Lopez E, Mandujano, F., Bernabe-Cabanillas, R., Ortiz-Segovia, E., (2004). Commuters' exposure to PM_{2.5}, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City. *Atmospheric Environment* 38: 1219 – 1229
284. GÓMEZ-PERALES, J.E., COLVILE, R.N., FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ, A.A., GUTIÉRREZ-AVEDOY, V., PÁRAMO-FIGUEROA, V.H., BLANCO-JIMÉNEZ, S., BUENO-LÓPEZ, E., BERNABÉ-CABANILLAS, R., MANDUJANO, F., HIDALGO-NAVARRO, M. and NIEUWENHUIJSEN, M.J., 2007. Bus, minibús, metro inter-comparison of commuters' exposure to air pollution in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 41(4), pp. 890-901.
285. GONZALEZ-FLESCA, N., NERRIERE, E., LECLERC, N., LE MEUR, S., MARFAING, H., HAUTEMANIÈRE, A. and ZMIROU-NAVIER, D., 2007. Personal exposure of children and adults to airborne benzene in four French cities. *Atmospheric Environment*, 41(12), pp. 2549-2558.
286. GOODMAN, N.B., STEINEMANN, A., WHEELER, A.J., PAEVERE, P.J., CHENG, M. and BROWN, S.K., 2017. Volatile organic compounds within indoor environments in Australia. *Building and Environment*, 122, pp. 116-125.
287. GOODMAN, N.B., WHEELER, A.J., PAEVERE, P.J., SELLECK, P.W., CHENG, M. and STEINEMANN, A., 2018. Indoor volatile organic compounds at an Australian university. *Building and Environment*, 135, pp. 344-351.
288. GUO, N., ZENG, Y., LI, H., XU, X., YU, H. and HAN, X., 2018. Novel mesoporous TiO₂@g-C₃N₄ hollow core@shell heterojunction with enhanced photocatalytic activity for water treatment and H₂ production under simulated sunlight. *Journal of hazardous materials*, 353, pp. 80-88.
289. HAN, J., LI, Y., YANG, L., LI, T., LUO, Y., YANG, L. and LUO, S., 2018. Mesoporous TiO₂ with WO₃ functioning as dopant and light-sensitizer: A highly efficient photocatalyst for degradation of organic compound. *Journal of hazardous materials*, 358, pp. 44-52.
290. HAN, K.H., ZHANG, J.S. and GUO, B., 2017. Toward effective design and adoption of catalyst-based filter for indoor hazards: Formaldehyde abatement under realistic conditions. *Journal of hazardous materials*, 331, pp. 161-170.

291. HÄNNINEN, O.O., ALM, S., KATSOUYANNI, K., KÜNZLI, N., MARONI, M., NIEUWENHUIJSEN, M.J., SAARELA, K., SRÁM, R.J., ZMIROU, D. and JANTUNEN, M.J., 2004. The EXPOLIS study: Implications for exposure research and environmental policy in Europe. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 14(6), pp. 440-456.
292. Hanna, S., R, Drivas, P., J, Chang, J., C, Guidelines for use of Vapor Cloud Dispersion Models, AIChE/ CCPS, New York, NY, SUA, 1989, p. 102.
293. HAO, R., WANG, G., TANG, H., SUN, L., XU, C. and HAN, D., 2016. Template-free preparation of macro/mesoporous g-C₃N₄/TiO₂ heterojunction photocatalysts with enhanced visible light photocatalytic activity. *Applied Catalysis B: Environmental*, 187, pp. 47-58.
294. Hassan IA, Basahi JM, Ismail I, Habbebullah T (2013). Spatial Distribution and Temporal Variation in Ambient Ozone and Its Associated NO_x in the Atmosphere of Jeddah City, Saudi Arabia *Aerosol and Air Quality* 13: 1712 – 172 Vlachokostas, Ch., Michailidou A.V. Spyridi, D., Moussiopoulos N. (2013). Bridging the gap between traffic generated health stressors in urban areas: Predicting xylene levels in EU cities. *Environmental Pollution* 180, 251 – 258. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.035>.
295. HEEB, N.V., FORSS, A.-., BACH, C., REIMANN, S., HERZOG, A. and JÄCKLE, H.W., 2000. A comparison of benzene, toluene and C₂-benzenes mixing ratios in automotive exhaust and in the suburban atmosphere during the introduction of catalytic converter technology to the Swiss Car Fleet. *Atmospheric Environment*, 34(19), pp. 3103-3116.
296. Heerden, j., Sullivan, P, The application of CFD for evaluation of dust suppression and auxiliary ventilating systems, *Proceedings of the Sixth U.S. Mine Ventilation Symposium*, Littleton, CO, USA, 1993, pp.479-484.
297. HOANG, T., CASTORINA, R., GASPAR, F., MADDALENA, R., JENKINS, P.L., ZHANG, Q., MCKONE, T.E., BENFENATI, E., SHI, A.Y. and BRADMAN, A., 2017. VOC exposures in California early childhood education environments. *Indoor air*, 27(3), pp. 609-621.
298. HOQUE, R.R., KHILLARE, P.S., AGARWAL, T., SHRIDHAR, V. and BALACHANDRAN, S., 2008. Spatial and temporal variation of BTEX in the urban atmosphere of Delhi, India. *Science of the Total Environment*, 392(1), pp. 30-40.
299. HORTON, A., MURRAY, F., BULSARA, M., HINWOOD, A. and FARRAR, D., 2006. Personal monitoring of benzene in Perth, Western Australia: The contribution of sources to non-industrial personal exposure. *Atmospheric Environment*, 40(14), pp. 2596-2606.

300. HOSHI, J., AMANO, S., SASAKI, Y. and KORENAGA, T., 2008. Investigation and estimation of emission sources of 54 volatile organic compounds in ambient air in Tokyo. *Atmospheric Environment*, 42(10), pp. 2383-2393.
301. Host S, E Chatignoux, C Leal, I Grémy. Воздействие загрязнения воздуха, связанного с дорожным движением, и риск развития астмы у детей: систематический обзор и метаанализ. [Health risk assessment of traffic-related air pollution near busy roads] // *Environ Int*. 2017 Mar; 100: 1-31. doi: 10.1016 / j. envint.2016.11.012. Epub 2016 Ноя 21. PMID: 27881237 обзор. 2012 Aug;60(4):321-30. doi: 10.1016/j.respe.2012.02.007. Epub 2012 Jul 4.
302. Howard-Reed C., Wallace L. A., Ott W. R. Howard-Reed C., Wallace L.A., Ott W.R. The effect of opening windows on air change rates in two homes. влияние открытия окон на скорость изменения воздуха в двух домах // *Управление Отходами Воздуха. Ассоциация. J. Air Waste Manage.* 2002;52:147–159. doi: 10.1080/10473289.2002.10470775. - DOI – PubMed
303. HSIEH, L.-., YANG, H.-. and CHEN, H.-., 2006. Ambient BTEX and MTBE in the neighborhoods of different industrial parks in Southern Taiwan. *Journal of hazardous materials*, 128(2-3), pp. 106-115.
304. HSU, D.-. and HUANG, H.-., 2009. Concentrations of volatile organic compounds, carbon monoxide, carbon dioxide and particulate matter in buses on highways in Taiwan. *Atmospheric Environment*, 43(36), pp. 5723-5730.
305. HUANG, H.-. and HSU, D.-., 2009. Exposure levels of particulate matter in long-distance buses in Taiwan. *Indoor air*, 19(3), pp. 234-242.
306. Hussein T, Alghamdi MA, Khoder M, Abdel Maksoud AS, Al-Jeelani H, Goknil MK, Shabbaj II (2014). Particulate Matter and Number Concentrations of Particles Larger than 0.25 μm in the Urban Atmosphere of Jeddah, Saudi Arabia. *Aerosol and Air Quality Research* 14: 1383–1391. <http://doi: 10.4209/aaqr.2014.02.0027>
307. Isiugo K, Jandarov R, Cox J, Chillrud S, Grinshpun SA, Hyttinen M, Yermakov M, Wang J, Ross J, Reponen T. Прогнозирование внутренних концентраций сажи в жилых помещениях. Predicting Indoor Concentrations of Black Carbon in Residential Environments // *Atmos Environ* (1994). 2019 15 марта; 201: 223-230. doi: 10.1016 / j. атмосфера.2018.12.053. Epub 2019 ЯНВ 9. PMID: 31598090
308. JO, W.-., KIM, Y.-. and TONDA, S., 2018. Hierarchical flower-like NiAl-layered double hydroxide microspheres encapsulated with black Cu-doped TiO₂ nanoparticles: Highly efficient visible-light-driven composite photocatalysts for environmental remediation. *Journal of hazardous materials*, 357, pp. 19-29.

309. JONES, A.Y.M., LAM, P.K.W. and DEAN, E., 2006. Respiratory health of bus drivers in Hong Kong. *International archives of occupational and environmental health*, 79(5), pp. 414-418.
310. Jones, N. L. Body carbon monoxide storage capacity exercise. – *Direct text / N. L. Jones // Environ. Exercise Physiol.* – 2000. – № 4(46). – P. 811–815.
311. KABEEL, A.E., 2009. Adsorption-desorption operations of multilayer desiccant packed bed for dehumidification applications. *Renewable Energy*, 34(1), pp. 255-265.
312. KARAKITSIOS, S.P., PAPALOUKAS, C.L., KASSOMENOS, P.A. and PILIDIS, G.A., 2007. Assessment and prediction of exposure to benzene of filling station employees. *Atmospheric Environment*, 41(40), pp. 9555-9569.
313. Kelly F, Anderson HR, Armstrong B, Atkinson R, Barratt B, Beevers S, Derwent D, Green D, Mudway I, Wilkinson P. Emissions modeling and analysis of air pollution measurements. Влияние схемы взимания платы за пробки на качество воздуха в Лондоне. Часть 1. Моделирование выбросов и анализ результатов измерений загрязнения воздуха // HEI Health Review Committee. *Res Rep Health Eff Inst.* 2011 Apr; (155):5-71. PMID: 21830496
314. Kelly F, Armstrong B, Atkinson R, Anderson HR, Barratt B, Beevers S, Cook D, Green D, Derwent D, Mudway I, Wilkinson P. Базовое исследование Лондонской зоны низких выбросов. The London low emission zone baseline study.; HEI Health Review Committee. *Res Rep Health Eff Inst.* 2011 Ноя; (163):3-79. PMID: 22315924
315. Kesavachandran, C., Pangtey, B.S; Bihari, V., Fareed, M., Pathak, M. K., Srivastava, A. K. Mathur, N. (2013). Particulate matter concentration in ambient air and its effects on lung functions. *Occ. Healt J.*, 123, 12 -19
316. KHODER, M.I., 2007. Ambient levels of volatile organic compounds in the atmosphere of Greater Cairo. *Atmospheric Environment*, 41(3), pp. 554-566.
317. KIBANOVA, D., SLEIMAN, M., CERVINI-SILVA, J. and DESTAILLATS, H., 2012. Adsorption and photocatalytic oxidation of formaldehyde on a clay-TiO₂ composite. *Journal of hazardous materials*, 211-212, pp. 233-239.
318. Klepeis NE, Nazaroff WW. Modeling residential exposure to secondhand tobacco smoke // *Atmos Environ.* 2006; Vol. 40(23). P.4393–407.
319. KOVALEVSKIY, N.S., LYULYUKIN, M.N., SELISHCHEV, D.S. and KOZLOV, D.V., 2018. Analysis of air photocatalytic purification

- using a total hazard index: Effect of the composite TiO₂/zeolite photocatalyst. *Journal of hazardous materials*, 358, pp. 302-309.
320. KUMAR, A. and TYAGI, S.K., 2006. Benzene and toluene profiles in ambient air of Delhi as determined by active sampling and GC analysis. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 65(3), pp. 252-257.
321. KUO, H.-., WEI, H.-., LIU, C.-., LO, Y.-., WEN-CHIN WANG, LAI, J.-. and CHUAN CHAN, C., 2000. Exposure to volatile organic compounds while commuting in Taichung, Taiwan. *Atmospheric Environment*, 34(20), pp. 3331-3336.
322. LAI, H.K., KENDALL, M., FERRIER, H., LINDUP, I., ALM, S., HÄNNINEN, O., JANTUNEN, M., MATHYS, P., COLVILE, R., ASHMORE, M.R., CULLINAN, P. and NIEUWENHUIJSEN, M.J., 2004. Personal exposures and microenvironment concentrations of PM 2.5, VOC, NO₂ and CO in Oxford, UK. *Atmospheric Environment*, 38(37), pp. 6399-6410.
323. LAN, T.T.N. and BINH, N.T.T., 2012. Daily roadside BTEX concentrations in East Asia measured by the Lanwatsu, Radiello and Ultra I SKS passive samplers. *Science of the Total Environment*, 441, pp. 248-257.
324. LAN, T.T.N., BINH, N.T.T., MINH, P.A., MINH, N.H.N., KONDO, A. and KAGA, A., 2010. Real-world emission factors of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes from motorcycles. *Proc.19th Symposium on Environmental Chemistry*, , pp. 210-211.
325. LAN, T.T.N., LE, V.N. and LE, U.T.M., 2011. Daily benzene concentration in the road-side air in HoChiMinh city measured by Lanwatsu passive samplers. *Proc.ICAS 2011*, .
326. LAN, T.T.N., MINH, P.A. and HA, D.N., 2009. Atmospheric benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in relation with traffic in HoChiMinh City. *Proc.18th Symposium on Environmental Chemistry*, , pp. 130-131.
327. Lawrence Berkeley National Laboratory. Ventilate Right: Ventilation Guide for New and Existing California Homes, Step 4. Whole-Building Ventilation Type: U.S. Department of Energy; [Available from: <https://homes.lbl.gov/ventilate-right/step-3-whole-building-ventilation-rate>. Вентиляция справа: руководство по вентиляции для новых и существующих домов Калифорнии, Шаг 4. Тип вентиляции всего здания: Министерство энергетики США; [доступно от: <https://homes.lbl.gov/ventilate-right/step-3-whole-building-ventilation-rate> -да.
328. LEARY, R. and WESTWOOD, A., 2011. Carbonaceous nanomaterials for the enhancement of TiO₂ photocatalysis. *Carbon*, 49(3), pp. 741-772.

329. LEE, J.-. and JO, W.-., 2002. Actual commuter exposure to methyl-tertiary butyl ether, benzene and toluene while traveling in Korean urban areas. *Science of the Total Environment*, 291(1-3), pp. 219-228.
330. LEE, J.-. and KIM, S., 2012. The determination of the adsorption performance of graphite for VOCs and formaldehyde. *Energy and Buildings*, 46, pp. 56-61.
331. Lee, K., YANG, W. & BOFINGER, N. D. Impact of microenvironmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposures in Australia // *Journal of the Air and Waste Management Association*. - 2000. -Vol. 50. - P. 1739-1744.
332. LI, C., SUN, Z., SONG, A., DONG, X., ZHENG, S. and DIONYSIOU, D.D., 2018. Flowing nitrogen atmosphere induced rich oxygen vacancies overspread the surface of TiO₂/kaolinite composite for enhanced photocatalytic activity within broad radiation spectrum. *Applied Catalysis B: Environmental*, 236, pp. 76-87.
333. LI, K., SUN, M. and ZHANG, W.-., 2018. Polycyclic aromatic compounds-modified graphitic carbon nitride for efficient visible-light-driven hydrogen evolution. *Carbon*, 134, pp. 134-144.
334. LILLO-RÓDENAS, M.A., CAZORLA-AMORÓS, D. and LINARES-SOLANO, A., 2011. Benzene and toluene adsorption at low concentration on activated carbon fibres. *Adsorption*, 17(3), pp. 473-481.
335. LILLO-RÓDENAS, M.A., CAZORLA-AMORÓS, D. and LINARES-SOLANO, A., 2005. Behaviour of activated carbons with different pore size distributions and surface oxygen groups for benzene and toluene adsorption at low concentrations. *Carbon*, 43(8), pp. 1758-1767.
336. Lindén, J., Thorsson, S., Eliasson, I. (2008). Carbon monoxide in Ouagadougou, Burkina Faso Comparison between urban background, roadside and in-traffic measurements. *Water, Air, & Soil Pollution* 188: 345- 353.
337. LIU, H., LIANG, Y., BOWES, S., XU, H., ZHOU, Y., ARMSTRONG, T.W., WONG, O., SCHNATTER, A.R., FANG, J., WAN, L., NIE, L., FU, H. and IRONS, R., 2009. Benzene exposure in industries using or manufacturing paint in china—a literature review, 1956–2005. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 6(11), pp. 659-670.
338. LIU, H.-., YANG, B. and XUE, N.-., 2016. Enhanced adsorption of benzene vapor on granular activated carbon under humid conditions due to shifts in hydrophobicity and total micropore volume. *Journal of hazardous materials*, 318, pp. 425-432.
339. LIU, R., WANG, J., ZHANG, J., XIE, S., WANG, X. and JI, Z., 2017. Honeycomb-like micro-mesoporous structure TiO₂/sepiolite composite for combined chemisorption and photocatalytic elimination of

- formaldehyde. *Microporous and Mesoporous Materials*, 248, pp. 234-245.
340. LIU, S.-. and LIN, W.-., 2019. A simple method to prepare g-C₃N₄-TiO₂/waste zeolites as visible-light-responsive photocatalytic coatings for degradation of indoor formaldehyde. *Journal of hazardous materials*, 368, pp. 468-476.
341. LIU, S.-. and SYU, H.-., 2013. High visible-light photocatalytic hydrogen evolution of C,N-codoped mesoporous TiO₂ nanoparticles prepared via an ionic-liquid template approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(32), pp. 13856-13865.
342. LIU, S.-., TANG, W.-. and LIN, W.-., 2017. Self-assembled ionic liquid synthesis of nitrogen-doped mesoporous TiO₂ for visible-light-responsive hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(38), pp. 24006-24013.
343. Logue J, Sherman M, Walker I, Singer B. Logue J, Sherman M, Walker I, Singer B. Energy impacts of envelope tightening and mechanical ventilation for the US residential sector. *Энергетические последствия затягивания оболочки и механической вентиляции для жилого сектора США // Energ Buildings*. 2013;65:281–91.
344. Logue JM, Turner WJ, Walker IS, Singer BC. Упрощенная модель для оценки энергетических воздействий в масштабах населения от затяжки воздуха ограждающих конструкций зданий и модернизации систем механической вентиляции. A simplified model for estimating population-scale energy impacts of building envelope air tightening and mechanical ventilation retrofits // *Build Perform Simu*. 2016. Vol. 9(1). P. 1–16.
345. LOGUE, J.M., MCKONE, T.E., SHERMAN, M.H. and SINGER, B.C., 2011. Hazard assessment of chemical air contaminants measured in residences. *Indoor air*, 21(2), pp. 92-109.
346. Longo, L.D. (1997). The biological effects of carbon monoxide on pregnant woman fetus and newborn infant. *American J. Obstetrics and Gynaecology*, 129, 69–103.
347. LUO, M.Y. and LIU, D., 2019. Pollutants emissions of CO and soot from flame-wall interactions in fundamental and practical energy conversion systems: a review. *ES Energy Environ*, 3, pp. 4-24.
348. MAMAGHANI, A.H., HAGHIGHAT, F. and LEE, C.-., 2018. Photocatalytic degradation of VOCs on various commercial titanium dioxides: Impact of operating parameters on removal efficiency and by-products generation. *Building and Environment*, 138, pp. 275-282.
349. MARSHALL, J.D., GRANVOLD, P.W., HOATS, A.S., MCKONE, T.E., DEAKIN, E. and W NAZAROFF, W., 2006. Inhalation intake of ambient air pollution in California's South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment*, 40(23), pp. 4381-4392.

350. MATYSIK, S., RAMADAN, A.B. and SCHLINK, U., 2010. Spatial and temporal variation of outdoor and indoor exposure of volatile organic compounds in Greater Cairo. *Atmospheric Pollution Research*, 1(2), pp. 94-101.
351. MCNABOLA, A., BRODERICK, B.M. and GILL, L.W., 2008. Relative exposure to fine particulate matter and VOCs between transport microenvironments in Dublin: Personal exposure and uptake. *Atmospheric Environment*, 42(26), pp. 6496-6512.
352. MIKKONEN, A., LI, T., VESALA, M., SAARENHEIMO, J., AHONEN, V., KÄRENLAMPI, S., BLANDE, J.D., TIIROLA, M. and TERVAHAUTA, A., 2018. Biofiltration of airborne VOCs with green wall systems—Microbial and chemical dynamics. *Indoor air*, 28(5), pp. 697-707.
353. Milner J, Hamilton I, Shrubsole C, Das P, Chalabi Z, Davies M, et al. What should the ventilation objectives be for retrofit energy efficiency interventions of dwellings? Каковы должны быть цели вентиляции для модернизации энергоэффективных мероприятий в жилищах? // *Build Serv Eng Res T*. 2015. Vol. 36(2). P. 221-9.
354. MOHAMMED, J., NASRI, N.S., AHMAD ZAINI, M.A., HAMZA, U.D. and ANI, F.N., 2015. Adsorption of benzene and toluene onto KOH activated coconut shell based carbon treated with NH₃. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 102, pp. 245-255.
355. MONOD, A., SIVE, B.C., AVINO, P., CHEN, T., BLAKE, D.R. and SHERWOOD ROWLAND, F., 2001. Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: A focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene. *Atmospheric Environment*, 35(1), pp. 135-149.
356. Moreno-Rangel A, Sharpe T, McGill G, Musau F. Indoor Air Quality in Passivhaus Dwellings: A Literature Review. *Int J Environ Res. Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jul 1;17 (13):E4749. doi: 10.3390 / ijerph17134749.PMID: 32630329.
357. MUI, K.W. and SHEK, K.W., 2005. Influence of in-tunnel environment to in-bus air quality and thermal condition in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 347(1-3), pp. 163-174.
358. Nagda, Ed. American Society for Testing and Materials, West Conshocken, PA, 2000.
359. National Research Council. The airliner cabin environment and the health passengers and crew. National academy press, 2002. Pp. 17–30.
360. NAVASUMRIT, P., CHANVAIVIT, S., INTARASUNANONT, P., ARAYASIRI, M., LAUHAREUNGPANYA, N., PARNLOB, V., SETTACHAN, D. and RUCHIRAWAT, M., 2005. Environmental and occupational exposure to benzene in Thailand. *Chemico-biological interactions*, 153-154, pp. 75-83.

361. NODZU, M.I., OGINO, S.-., TACHIBANA, Y. and YAMANAKA, M.D., 2006. Climatological description of seasonal variations in lower-tropospheric temperature inversion layers over the Indochina Peninsula. *Journal of Climate*, 19(13), pp. 3307-3319.
362. NOORIMOTLAGH, Z., KAZEMINEZHAD, I., JAAFARZADEH, N., AHMADI, M., RAMEZANI, Z. and SILVA MARTINEZ, S., 2018. The visible-light photodegradation of nonylphenol in the presence of carbon-doped TiO₂ with rutile/anatase ratio coated on GAC: Effect of parameters and degradation mechanism. *Journal of hazardous materials*, 350, pp. 108-120.
363. OHKO, Y., HASHIMOTO, K. and FUJISHIMA, A., 1997. Kinetics of photocatalytic reactions under extremely low-intensity UV illumination on titanium dioxide thin films. *Journal of Physical Chemistry A*, 101(43), pp. 8057-8062.
364. Ohlrogge, K., & Wind, J. (2001). Vaconovent. A system for the improved gas recycling in vehicle refueling. [Vaconovent® - Ein system zur verbesserten gasrückführung bei der fahrzeugbetankung] DGMK Tagungsbericht, (3), 67-74. Retrieved from www.scopus.com (A3C)
365. Oliveri Conti G, Heibati B, Kloog I, Fiore M, Ferrante M. A review of AirQ Models and their applications for forecasting the air pollution health outcomes. Обзор моделей AirQ и их приложений для прогнозирования последствий загрязнения воздуха для здоровья населения // *Environ Sci Pollut Res Int*. 2017 Mar; 24 (7):6426-6445. doi: 10.1007 / s11356-016-8180-1-да. Epub 2017 Jan 4. PMID: 28054264
366. ONGWANDEE, M. and CHAVALPARIT, O., 2010. Commuter exposure to BTEX in public transportation modes in Bangkok, Thailand. *Journal of Environmental Sciences*, 22(3), pp. 397-404.
367. PAN, G.F., EL KASMI, A. and TIAN, Z.Y., 2018. Low-temperature oxidation of 1,3,5-trimethylbenzene over copper oxide film catalyst using a new catalytic jet-stirred reactor. *ES Energy Environ.*, 2, pp. 58-65.
368. PARK, H.S., JI, C. and HONG, T., 2016. Methodology for assessing human health impacts due to pollutants emitted from building materials. *Building and Environment*, 95, pp. 133-144.
369. PARK, K.-. and JO, W.-., 2004. Personal volatile organic compound (VOC) exposure of children attending elementary schools adjacent to industrial complex. *Atmospheric Environment*, 38(9), pp. 1303-1312.
370. PATEL, H., GE, G., ABDEL-SALAM, M.R.H., ABDEL-SALAM, A.H., BESANT, R.W. and SIMONSON, C.J., 2014. Contaminant transfer in run-around membrane energy exchangers. *Energy and Buildings*, 70, pp. 94-105.

371. PEI, J. and ZHANG, J.S., 2011. On the performance and mechanisms of formaldehyde removal by chemi-sorbents. *Chemical Engineering Journal*, 167(1), pp. 59-66.
372. PEI, J., YIN, Y. and LIU, J., 2016. Long-term indoor gas pollutant monitor of new dormitories with natural ventilation. *Energy and Buildings*, 129, pp. 514-523.
373. PÉREZ BALLESTA, P., FIELD, R.A., FERNÁNDEZ-PATIER, R., GALÁN MADRUGA, D., CONNOLLY, R., BAEZA CARACENA, A. and DE SAEGER, E., 2008. An approach for the evaluation of exposure patterns of urban populations to air pollution. *Atmospheric Environment*, 42(21), pp. 5350-5364.
374. PERRY, R. and GEE, I.L., 1995. Vehicle emissions in relation to fuel composition. *Science of the Total Environment*, 169(1-3), pp. 149-156.
375. Persily AK, Emmerich SJ. Качество внутреннего воздуха в устойчивых, энергоэффективных зданиях. Indoor air quality in sustainable, energy efficient buildings // HVAC & R Research. 2012; 18(1-2):4-20.
376. Photocatalysis : Fundamentals a. applications / Ed. by Nick Serpone, Ezio Pelizzetti. - New York etc. : Wiley, Cop._1989. - X, 650 с. : ил.; 24 см.; ISBN 0-471-62603-1
377. Pope, C.A., Thun, M.J., Namboodiri, M.M., Dockery, D.W., Evans, J.S., Speizer, F. E., Heath, C.W. (1995). Particulate air-pollution as a predictor of mortality in a prospective-study of us adults. *American J. Respiratory and Critical Care Medicine* 151: 669-674.
378. POPE, C.A.,III and DOCKERY, D.W., 2006. Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 56(6), pp. 709-742.
379. PORTELA, R., JANSSON, I., SUÁREZ, S., VILLARROEL, M., SÁNCHEZ, B. and AVILA, P., 2017. Natural silicate-TiO₂ hybrids for photocatalytic oxidation of formaldehyde in gas phase. *Chemical Engineering Journal*, 310, pp. 560-570.
380. PRAML, G. and SCHIERL, R., 2000. Dust exposure in Munich public transportation: A comprehensive 4-year survey in buses and trams. *International archives of occupational and environmental health*, 73(3), pp. 209-214.
381. PRUNEDA-ÁLVAREZ, L.G., PÉREZ-VÁZQUEZ, F.J., SALGADO-BUSTAMANTE, M., MARTÍNEZ-SALINAS, R.I., PELALLO-MARTÍNEZ, N.A. and PÉREZ-MALDONADO, I.N., 2012. Exposure to indoor air pollutants (polycyclic aromatic hydrocarbons, toluene, benzene) in Mexican indigenous women. *Indoor air*, 22(2), pp. 140-147.

382. Pukhkal V., Vatin N., Murgul V. Centralized natural exhaust ventilation systems use in multistory residential buildings // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 680. Pp. 529-533.
383. Raghavan, S., K. Basavaiah (2005). Biological monitoring among benzene-exposed workers in Bangalore city, India. *Biomarkers*, 10(5): 336 - 341.
<http://informahealthcare.com/doi/full/10.1080/13547500500274206>
384. RAMZY K., A., KADOLI, R. and ASHOK BABU, T.P., 2011. Improved utilization of desiccant material in packed bed dehumidifier using composite particles. *Renewable Energy*, 36(2), pp. 732-742.
385. Ranzi A, Porta D, Badaloni C, Cesaroni G, Lauriola P, Davoli M, Forastiere F. Воздействие загрязнения воздуха и респираторных симптомов в течение первых 7 лет жизни в итальянской когорте новорожденных. Exposure to air pollution and respiratory symptoms during the first 7 years of life in an Italian birth cohort // *Occup Environ Med*. 2014 Июнь; 71 (6):430-6. doi: 10.1136 / oemed-2013-101867. Epub 2014 Mar 21. PMID: 24659182.
386. RAZIQ, F., HUMAYUN, M., ALI, A., WANG, T., KHAN, A., FU, Q., LUO, W., ZENG, H., ZHENG, Z., KHAN, B., SHEN, H., ZU, X., LI, S. and QIAO, L., 2018. Synthesis of S-Doped porous g-C₃N₄ by using ionic liquids and subsequently coupled with Au-TiO₂ for exceptional cocatalyst-free visible-light catalytic activities. *Applied Catalysis B: Environmental*, 237, pp. 1082-1090.
387. Ren L, Yang W, Bai Z. Характеристики основных загрязнителей воздуха в Китае. Characteristics of Major Air Pollutants in China // *Adv Exp Med Biol*. 2017;1017:7-26. doi: 10.1007/978-981-10-5657-4_2. PMID: 29177957 обзор.
388. RINSKY, R.A., SMITH, A.B., HORNUNG, R., FILLOON, T.G., YOUNG, R.J., OKUN, A.H. and LANDRIGAN, P.J., 1987. Benzene and Leukemia. *New England Journal of Medicine*, 316(17), pp. 1044-1050.
389. RÖMMELT, H., PFALLER, A., FRUHMANN, G. and NOWAK, D., 1999. Benzene exposures caused by traffic in Munich public transportation systems between 1993 and 1997. *Science of the Total Environment*, 241(1-3), pp. 197-203.
390. SCHNEIDER, J., MATSUOKA, M., TAKEUCHI, M., ZHANG, J., HORIUCHI, Y., ANPO, M. and BAHNEMANN, D.W., 2014. Understanding TiO₂ photocatalysis: Mechanisms and materials. *Chemical reviews*, 114(19), pp. 9919-9986.
391. Schulz H, Karrasch S, Bölke G, Cyrus J, Hornberg C, Pickford R, Schneider A, Witt C, Hoffmann V. [Дыхание: загрязнение окружающего воздуха и здоровье-Часть II]. [Breathing: Ambient Air Pollution and Health - Part II]. // *Пневмология*. 2019 Jun; 73 (6):347-

373. doi: 10.1055 / a-0895-6494. Epub 2019 Jun 11. PMID: 31185518
обзор. Немецкий язык.
392. Sehgal M., Suresh, R. Sharma, V.P., Gautam, S.K. (2011). Variations in air quality at filling stations, Delhi, India. *Int. J. Environmental Studies*, 68 (6), 845-849. <http://dx.doi.org/10.1080/00207233.2012.620320>
393. SHANMUGAM, M., ALSALME, A., ALGHAMDI, A. and JAYAVEL, R., 2016. In-situ microwave synthesis of graphene–TiO₂ nanocomposites with enhanced photocatalytic properties for the degradation of organic pollutants. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 163, pp. 216-223.
394. SHAYEGAN, Z., LEE, C.-. and HAGHIGHAT, F., 2018. TiO₂ photocatalyst for removal of volatile organic compounds in gas phase – A review. *Chemical Engineering Journal*, 334, pp. 2408-2439.
395. SHENG, C., WANG, C., WANG, H., JIN, C., SUN, Q. and LI, S., 2017. Self-photodegradation of formaldehyde under visible-light by solid wood modified via nanostructured Fe-doped WO₃ accompanied with superior dimensional stability. *Journal of hazardous materials*, 328, pp. 127-139.
396. SHIOHARA, N., FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ, A.A., JIMÉNEZ, S.B. and YANAGISAWA, Y., 2005. The commuters' exposure to volatile chemicals and carcinogenic risk in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 39(19), pp. 3481-3489.
397. SKOV, H., HANSEN, A.B., LORENZEN, G., ANDERSEN, H.V., LØFSTRØM, P. and CHRISTENSEN, C.S., 2001. Benzene exposure and the effect of traffic pollution in Copenhagen, Denmark. *Atmospheric Environment*, 35(14), pp. 2463-2471.
398. Skrzypek M, Kowalska M, Kasznia-Kocot J, Czech EM, Niewiadomska E. Проблемы со здоровьем органов дыхания у подростков, проживающих вблизи основных дорог в Верхнесилезской промышленной зоне, Польша. *Respiratory health problems in adolescents living near main roads in the Upper Silesian industrial zone, Poland // Int J Occup Med Environ Health*. 2019 15 июля; 32 (4):553-567. doi: 10.13075 / ijomeh.1896.01342. Epub 2019 Jun 28. PMID: 31303647
399. SNYDER, C.A., GOLDSTEIN, B.D., SELAKUMAR, A.R., BROMBERG, I., LASKIN, S. and ALBERT, R.E., 1980. The inhalation toxicology of benzene: Incidence of hematopoietic neoplasms and hematotoxicity in AKR J and C57BL 6J mice. *Toxicology and applied pharmacology*, 54(2), pp. 323-331.
400. SNYDER, R., WITZ, G. and GOLDSTEIN, B.D., 1993. The toxicology of benzene. *Environmental health perspectives*, 100, pp. 293-306.

401. SONG, S., LU, C., WU, X., JIANG, S., SUN, C. and LE, Z., 2018. Strong base g-C₃N₄ with perfect structure for photocatalytically eliminating formaldehyde under visible-light irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 227, pp. 145-152.
402. Souza, M.B., Saldiva P.H., Pope C.A., Capelozzi V.L. (1998). Respiratory changes due to long term exposures to urban levels of air pollution. *Chest*, 113: 1312–1318.
403. Spengler J, Lwebuga-Mukasa J, Vallarino J, Melly S, Chillrud S, Baker J, Minegishi T. Air toxics exposure from. vehicle emissions at a U.S. border crossing: Buffalo Peace Bridge Study. *Res Rep Health Eff Ins.*, 158:125-132.
404. Stephens B, Novoselac A, Siegel JA. Влияние фильтрации на перепад давления и энергопотребление в жилых системах The Effects of Filtration on Pressure Drop and Energy Consumption in Residential HVAC Systems (RP-1299). OBKB (П-1299) // HVAC & R Research. 2010. Vol. 16(3). P.273–94.
405. STOCCO, C., MACNEILL, M., WANG, D., XU, X., GUAY, M., BROOK, J. and WHEELER, A.J., 2008. Predicting personal exposure of Windsor, Ontario residents to volatile organic compounds using indoor measurements and survey data. *Atmospheric Environment*, 42(23), pp. 5905-5912.
406. SUN, X.Y., DAI, Y.J., GE, T.S., ZHAO, Y. and WANG, R.Z., 2018. Investigation on humidification effect of desiccant coated heat exchanger for improving indoor humidity environment in winter. *Energy and Buildings*, 165, pp. 1-14.
407. SURESH, S. and BANDOSZ, T.J., 2018. Removal of formaldehyde on carbon -based materials: A review of the recent approaches and findings. *Carbon*, 137, pp. 207-221.
408. TAN, B., YE, X., LI, Y., MA, X., WANG, Y. and YE, J., 2018. Defective Anatase TiO₂-x Mesocrystal Growth In Situ on g-C₃N₄ Nanosheets: Construction of 3D/2D Z-Scheme Heterostructures for Highly Efficient Visible-Light Photocatalysis. *Chemistry - A European Journal*, 24(50), pp. 13311-13321.
409. TAN, C., FAN, W.-. and WANG, W.-., 2012. Role of titanium dioxide nanoparticles in the elevated uptake and retention of cadmium and zinc in *Daphnia magna*. *Environmental Science and Technology*, 46(1), pp. 469-476.
410. TAN, Y., SHU, Z., ZHOU, J., LI, T., WANG, W. and ZHAO, Z., 2018. One-step synthesis of nanostructured g-C₃N₄/TiO₂ composite for highly enhanced visible-light photocatalytic H₂ evolution. *Applied Catalysis B: Environmental*, 230, pp. 260-268.
411. Taylor J, Shrubsole C, Biddulph P, Jones B, Das P, Davies M. aylor J, Shrubsole C, Biddulph P, Jones B, Das P, Davies M. Simulation of

- pollution transport in buildings: the importance of taking into account dynamic thermal effects. Моделирование переноса загрязнений в зданиях: важность учета динамических тепловых эффектов // Build Serv Eng Res. 2014; Vol. 35 (6):682-90.
412. TROPPOVÁ, I., ŠIHOR, M., RELI, M., RITZ, M., PRAUS, P. and KOČÍ, K., 2018. Unconventionally prepared TiO₂/g-C₃N₄ photocatalysts for photocatalytic decomposition of nitrous oxide. Applied Surface Science, 430, pp. 335-347.
413. TRUC, V.T.Q. and KIM OANH, N.T., 2007. Roadside BTEX and other gaseous air pollutants in relation to emission sources. Atmospheric Environment, 41(36), pp. 7685-7697.
414. TUNSARINGKARN, T., SIRIWONG, W., RUNGSIYOTHIN, A. and NOPPARATBUNDIT, S., 2012. Occupational exposure of gasoline station workers to BTEX compounds in Bangkok, Thailand. International Journal of Occupational and Environmental Medicine, 3(3), pp. 117-125.
415. WANG, C.-., CHANG, K.-., CHUNG, T.-. and WU, H., 2004. Adsorption equilibria of aromatic compounds on activated carbon, silica gel, and 13X zeolite. Journal of Chemical and Engineering Data, 49(3), pp. 527-531.
416. WANG, C.-., CHUNG, T.-., HUANG, C.-. and WU, H., 2005. Adsorption equilibria of acetate compounds on activated carbon, silica gel, and 13X zeolite. Journal of Chemical and Engineering Data, 50(3), pp. 811-816.
417. WANG, W., FANG, J., SHAO, S., LAI, M. and LU, C., 2017. Compact and uniform TiO₂@g-C₃N₄ core-shell quantum heterojunction for photocatalytic degradation of tetracycline antibiotics. Applied Catalysis B: Environmental, 217, pp. 57-64.
418. WANG, Y., REN, X., JI, D., ZHANG, J., SUN, J. and WU, F., 2012. Characterization of volatile organic compounds in the urban area of Beijing from 2000 to 2007. Journal of Environmental Sciences, 24(1), pp. 95-101.
419. Weisel CP, Zhang J, Turpin BJ, Morandi MT, Colome S, Stock TH, Spektor DM, Korn L, Winer AM, Kwon J, Meng QY, Zhang L, Harrington R, Liu W, Reff A, Lee JH, Alimokhtari S, Mohan K, Shendell D, Jones J, Farrar L, Maberti S, Fan T. Weisel CP, et al. Отношения внутреннего, наружного и личного воздуха (RIOPA). Часть I. методы сбора и описательный анализ. Relationships of Indoor, Outdoor, and Personal Air (RIOPA) // Res Rep Health Eff Inst. 2005 Nov; (130 Pt 1): 1-107; обсуждение 109-27. PMID: 16454009
420. WEON, S., CHOI, E., KIM, H., KIM, J.Y., PARK, H.-., KIM, S.-., KIM, W. and CHOI, W., 2018. Active {001} Facet Exposed TiO₂ Nanotubes Photocatalyst Filter for Volatile Organic Compounds Removal: From Material Development to Commercial Indoor Air

- Cleaner Application. *Environmental Science and Technology*, 52(16), pp. 9330-9340.
421. WÖHRNSCHIMMEL, H., ZUK, M., MARTÍNEZ-VILLA, G., CERÓN, J., CÁRDENAS, B., ROJAS-BRACHO, L. and FERNÁNDEZ-BREMAUNTZ, A., 2008. The impact of a Bus Rapid Transit system on commuters' exposure to Benzene, CO, PM_{2.5} and PM₁₀ in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 42(35), pp. 8194-8203.
422. WONG, L.T., MUI, K.W., CHEUNG, C.T., CHAN, W.Y., LEE, Y.H. and CHEUNG, C.L., 2011. In-cabin exposure levels of carbon monoxide, carbon dioxide and airborne particulate matter in air-conditioned buses of Hong Kong. *Indoor and Built Environment*, 20(4), pp. 464-470.
423. Woodruff N. P., Zingg A. W. Wind tunnel studies of shelterbelt models // *Journal of Forestry*. 1953. №3(51). Pp. 34–35.
424. WU, X., GE, T., DAI, Y. and WANG, R., 2019. Vegetal fiber paper matrix impregnated with silica gel for benzene removal. *Indoor air*, 29(6), pp. 943-955. www.elsevier.com/locate/procedia
425. XIA, D., XU, W., HU, L., HE, C., LEUNG, D.Y.C., WANG, W. and WONG, P.K., 2018. Synergistically catalytic oxidation of toluene over Mn modified g-C₃N₄/ZSM-4 under vacuum UV irradiation. *Journal of hazardous materials*, 349, pp. 91-100.
426. YADAV, L. and YADAV, A., 2016. Mathematical investigation of purge sector angle for clockwise and anticlockwise rotation of desiccant wheel. *Applied Thermal Engineering*, 93, pp. 839-848.
427. YADAV, L. and YADAV, A., 2018. Effect of different arrangements of sector on the performance of desiccant wheel. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 54(1), pp. 7-23.
428. YAN, X., ZHU, X., LI, R. and CHEN, W., 2016. Au/BiOCl heterojunction within mesoporous silica shell as stable plasmonic photocatalyst for efficient organic pollutants decomposition under visible light. *Journal of hazardous materials*, 303, pp. 1-9.
429. YANG, J., BAI, H., TAN, X. and LIAN, J., 2006. IR and XPS investigation of visible-light photocatalysis-Nitrogen-carbon-doped TiO₂ film. *Applied Surface Science*, 253(4), pp. 1988-1994.
430. YANG, X., YOU, F., ZHAO, Y., BAI, Y. and SHAO, L., 2018. Confinedly assembling surface nanocoating to manipulate nanofiltration membranes for highly-efficient dye removal. *ES Energy Environ*, 1, pp. 106-113.
431. Ying Zhou and Jonathan I Levy. Factors influencing the spatial extent of mobile source air pollution impacts: a meta-analysis. Факторы, влияющие на пространственную протяженность воздействия мобильных источников загрязнения воздуха: метаанализ // ВМС

- Public Health. 2007 22 мая; 7: 89. doi: 10.1186/1471-2458-7-89.PMID: 17519039.
432. Yixian Y., Xiaomei Z. and Jun L. Aircraft cabin air pollution analysis // *Flight Test*. 1996 ;1: 23 - 26.
433. Yocom, J.E. Indoor-outdoor air quality relationships. A critical review // *Journal of the Air Pollution Control Association*. 1982. №10(32). Pp.156-158.
434. YOUSSEF, Z., COLOMBEAU, L., YESMURZAYEVA, N., BAROS, F., VANDERESSE, R., HAMIEH, T., TOUFAILY, J., FROCHOT, C. and ROQUES-CARMES, T., 2018. Dye-sensitized nanoparticles for heterogeneous photocatalysis: Cases studies with TiO₂, ZnO, fullerene and graphene for water purification. *Dyes and Pigments*, 159, pp. 49-71.
435. YU, J., WANG, S., LOW, J. and XIAO, W., 2013. Enhanced photocatalytic performance of direct Z-scheme g-C₃N₄-TiO₂ photocatalysts for the decomposition of formaldehyde in air. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15(39), pp. 16883-16890.
436. YU, L., WANG, L., SUN, X. and YE, D., 2018. Enhanced photocatalytic activity of rGO/TiO₂ for the decomposition of formaldehyde under visible light irradiation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 73, pp. 138-146.
437. YUAN, W., YUAN, P., LIU, D., YU, W., DENG, L. and CHEN, F., 2015. Novel hierarchically porous nanocomposites of diatomite-based ceramic monoliths coated with silicalite-1 nanoparticles for benzene adsorption. *Microporous and Mesoporous Materials*, 206(C), pp. 184-193.
438. YUSUF, A., SNAPE, C., HE, J., XU, H., LIU, C., ZHAO, M., CHEN, G.Z., TANG, B., WANG, C., WANG, J. and BEHERA, S.N., 2017. Advances on transition metal oxides catalysts for formaldehyde oxidation: A review. *Catalysis Reviews - Science and Engineering*, 59(3), pp. 189-233.
439. Zannetti, P. Numerical simulation modelling of air pollution: an overview. *Air pollution*. Southampton, Computational Mechanics Publications, 1993, pp. 3–14.
440. ZHANG, A., YIN, X., SHEN, X. and LIU, Y., 2018. Removal of fluticasone propionate and clobetasol propionate by calcium peroxide: synergistic effects of oxidation, adsorption, and base Catalysis. *ES Energy Environ.*, 1, pp. 89-98.
441. ZHANG, G., SONG, A., DUAN, Y. and ZHENG, S., 2018. Enhanced photocatalytic activity of TiO₂/zeolite composite for abatement of pollutants. *Microporous and Mesoporous Materials*, 255, pp. 61-68.

442. ZHANG, H., PAN, X., LIU, J., QIAN, W., WEI, F., HUANG, Y. and BAO, X., 2011. Enhanced catalytic activity of sub-nanometer titania clusters confined inside double-wall carbon nanotubes. *ChemSusChem*, 4(7), pp. 975-980.
443. ZHANG, Z., JIANG, Z. and SHANGGUAN, W., 2016. Low-temperature catalysis for VOCs removal in technology and application: A state-of-the-art review. *Catalysis Today*, 264, pp. 270-278.
444. ZHAO, Y., XU, S., SUN, X., XU, X. and GAO, B., 2018. Unique bar-like sulfur-doped C₃N₄/TiO₂ nanocomposite: Excellent visible light driven photocatalytic activity and mechanism study. *Applied Surface Science*, 436, pp. 873-881.
445. ZHENG, X., GE, T.S., WANG, R.Z. and HU, L.M., 2014. Performance study of composite silica gels with different pore sizes and different impregnating hygroscopic salts. *Chemical Engineering Science*, 120, pp. 1-9.
446. ZHONG, L., BRANCHO, J.J., BATTERMAN, S., BARTLETT, B.M. and GODWIN, C., 2017. Experimental and modeling study of visible light responsive photocatalytic oxidation (PCO) materials for toluene degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 216, pp. 122-132.
447. ZHONG, L., HAGHIGHAT, F., LEE, C.-. and LAKDAWALA, N., 2013. Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air applications: Systematic experimental evaluation. *Journal of hazardous materials*, 261, pp. 130-138.
448. ZHOU, S., LIU, Y., LI, J., WANG, Y., JIANG, G., ZHAO, Z., WANG, D., DUAN, A., LIU, J. and WEI, Y., 2014. Facile in situ synthesis of graphitic carbon nitride (g-C₃N₄)-N-TiO₂ heterojunction as an efficient photocatalyst for the selective photoreduction of CO₂ to CO. *Applied Catalysis B: Environmental*, 158-159, pp. 20-29.
449. ZHU, M., MUHAMMAD, Y., HU, P., WANG, B., WU, Y., SUN, X., TONG, Z. and ZHAO, Z., 2018. Enhanced interfacial contact of dopamine bridged melamine-graphene/TiO₂ nano-capsules for efficient photocatalytic degradation of gaseous formaldehyde. *Applied Catalysis B: Environmental*, 232, pp. 182-193.
450. ZHU, X., JIN, C., LI, X.-., LIU, J.-., SUN, Z.-., SHI, C., LI, X. and ZHU, A.-., 2017. Photocatalytic formaldehyde oxidation over plasmonic Au/TiO₂ under visible light: Moisture indispensability and light enhancement. *ACS Catalysis*, 7(10), pp. 6514-6524.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2006 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

с/стаж	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,7	50	2000	0,1
0,85	100	2000	0,1
0,425	50	2000	0,3
0,8	100	2000	0,3
0,5	50	2000	0,5
0,75	100	2000	0,5
0,375	50	2000	0,6
0,7	100	2000	0,6
0,35	50	2000	0,7
0,6	100	2000	0,7
0,3	50	2000	0,8
0,65	100	2000	0,8
0,275	50	2000	0,9
0,5	100	2000	0,9
0,25	50	2000	1
0,75	100	2000	1
0,375	50	1000	0,1
0,65	100	1000	0,1
0,375	50	1000	0,5
0,71	100	1000	0,5
0,405	50	1000	0,8
0,5	100	1000	0,8
0,25	50	1000	1
0,43	100	1000	1
0,215	50	600	0,1
0,39	100	600	0,1
0,195	50	600	0,5
0,41	100	600	0,5
0,155	50	600	0,9
0,4	100	600	0,9
0,15	50	600	1
0,22	100	600	1
0,06	50	500	0,1
0,2	100	500	0,1
0,05	50	500	1
0,28	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2007 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,6	50	2000	0,1
0,85	100	2000	0,1
0,425	50	2000	0,3
0,8	100	2000	0,3
0,4	50	2000	0,5
0,75	100	2000	0,5
0,375	50	2000	0,6
0,7	100	2000	0,6
0,35	50	2000	0,7
0,7	100	2000	0,7
0,3	50	2000	0,8
0,55	100	2000	0,8
0,275	50	2000	0,9
0,45	100	2000	0,9
0,25	50	2000	1
0,75	100	2000	1
0,375	50	1000	0,1
0,75	100	1000	0,1
0,375	50	1000	0,5
0,61	100	1000	0,5
0,305	50	1000	0,8
0,5	100	1000	0,8
0,25	50	1000	1
0,43	100	1000	1
0,215	50	600	0,1
0,39	100	600	0,1
0,195	50	600	0,5
0,41	100	600	0,5
0,155	50	600	0,9
0,3	100	600	0,9
0,17	50	600	1
0,12	100	600	1
0,06	50	500	0,1
0,2	100	500	0,1
0,05	50	500	1
0,18	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2008 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,5	50	2000	0,1
0,85	100	2000	0,1
0,425	50	2000	0,3
0,8	100	2000	0,3
0,4	50	2000	0,5
0,75	100	2000	0,5
0,375	50	2000	0,6
0,7	100	2000	0,6
0,35	50	2000	0,7
0,6	100	2000	0,7
0,3	50	2000	0,8
0,55	100	2000	0,8
0,275	50	2000	0,9
0,5	100	2000	0,9
0,25	50	2000	1
0,75	100	2000	1
0,375	50	1000	0,1
0,65	100	1000	0,1
0,375	50	1000	0,5
0,61	100	1000	0,5
0,305	50	1000	0,8
0,5	100	1000	0,8
0,25	50	1000	1
0,43	100	1000	1
0,215	50	600	0,1
0,39	100	600	0,1
0,195	50	600	0,5
0,31	100	600	0,5
0,155	50	600	0,9
0,3	100	600	0,9
0,15	50	600	1
0,12	100	600	1
0,06	50	500	0,1
0,1	100	500	0,1
0,05	50	500	1
0,18	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2009 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрالی R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,45	50	2000	0,1
0,82	100	2000	0,1
0,45	50	2000	0,3
0,83	100	2000	0,3
0,477	50	2000	0,5
0,78	100	2000	0,5
0,38	50	2000	0,6
0,79	100	2000	0,6
0,38	50	2000	0,7
0,64	100	2000	0,7
0,34	50	2000	0,8
0,58	100	2000	0,8
0,28	50	2000	0,9
0,54	100	2000	0,9
0,45	50	2000	1
0,89	100	2000	1
0,45	50	1000	0,1
0,78	100	1000	0,1
0,56	50	1000	0,5
0,78	100	1000	0,5
0,45	50	1000	0,8
0,56	100	1000	0,8
0,35	50	1000	1
0,48	100	1000	1
0,35	50	600	0,1
0,4	100	600	0,1
0,25	50	600	0,5
0,36	100	600	0,5
0,25	50	600	0,9
0,33	100	600	0,9
0,25	50	600	1
0,22	100	600	1
0,15	50	500	0,1
0,17	100	500	0,1
0,12	50	500	1
0,18	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2010 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,5	50	2000	0,1
0,8	100	2000	0,1
0,5	50	2000	0,3
0,8	100	2000	0,3
0,5	50	2000	0,5
0,8	100	2000	0,5
0,4	50	2000	0,6
0,8	100	2000	0,6
0,4	50	2000	0,7
0,6	100	2000	0,7
0,3	50	2000	0,8
0,6	100	2000	0,8
0,3	50	2000	0,9
0,5	100	2000	0,9
0,5	50	2000	1
0,9	100	2000	1
0,5	50	1000	0,1
0,8	100	1000	0,1
0,6	50	1000	0,5
0,8	100	1000	0,5
0,5	50	1000	0,8
0,6	100	1000	0,8
0,4	50	1000	1
0,5	100	1000	1
0,4	50	600	0,1
0,44	100	600	0,1
0,3	50	600	0,5
0,4	100	600	0,5
0,3	50	600	0,9
0,3	100	600	0,9
0,35	50	600	1
0,2	100	600	1
0,25	50	500	0,1
0,12	100	500	0,1
0,15	50	500	1
0,25	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2011 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,52	50	2000	0,1
0,86	100	2000	0,1
0,51	50	2000	0,3
0,87	100	2000	0,3
0,51	50	2000	0,5
0,87	100	2000	0,5
0,42	50	2000	0,6
0,82	100	2000	0,6
0,47	50	2000	0,7
0,62	100	2000	0,7
0,37	50	2000	0,8
0,62	100	2000	0,8
0,32	50	2000	0,9
0,54	100	2000	0,9
0,52	50	2000	1
0,91	100	2000	1
0,53	50	1000	0,1
0,82	100	1000	0,1
0,61	50	1000	0,5
0,85	100	1000	0,5
0,52	50	1000	0,8
0,62	100	1000	0,8
0,47	50	1000	1
0,58	100	1000	1
0,42	50	600	0,1
0,48	100	600	0,1
0,33	50	600	0,5
0,42	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,37	100	600	0,9
0,33	50	600	1
0,22	100	600	1
0,21	50	500	0,1
0,17	100	500	0,1
0,13	50	500	1
0,28	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2011 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистралей R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,52	50	2000	0,1
0,86	100	2000	0,1
0,51	50	2000	0,3
0,87	100	2000	0,3
0,51	50	2000	0,5
0,87	100	2000	0,5
0,42	50	2000	0,6
0,82	100	2000	0,6
0,47	50	2000	0,7
0,62	100	2000	0,7
0,37	50	2000	0,8
0,62	100	2000	0,8
0,32	50	2000	0,9
0,54	100	2000	0,9
0,52	50	2000	1
0,91	100	2000	1
0,53	50	1000	0,1
0,82	100	1000	0,1
0,61	50	1000	0,5
0,85	100	1000	0,5
0,52	50	1000	0,8
0,62	100	1000	0,8
0,47	50	1000	1
0,58	100	1000	1
0,42	50	600	0,1
0,48	100	600	0,1
0,33	50	600	0,5
0,42	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,37	100	600	0,9
0,33	50	600	1
0,22	100	600	1
0,21	50	500	0,1
0,17	100	500	0,1
0,13	50	500	1
0,28	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2012 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,53	50	2000	0,1
0,83	100	2000	0,1
0,52	50	2000	0,3
0,83	100	2000	0,3
0,54	50	2000	0,5
0,88	100	2000	0,5
0,41	50	2000	0,6
0,88	100	2000	0,6
0,42	50	2000	0,7
0,68	100	2000	0,7
0,33	50	2000	0,8
0,62	100	2000	0,8
0,36	50	2000	0,9
0,58	100	2000	0,9
0,51	50	2000	1
0,98	100	2000	1
0,5	50	1000	0,1
0,83	100	1000	0,1
0,67	50	1000	0,5
0,86	100	1000	0,5
0,52	50	1000	0,8
0,61	100	1000	0,8
0,48	50	1000	1
0,53	100	1000	1
0,42	50	600	0,1
0,46	100	600	0,1
0,32	50	600	0,5
0,48	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,39	100	600	0,9
0,31	50	600	1
0,25	100	600	1
0,24	50	500	0,1
0,14	100	500	0,1
0,19	50	500	1
0,23	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2012 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,54	50	2000	0,1
0,84	100	2000	0,1
0,55	50	2000	0,3
0,82	100	2000	0,3
0,55	50	2000	0,5
0,83	100	2000	0,5
0,4	50	2000	0,6
0,83	100	2000	0,6
0,4	50	2000	0,7
0,63	100	2000	0,7
0,35	50	2000	0,8
0,62	100	2000	0,8
0,38	50	2000	0,9
0,51	100	2000	0,9
0,57	50	2000	1
0,93	100	2000	1
0,53	50	1000	0,1
0,84	100	1000	0,1
0,69	50	1000	0,5
0,82	100	1000	0,5
0,58	50	1000	0,8
0,62	100	1000	0,8
0,49	50	1000	1
0,53	100	1000	1
0,48	50	600	0,1
0,43	100	600	0,1
0,34	50	600	0,5
0,44	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,41	100	600	0,9
0,35	50	600	1
0,27	100	600	1
0,24	50	500	0,1
0,13	100	500	0,1
0,13	50	500	1
0,22	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2013 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

с/стаж	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,53	50	2000	0,1
0,83	100	2000	0,1
0,52	50	2000	0,3
0,83	100	2000	0,3
0,54	50	2000	0,5
0,88	100	2000	0,5
0,41	50	2000	0,6
0,88	100	2000	0,6
0,42	50	2000	0,7
0,68	100	2000	0,7
0,33	50	2000	0,8
0,62	100	2000	0,8
0,36	50	2000	0,9
0,58	100	2000	0,9
0,51	50	2000	1
0,98	100	2000	1
0,5	50	1000	0,1
0,83	100	1000	0,1
0,67	50	1000	0,5
0,86	100	1000	0,5
0,52	50	1000	0,8
0,61	100	1000	0,8
0,48	50	1000	1
0,53	100	1000	1
0,42	50	600	0,1
0,46	100	600	0,1
0,32	50	600	0,5
0,48	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,39	100	600	0,9
0,31	50	600	1
0,25	100	600	1
0,24	50	500	0,1
0,14	100	500	0,1
0,19	50	500	1
0,23	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2013 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистралей R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,53	50	2000	0,1
0,83	100	2000	0,1
0,52	50	2000	0,3
0,83	100	2000	0,3
0,54	50	2000	0,5
0,88	100	2000	0,5
0,41	50	2000	0,6
0,88	100	2000	0,6
0,42	50	2000	0,7
0,68	100	2000	0,7
0,33	50	2000	0,8
0,62	100	2000	0,8
0,36	50	2000	0,9
0,58	100	2000	0,9
0,51	50	2000	1
0,98	100	2000	1
0,5	50	1000	0,1
0,83	100	1000	0,1
0,67	50	1000	0,5
0,86	100	1000	0,5
0,52	50	1000	0,8
0,61	100	1000	0,8
0,48	50	1000	1
0,53	100	1000	1
0,42	50	600	0,1
0,46	100	600	0,1
0,32	50	600	0,5
0,48	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,39	100	600	0,9
0,31	50	600	1
0,25	100	600	1
0,24	50	500	0,1
0,14	100	500	0,1
0,19	50	500	1
0,23	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2014 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,54	50	2000	0,1
0,84	100	2000	0,1
0,55	50	2000	0,3
0,82	100	2000	0,3
0,55	50	2000	0,5
0,83	100	2000	0,5
0,4	50	2000	0,6
0,83	100	2000	0,6
0,4	50	2000	0,7
0,63	100	2000	0,7
0,35	50	2000	0,8
0,62	100	2000	0,8
0,38	50	2000	0,9
0,51	100	2000	0,9
0,57	50	2000	1
0,93	100	2000	1
0,53	50	1000	0,1
0,84	100	1000	0,1
0,69	50	1000	0,5
0,82	100	1000	0,5
0,58	50	1000	0,8
0,62	100	1000	0,8
0,49	50	1000	1
0,53	100	1000	1
0,48	50	600	0,1
0,43	100	600	0,1
0,34	50	600	0,5
0,44	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,41	100	600	0,9
0,35	50	600	1
0,27	100	600	1
0,24	50	500	0,1
0,13	100	500	0,1
0,13	50	500	1
0,22	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2015 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистралей R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,54	50	2000	0,1
0,8	100	2000	0,1
0,57	50	2000	0,3
0,82	100	2000	0,3
0,55	50	2000	0,5
0,83	100	2000	0,5
0,41	50	2000	0,6
0,87	100	2000	0,6
0,42	50	2000	0,7
0,68	100	2000	0,7
0,32	50	2000	0,8
0,64	100	2000	0,8
0,36	50	2000	0,9
0,52	100	2000	0,9
0,57	50	2000	1
0,91	100	2000	1
0,52	50	1000	0,1
0,82	100	1000	0,1
0,62	50	1000	0,5
0,86	100	1000	0,5
0,52	50	1000	0,8
0,65	100	1000	0,8
0,41	50	1000	1
0,58	100	1000	1
0,43	50	600	0,1
0,42	100	600	0,1
0,36	50	600	0,5
0,44	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,42	100	600	0,9
0,31	50	600	1
0,2	100	600	1
0,22	50	500	0,1
0,17	100	500	0,1
0,12	50	500	1
0,21	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2016 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/сmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,53	50	2000	0,1
0,84	100	2000	0,1
0,52	50	2000	0,3
0,89	100	2000	0,3
0,53	50	2000	0,5
0,82	100	2000	0,5
0,46	50	2000	0,6
0,82	100	2000	0,6
0,42	50	2000	0,7
0,61	100	2000	0,7
0,32	50	2000	0,8
0,61	100	2000	0,8
0,34	50	2000	0,9
0,53	100	2000	0,9
0,58	50	2000	1
0,94	100	2000	1
0,55	50	1000	0,1
0,86	100	1000	0,1
0,73	50	1000	0,5
0,85	100	1000	0,5
0,63	50	1000	0,8
0,67	100	1000	0,8
0,55	50	1000	1
0,65	100	1000	1
0,44	50	600	0,1
0,42	100	600	0,1
0,32	50	600	0,5
0,55	100	600	0,5
0,34	50	600	0,9
0,46	100	600	0,9
0,38	50	600	1
0,31	100	600	1
0,25	50	500	0,1
0,14	100	500	0,1
0,17	50	500	1
0,23	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2017 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,56	50	2000	0,1
0,88	100	2000	0,1
0,54	50	2000	0,3
0,9	100	2000	0,3
0,58	50	2000	0,5
0,87	100	2000	0,5
0,55	50	2000	0,6
0,83	100	2000	0,6
0,47	50	2000	0,7
0,65	100	2000	0,7
0,39	50	2000	0,8
0,65	100	2000	0,8
0,38	50	2000	0,9
0,54	100	2000	0,9
0,68	50	2000	1
0,92	100	2000	1
0,52	50	1000	0,1
0,81	100	1000	0,1
0,76	50	1000	0,5
0,84	100	1000	0,5
0,62	50	1000	0,8
0,62	100	1000	0,8
0,59	50	1000	1
0,61	100	1000	1
0,43	50	600	0,1
0,49	100	600	0,1
0,31	50	600	0,5
0,54	100	600	0,5
0,37	50	600	0,9
0,42	100	600	0,9
0,31	50	600	1
0,36	100	600	1
0,28	50	500	0,1
0,19	100	500	0,1
0,11	50	500	1
0,23	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2018 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,53	50	2000	0,1
0,83	100	2000	0,1
0,52	50	2000	0,3
0,96	100	2000	0,3
0,67	50	2000	0,5
0,83	100	2000	0,5
0,58	50	2000	0,6
0,87	100	2000	0,6
0,49	50	2000	0,7
0,63	100	2000	0,7
0,56	50	2000	0,8
0,66	100	2000	0,8
0,48	50	2000	0,9
0,52	100	2000	0,9
0,69	50	2000	1
0,92	100	2000	1
0,57	50	1000	0,1
0,87	100	1000	0,1
0,73	50	1000	0,5
0,88	100	1000	0,5
0,63	50	1000	0,8
0,65	100	1000	0,8
0,54	50	1000	1
0,64	100	1000	1
0,43	50	600	0,1
0,55	100	600	0,1
0,35	50	600	0,5
0,57	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,48	100	600	0,9
0,34	50	600	1
0,34	100	600	1
0,23	50	500	0,1
0,26	100	500	0,1
0,15	50	500	1
0,28	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2019 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,58	50	2000	0,1
0,86	100	2000	0,1
0,52	50	2000	0,3
0,92	100	2000	0,3
0,67	50	2000	0,5
0,83	100	2000	0,5
0,58	50	2000	0,6
0,82	100	2000	0,6
0,49	50	2000	0,7
0,63	100	2000	0,7
0,56	50	2000	0,8
0,66	100	2000	0,8
0,48	50	2000	0,9
0,52	100	2000	0,9
0,69	50	2000	1
0,92	100	2000	1
0,53	50	1000	0,1
0,87	100	1000	0,1
0,73	50	1000	0,5
0,88	100	1000	0,5
0,63	50	1000	0,8
0,65	100	1000	0,8
0,54	50	1000	1
0,64	100	1000	1
0,43	50	600	0,1
0,55	100	600	0,1
0,35	50	600	0,5
0,57	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,48	100	600	0,9
0,34	50	600	1
0,34	100	600	1
0,23	50	500	0,1
0,26	100	500	0,1
0,15	50	500	1
0,28	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2020 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,65	50	2000	0,1
0,76	100	2000	0,1
0,62	50	2000	0,3
0,92	100	2000	0,3
0,77	50	2000	0,5
0,83	100	2000	0,5
0,58	50	2000	0,6
0,92	100	2000	0,6
0,49	50	2000	0,7
0,73	100	2000	0,7
0,58	50	2000	0,8
0,86	100	2000	0,8
0,48	50	2000	0,9
0,51	100	2000	0,9
0,69	50	2000	1
0,92	100	2000	1
0,52	50	1000	0,1
0,87	100	1000	0,1
0,74	50	1000	0,5
0,88	100	1000	0,5
0,73	50	1000	0,8
0,65	100	1000	0,8
0,54	50	1000	1
0,74	100	1000	1
0,43	50	600	0,1
0,55	100	600	0,1
0,45	50	600	0,5
0,57	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,48	100	600	0,9
0,34	50	600	1
0,34	100	600	1
0,33	50	500	0,1
0,36	100	500	0,1
0,25	50	500	1
0,38	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2021 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,63	50	2000	0,1
0,71	100	2000	0,1
0,60	50	2000	0,3
0,94	100	2000	0,3
0,73	50	2000	0,5
0,82	100	2000	0,5
0,55	50	2000	0,6
0,99	100	2000	0,6
0,41	50	2000	0,7
0,71	100	2000	0,7
0,52	50	2000	0,8
0,81	100	2000	0,8
0,42	50	2000	0,9
0,56	100	2000	0,9
0,66	50	2000	1
0,90	100	2000	1
0,51	50	1000	0,1
0,89	100	1000	0,1
0,74	50	1000	0,5
0,89	100	1000	0,5
0,74	50	1000	0,8
0,63	100	1000	0,8
0,52	50	1000	1
0,77	100	1000	1
0,44	50	600	0,1
0,58	100	600	0,1
0,48	50	600	0,5
0,58	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,48	100	600	0,9
0,39	50	600	1
0,34	100	600	1
0,30	50	500	0,1
0,33	100	500	0,1
0,25	50	500	1
0,33	100	500	1

Усредненные значения результатов отбора проб концентрации оксида углерода (II) в наружном воздухе (приточном) по высоте этажей зданий в 2022 г.

Факторы регрессионного анализа от передвижных источников

c/cmax	X1 расстояния от магистрали R, м	X2 интенсивности автотранспорта, авт./час	X3 h/H отношение высоты от поверхности земли к высоте самого здания
0,66	50	2000	0,1
0,75	100	2000	0,1
0,63	50	2000	0,3
0,91	100	2000	0,3
0,72	50	2000	0,5
0,83	100	2000	0,5
0,56	50	2000	0,6
0,93	100	2000	0,6
0,44	50	2000	0,7
0,73	100	2000	0,7
0,52	50	2000	0,8
0,81	100	2000	0,8
0,42	50	2000	0,9
0,56	100	2000	0,9
0,65	50	2000	1
0,90	100	2000	1
0,51	50	1000	0,1
0,89	100	1000	0,1
0,74	50	1000	0,5
0,89	100	1000	0,5
0,74	50	1000	0,8
0,63	100	1000	0,8
0,52	50	1000	1
0,74	100	1000	1
0,44	50	600	0,1
0,58	100	600	0,1
0,48	50	600	0,5
0,58	100	600	0,5
0,32	50	600	0,9
0,48	100	600	0,9
0,39	50	600	1
0,33	100	600	1
0,30	50	500	0,1
0,31	100	500	0,1
0,22	50	500	1
0,35	100	500	1

ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020618133

**Прогноз (расчет) концентраций загрязнителей по высоте
зданий в приточном воздухе от стационарных высотных
источников и автотранспорта**

Правообладатель: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*Автор: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*

Заявка № 2020617335

Дата поступления 16 июля 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 20 июля 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020660657

**Расчет и обоснование технических характеристик сорбентов
в клапанах приточной принудительной вентиляции зданий
в условиях повышенного загрязнения атмосферы от
передвижных источников**

Правообладатель: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*Автор: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*

Заявка № 2020619903

Дата поступления 30 августа 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 09 сентября 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021664849

**Сводный расчет вертикального распределения
безразмерных концентраций газообразных
загрязнителей по высоте зданий с учетом типа
локальной застройки**

Правообладатель: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*

Авторы: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU), Азаров
Валерий Николаевич (RU)*



Заявка № **2021663802**

Дата поступления **02 сентября 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **14 сентября 2021 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Директор Департамента государственной регистрации
и защиты программ для ЭВМ
Иванов Александр Петрович
Должность: 14.09.2021 № 14.01.008

Г.П. Иванов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022610810

**Расчет концентраций загрязнителей внутри помещений
многоэтажных зданий по времени суток от
автотранспортных магистралей в городской среде**

Правообладатель: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*

Авторы: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU), Азаров
Валерий Николаевич (RU)*



Заявка № **2021682453**

Дата поступления **29 декабря 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **17 января 2022 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
УПРАВЛЕНИЕ ПО ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ
Департамент «Р»

Г.П. Назина

Дата выдачи: 17.01.2022

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2744623

Клапан приточной принудительной вентиляции с
очисткой воздуха

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский индустриальный университет" (ТИУ) (RU)*

Автор(ы): *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*

Заявка № 2020121023

Приоритет изобретения 17 июня 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 12 марта 2021 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 17 июня 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2747863

Способ очистки от газообразных загрязнителей
приточного воздуха помещенийПатентообладатель: *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*Автор(ы): *Литвинова Наталья Анатольевна (RU)*

Заявка № 2020136575

Приоритет изобретения 06 ноября 2020 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 17 мая 2021 г.Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 06 ноября 2040 г.Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



Копии актов внедрения результатов научно-исследовательской работы



Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

**Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения
«Центр гигиены и эпидемиологии в Тюменской области»
Испытательная лаборатория (центр)**

Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.510119

Юридический адрес: г.Тюмень, ул.Холодильная д.57

тел.: (3452) 567-990 факс: (3452) 205-006

e-mail: tocgse@fguz-tyumen.ru http:// www.fguz-tyumen.ru

ОКПО 74757016, ОГРН 1057200617759, ИНН/КПП 7203158959 / 720301001

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Настоящим актом подтверждается, что в период прохождения стажировки «Лабораторный контроль химических и физических факторов окружающей среды» с 02 ноября 2020 г. по 06 ноября 2020 г. профессором кафедры Техносферная безопасность ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Литвиновой Натальей Анатольевной в отделении санитарно-гигиенических исследований ИЛ(Ц) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Тюменской области» была апробирована разработанная программа для ЭВМ: «Прогноз (расчет) концентраций загрязнителей по высоте зданий в приточном воздухе от стационарных высотных источников и автотранспорта», которая будет использоваться в дальнейшей работе ИЛ(Ц) при проведении мониторинга качества атмосферного воздуха населенных мест для оценки концентраций загрязнений по высоте зданий в городской среде.

Результаты расчетных данных разработанной программы для ЭВМ Литвиновой Н.А. позволяют конкретизировать величину концентраций загрязнителей (оксида углерода (II), углеводородов алифатических, фенола, формальдегида) в атмосферном воздухе по всей высоте зданий от автотранспорта и стационарных источников выбросов.

Руководитель ИЛ (Ц)



М.А.Карпов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

Тюменская домостроительная компания

ИНН 7203032191, ОГРН 1027200802090, 625014, г. Тюмень, ул. Республики, 253
тел. /3452/ 222-200, факс /3452/ 276-989, e-mail:tdsk@t-dsk.ru, www.t-dsk.ru

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Настоящим актом подтверждается, что в период с 06 июля 2020 года по 07 сентября 2020 года соискателем, профессором кафедры Техносферная безопасность ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Литвиновой Натальей Анатольевной, в ОАО «Тюменская домостроительная компания» (ОАО «ТДСК», г. Тюмень) проведены испытания клапана принудительной приточной вентиляции с очисткой воздуха.

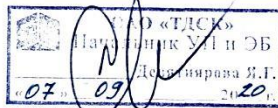
Для проведения испытаний клапан был размещен в наружной стене многоэтажных зданий по ул. Федюнинского вблизи автомагистрали при использовании разработанной программы для ЭВМ: Прогноз (расчет) концентраций загрязнителей по высоте зданий в приточном воздухе от стационарных высотных источников и автотранспорта.

В клапане выбрана следующая загрузка фильтров: шунгит (фракции 1 мм), фильтр с сорбционной загрузкой цеолит (фракции 1-3 мм), фотокаталитический фильтр (тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO₂) и две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая.

Результаты испытаний свидетельствуют о повышении качества приточного воздуха поступающего в помещение после его очистки от газообразных неорганических и органических веществ при использовании данной конструкции клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха (по оксиду углерода (II) - 99,88 %, по углеводородам алифатическим (C1-C5) - 91,18%, по фенолу - 96,51%, по формальдегиду-95,71%).

Срок окупаемости предложенного устройства клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха составляет 6 месяцев, экономическая эффективность разработанного изобретения составляет 41471,92 рублей от внедрения клапанов в эксплуатацию в многоэтажное жилищное строительство. Общая экономическая эффективность составит от 23962 до 47924,8 рублей.

Начальник управления
промышленной и экологической
безопасности ОАО «ТДСК»



Я.Г. Десятирява



**Общество с ограниченной ответственностью
«Уралмаш Нефтегазовое Оборудование Холдинг»
(ООО «Уралмаш НГО Холдинг»)
Филиал «Завод БКУ» в Тюмени**

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Настоящим актом подтверждается, что в период с 04 августа 2020 года по 14 сентября 2020 года соискателем, профессором кафедры Техносферная безопасность ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Литвиновой Натальей Анатольевной, в «Завод БКУ» филиал ООО «Уралмаш НГО Холдинг» в Тюмени проведены испытания клапана принудительной приточной вентиляции с очисткой воздуха.

Для проведения экспериментальных испытаний клапан монтировали в зданиях различного назначения: блок-боксах отдыха персонала, блоке циркуляционных систем.

В исследуемом клапане приточной вентиляции выбрана следующая загрузка фильтров: шунгит (фракции 1 мм), фильтр с сорбционной загрузкой цеолит (фракции 1-3 мм), фотокаталитический фильтр (тонкая пористая пластина диоксида титана (TiO₂) и две ультрафиолетовые лампы с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт каждая).

Результаты проведенных экспериментальных исследований свидетельствуют о повышении качества приточного воздуха поступающего в помещения операторских, блоки-боксы после его очистки от газообразных неорганических и органических веществ при использовании данной конструкции клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха (по оксиду углерода (II) - 99,88 %, по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 98 %, по фенолу - 97%, по формальдегиду - 96%).

Срок окупаемости предложенного устройства клапана приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха составляет 6 месяцев, общая экономическая эффективность составит около 23962 рублей.

Заместитель директора филиала –
директор департамента ОТ и ПБ



Кузько Д.В.

Южно-Балыкский газоперерабатывающий завод-
филиал АО «СибурТюменьГаз»,
г. Пыть-Ях

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим актом подтверждается, что в период с 14 января 2022 года по 07 февраля 2022 года профессором кафедры Техносферная безопасность ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Литвиновой Натальей Анатольевной, в Южно-Балыкском газоперерабатывающем заводе – филиал АО «СибурТюменьГаз» проведены опытно-промышленные испытания клапана принудительной приточной вентиляции с очисткой воздуха с программным обеспечением по сводному расчету концентраций загрязнителей в наружном воздухе.

Клапан приточной вентиляции, имеющий последовательные фильтры: с сорбционной загрузкой шунгитом фракции 1 мм и цеолитом фракции 1-3 мм, толщиной слоев сорбентов 20 мм, фотокаталитический фильтр из пористой пластины диоксида титана (TiO_2) и двух ультрафиолетовых ламп с длиной волны 365 нм (УФ-А диапазона), мощностью 6 Вт монтировали в зданиях административно-бытового назначения для очистки воздуха помещений от газообразных загрязнителей, что позволило достигнуть эффективность очистки воздуха по углеводородам алифатическим (C1-C5) – 97,8-98 %, по оксиду углерода (II) -95,6-99,88 %.

Начальник РМУ

Эксперт, ОТ, ПБ и Э



И.В. Гаранин

А.А. Шишкин

**Копии наиболее значимых наград по теме диссертационного исследования,
подтверждающие практическое использование результатов работы**

Тюменская областная Дума
Губернатор Тюменской области
Тюменский областной общественный Фонд имени В.И. Муравленко

**Присуждена
областная премия имени
Виктора Ивановича Муравленко
за 2019 год**

За реализацию целевых природоохранных комплексных программ и мероприятий,
направленных на обеспечение экологической безопасности и оздоровление окружающей среды
*«За многолетний добросовестный труд, личный вклад в реализацию целевых природоохранных
комплексных программ и мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности
и оздоровление окружающей среды»*

ЛИТВИНОВОЙ Наталье Анатольевне



Постановление Правления Фонда от 01.08.2019 г. № 9

№1055





Всероссийский конкурс
«ИНЖЕНЕР ГОДА»

ДИПЛОМ ЛАУРЕАТА

ВРУЧЕН

Литвиновой Наталье Анатольевне

по итогам конкурса по версии
«Профессиональные инженеры» в номинации

Экология и мониторинг окружающей среды
(исследования)



Председатель жюри конкурса:



Ю.В. Гуляев
академик РАН,
член президиума РАН

23 января 2017 г.

№ 17-2954

г. Москва