

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.Аммосова»  
Инженерно-технический институт  
Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

## **АНАЛИЗ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Направление: 08.04.01 Строительство

Магистерская программа

Энергосбережение и энергоэффективность в зданиях

Выполнил: магистрант II курса  
группы М-ЭЭВЗ-18 ИТИ СВФУ  
Харюзов Дмитрий Владимирович

Руководитель: к.т.н, зав. кафедрой  
ТГВ ИТИ СВФУ

Иванов В.Н. \_\_\_\_\_

(подпись)

Якутск – 2020

Институт	Инженерно-технический
Кафедра	Теплогазоснабжение и вентиляция
Направление	08.04.01 Строительство
Магистерская программа	Энергосбережение и энергоэффективность в зданиях

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Иванов В.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

магистрант: Харюзов Дмитрий Владимирович группы М-ЭЭв3-18  
фамилия, имя, отчество

1. Тема ВКР Анализ воздухопроницаемости высотных жилых зданий в условиях Крайнего Севера

Утверждена приказом от «26» марта 2020 г. № 678-УЧС \_\_\_\_\_

2. Руководитель: Иванов Виктор Наумович, к.т.н., зав. кафедрой ТГВ  
(Ф.И.О., должность, ученое звание, ученая степень)

3. Исходные данные к проекту Лабораторный стенд «Аэродверь», выбор зданий для проведения натурного обследования, план и разрезы здания \_\_\_\_\_

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов) Введение, фильтрация воздуха через ограждение, влияние климата на фильтрацию воздуха, экспериментальное обследование воздухопроницания ограждений здания, анализ экспериментального и натурного обследования, заключение, список использованных источников, приложение \_\_\_\_\_

5. Перечень демонстрационных материалов Актуальность, цели и задачи работы, экспериментальный стенд «Аэродверь», приборы для проведения натурного обследования, планы и разрезы здания, результаты экспериментального обследования, заключение и рекомендации \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_ /В.Н. Иванов/

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. Обзор исследований фильтрации воздуха через ограждающие конструкции в условиях Севера.....	6
1.1. Разность давлений наружной и внутренней поверхности ограждений.....	6
1.2. Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции.....	9
1.3. Роль параметров климата, на воздухопроницаемость ограждающих конструкций.....	15
1.4. Объект исследования.....	18
1.5. Вывод по главе 1. Постановка задачи исследования.....	20
Глава 2. Экспериментальное определение воздухопроницаемости через ограждающую конструкцию.....	22
2.1. Модель натуральных исследований.....	22
2.2. Методика проведения эксперимента.....	29
2.3. Обработка результатов экспериментального исследования воздухопроницаемости ограждающих конструкций.....	32
2.4. Вывод по главе 2.....	69
Глава 3. Практическая часть.....	70
3.1. Оптимизация тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий..	70
3.2. Угловые теплопотери.....	75
3.3. Влияние растворных швов кладки на теплопотери стен.....	78
3.4. Мероприятия по снижению воздухопроницаемости.....	81
Заключение. Основные результаты и выводы.....	87
Список использованной литературы.....	88
Приложение 1.....	95
Приложение 2.....	96

## ВВЕДЕНИЕ

Влияние фильтрации воздуха на температурный и влажностный режим ограждения весьма значительно. Не меньшее влияние фильтрация оказывает и на температурно-влажностный режим помещений. Этим объясняется то большое внимание, которое уделяется вопросам фильтрации воздуха.

Изучению величин коэффициента воздухопроницаемости было посвящено большое количество экспериментальных и теоретических исследований.

В лаборатории Ф. Ф. Эрисмана в 1896 г. проводились опыты по определению воздухопроницаемости глиняных сырцовых материалов. Позднее проф. К. Я. Илькевич [30] определял воздухопроницаемость различных строительных растворов и песков.

В 30-е годы исследованиями воздухопроницаемости строительных материалов и ограждающих конструкций занимались П.А. Брянцев, Б.Ф. Васильев, С.И. Ветошкин, Д.Д. Галанин, С.И. Идашкин, М.И. Субботкин, П.С. Философов. За рубежом значительные работы в это же время выполнялись Райшом [76].

Наиболее капитальные и систематические экспериментальные работы в строительной отрасли, связанные с определением воздухопроницаемости и законов фильтрации для строительных материалов и ограждающих конструкций, были выполнены Р.Е. Брилингом в 1936—1937 гг. в лаборатории инфильтрации ЦНИПС [10].

По классификации Р.Е. Брилинга, кроме сквозной фильтрации, при которой через все сечения, параллельные плоскостям стены, проходит одинаковое количество воздуха, существуют еще два вида фильтрации: продольная и внутренняя.

Явление продольной фильтрации состоит в том, что при воздействии ветра холодный наружный воздух, поступив через наружную поверхность в толщу ограждения, не проникает в помещение, а возвращается обратно по ходам фильтрации (трещинам, зазорам, вентиляционным каналам).

Внутреннюю фильтрацию можно рассматривать как естественную конвекцию в ограниченном пространстве, заполненном материалом с крупными незамкнутыми пустотами. Влияние внутренней фильтрации воздуха на температурный режим наружных стеновых панелей, утепленных воздухопроницаемыми материалами, рассматривается в работе Ю.А. Калядина [32].

Все три вида фильтрации оказывают влияние на теплозащитную способность ограждения.

Исследованиями воздухопроницаемости строительных конструкций материалов в лабораторных и натурных условиях занимались М. В. Артемов, Н. И. Березина, В. Н. Богословский, Ш. Ф. Акбулатов, Г.Н. Прозоровский, Е. И. Семенова, П. А. Теслер, В. П. Титов, Ф. В. Ушков и др. [1, 6, 8, 9, 10, 63, 64, 65, 66].

Метод количественной оценки влияния фильтрации на теплозащитные свойства ограждений изложен в статье В.Г. Гагарина, В.В. Козлова, А.В. Садчикова, И.А. Мехнецова [54], влияние продольной фильтрации рассмотрены в работах [19, 20, 36]. Воздухопроницаемость и фильтрация воздуха так же исследовались в работах Валова В.М., Цвяка А.Н., Пахотина Г.А., Кривошейна А.Д., Г.Г. Максимова, Г.М. Позина, Т.А. Дацюк и др [12-16, 37, 46, 69].

Исследования влияния фильтрации воздуха на тепло-влажностный режим ограждения и воздушный режим помещения представлены в работах [4, 13, 15, 17,32,47,69]. В настоящее время при строительстве жилых зданий в качестве наружных ограждений применяются эффективные многослойные ограждающие конструкции. В основном применяют многослойные стены с эффективным утеплителем [28].

В климатических условиях Сибири важной задачей являются повышение надежности наружных ограждающих конструкций. Для этого необходимо учитывать особенности микроклимата в условиях резко континентального климата. Потери теплоты, зависящие от климатических условий, ограждающих

конструкций не отвечают нормативам, имеется перерасход тепла и электроэнергии.

Актуальность: необходимость научной проработки вопросов повышения энергоэффективности зданий за счет сокращения тепловых потерь через ограждающие конструкции.

Цель исследования – анализ изменения воздухопроницаемости в зависимости от расположения, формы и этажности выбранного объекта, а также выбор конструкции тепловой защиты зданий с учетом климатических особенностей Республики Саха (Якутия)

Задачи исследования:

1. Обзор научной литературы, патентный обзор.
2. Выбрать многоэтажные объекты для анализа воздухопроницаемости.
2. На базе выбранных зданий, произвести необходимые измерения с помощью оборудования «Аэродверь» и произвести их анализ.
4. Установить соответствует ли нормам тепловой защиты выбранные объекты.
5. Установить зависимость величины воздухопроницаемости от этажности объектов.
6. Предложить меры по снижению воздухопроницаемости исследованных объектов.

## **Глава 1. Обзор исследований фильтрации воздуха через ограждающие конструкции в условиях Севера.**

### **1.1. Разность давлений наружной и внутренней поверхности ограждений.**

Основополагающими работами по нахождению перепада давлений и исходными для нормативных документов были разработки Р.Е. Брилинга [10] и В.П. Титова [63]. Различие подходов обусловлено различно принятыми точками отсчета, а именно нулевого давления. Хотя в основе методов лежит описание одних физических процессов.

Предложений Р.Е. Брилингом метод можно назвать, как метод – нейтральной зоны, а предложенный В.П. Титовым, как метод - условного нуля. Перепад давлений воздуха обусловлен несколькими причинами:

- разницей температур внутреннего и наружного воздуха (тепловой напор);
- действием ветра (ветровой напор);
- работой вентиляционных систем.

Тепловой напор - это процесс, при котором вследствие разности удельных весов наружного и внутреннего воздуха более тяжелый наружный воздух проникает в нижнюю часть помещения, а внутренний воздух вытесняется в верхнюю часть помещения, где при избыточном давлении просачивается наружу. Границей между нижней частью помещения, где происходит инфильтрация и верхней, где происходит эксфильтрация, является зона нулевых давлений или нейтральная зона, где разница давлений с двух сторон ограждения равна нулю.

В некотором сечении, находящемся на расстоянии и от нейтральной зоны, разница давлений от действия теплового напора будет равна [10]:

$$\Delta P = h(\gamma_n - \gamma_v) \quad (1.1.1)$$

где  $h$  - высота от нейтральной зоны до сечения, м; ,

$\gamma_n, \gamma_v$  — удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м<sup>3</sup>.

Ветровой напор - процесс давления на наружное ограждение перемещающихся масс воздуха. Давление ветра, оказываемое им на плоскость, перпендикулярную его направлению, определяется [10]:

$$P = \frac{\gamma_n v^2}{2g} \quad (1.1.2)$$

где  $v$  — скорость ветра в м/с;

$g$  - ускорение силы тяжести равное  $9,81 \text{ м}^2/\text{с}$

Истинное давление ветра на наружные ограждения зависит от формы здания и направления ветра и характеризуется аэродинамическим коэффициентом.

В современной нормативной литературе [58, 61, 62] существует несколько различных методов определения перепада давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций. В основе, которых лежит либо метод нейтральной зоны, либо метод условного нуля.

Так, например в [61] разность давлений определяется по формуле:

$$\Delta P = 0,05H(\gamma_n - \gamma_v) + 0,03\gamma_n v^2 \quad (1.1.3)$$

где  $H$  — высота здания (от поверхности земли до верха карниза), м;

Удельный вес наружного и внутреннего воздуха,  $\text{Н}/\text{м}^3$  определяется по формуле [61]:

$$\gamma_{nv} = \frac{3462}{273+t} \quad (1.1.4)$$

здесь  $t$  - температура воздуха;

$v$  — максимальная, из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимаемая согласно [60].

В СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование [62] расчетная разность давления определяется по формуле:

$$\Delta P_i = (H - h_i)(\gamma_i - \gamma_p) + 0,5p_i v^2 (c_{e,n} - c_{e,p})k_l - P_{int} \quad (1.1.5)$$

где  $H$  — высота здания, м, от уровня средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты;

$h_i$  - расчетная высота, м, от уровня земли до верха окон, балконных дверей, ворот, проемов или до оси горизонтальных и середины вертикальных стыков стеновых панелей;

$\rho_i$  - плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup> ;

$v$  - скорость ветра, м/с, принимаемая по приложению [60].

$c_{e,n}, c_{e,p}$  – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаемые по СНиП [58];

$k_l$  - коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый по СНиП [58];

$P_{int}$  - условно-постоянное давление воздуха в здании. Па.

Расчетная разность, между давлениями на наружной и внутренней поверхностях каждой ограждающей конструкции  $P_i$ , Па, принимается после определения условно-постоянного давления воздуха в здании  $P_{int}$ , Па (отождествляется с давлениями на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций), на основе равенства расхода воздуха, поступающего в здание  $G_j$ , кг/ч, и удаляемого из него  $\sum G_{ext}$ , кг/ч, за счет теплового и ветрового давлений и дисбаланса расходов между подаваемым и удаляемым воздухом системами вентиляции с искусственным побуждением и расходуемого на технологические нужды.

Для правильного определения истинного перепада давлений в какой-либо точке наружного ограждения здания, представляется необходимым проводить исследования гидравлических характеристик конкретного объекта (помещения). Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции вызвана разностью давлений на наружной и внутренней поверхностях.

В данной работе для оценки фильтрационного переноса массы и теплового потока через ограждающую конструкцию разность давления создается с помощью вентилятора, устанавливаемого в помещении.

## 1.2. Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции.

Вследствие разности давления воздуха по обеим сторонам ограждения происходит его перемещение из области больших давлений к области меньших, т.е. происходит процесс фильтрации воздуха через сообщающиеся поры материала.

В основу научной разработки вопросов фильтрации воздуха был положен закон сопротивления при фильтрации жидкости, закон Дарси. Впоследствии этот закон был распространен на другие пористые материалы и другие среды.

На основе систематических опытов по фильтрации в пористых строительных материалах Ланг в 1877 г. установил аналогичную зависимость для воздухопроницаемости, известную под названием закона Ланга:

$$G = i_k \Delta p \quad (1.2.1)$$

где  $i_k$  - коэффициент воздухопроницаемости конструкции, кг/м ч.мм.вод.ст., показывает количество прошедшего воздуха в килограммах через 1 м образца конструкции за 1 час при перепаде давлений на образце 1мм. вод. ст., данный коэффициент отличается от  $i$  - коэффициента воздухопроницаемости материала кг/м ч.мм.вод.ст. в котором учитывается толщина испытываемого образца 5 м.

В качестве основной характеристики фильтрационных свойств материала Ланг предложил понятие коэффициента воздухопроницаемости. Изучению величин коэффициента воздухопроницаемости было посвящено большое количество экспериментальных и теоретических исследований.

В лаборатории Ф.Ф. Эрисмана в 1896 г. проводились опыты по определению воздухопроницаемости глиняных сырцовых материалов. Позднее К.Я. Илькевич [30] определял воздухопроницаемость различных строительных растворов и песков. В 30-е годы исследованиями воздухопроницаемости строительных материалов и ограждающих конструкций занимались О.Е. Власов, Б.Ф. Васильев, В.Д. Мачинский, К.Ф. Фокин, А.В. Лыков, В.П. Титов, Е.В. Мадведева и др [19, 20, 45, 46, 48, 49, 50, 63, 67,]. За рубежом

значительные работы в это же время выполнялись Райшом и другими исследователями [71, 72, 73, 74, 74, 76].

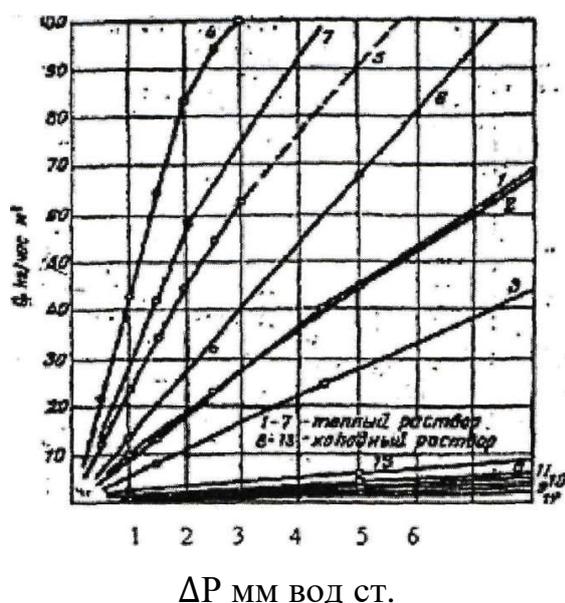
Наиболее полные экспериментальные и теоретические исследования влияния фильтрации воздуха на температурный режим ограждений выполнены профессором Ф.В. Ушковым [66]. Группой научных работников под руководством профессора В.М. Валова в Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии ведутся исследования влияния инфильтрации и эксфильтрации воздуха на тепловлажностный режим ограждающих конструкций и разрабатываются конструкции воздухопроницаемых ограждений с использованием в экспериментальном строительстве [13-17].

Многосторонние исследования различных аспектов воздухопроницаемости и фильтрации были выполнены Р. Е. Брилингом [10]. В частности, он экспериментально определил воздухопроницаемость большинства строительных материалов и конструкций стен, применяемых в то время.

На рисунке 1.2.1. представлены полученные Р.Е. Брилингом зависимости между расходом воздуха  $G$ , отнесенным к  $1 \text{ м}^2$  площади образца, и перепадом давлений на образце  $\Delta P$ . В таблицах 1.2.1. и 1.2.2. представлены опытные данные воздухопроницаемости строительных материалов и ограждающих конструкций [10].

В таблице 1.2.1. приведены коэффициенты воздухопроницаемости полученные при разности давлений  $1 \text{ мм.вод.ст.}$ . Эти коэффициенты справедливы для материалов в состоянии естественной влажности и могут применяться при расчетных перепадах давлений до  $5 \text{ мм.вод.ст.}$

Систематические исследования Р.Е. Брилинга завершились разработкой проекта норм воздухопроницаемости наружных ограждений, который в 1954 г. вошел в состав норм строительной теплотехники и в СНиП II-A.7-62.



**Рисунок 1.2.1. Зависимости между расходом воздуха и перепадом давлений для неоштукатуренных каменных стен полученные Р.Е. Брилингом [10]**

теплый раствор: 1 и 2- красный кирпич, толщина в два кирпича; 3- силикатный кирпич, толщина в два кирпича; 4 - красный кирпич , толщина в 1 кирпич; 5 - тоже из силикатного кирпича; 6 - из шлакобетонных кирпичей 50 см; 7- кладка системы Власова О.Е. в два кирпича;

холодный раствор: 8- стена в два с половиной кирпича; 9- стена в два кирпича; 10-то же при американской кладке; 11- стена из шлакобетонных камней 40 см; 12-стена из красного кирпича с термовкладышами 38 см; 13- стена из силикатных блоков с термовкладышами 31см.

**Таблица 1.2.1.**

**Воздухопроницаемость строительных материалов [9]**

Наименование ограждения (материала)	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент воздухопроницаемости i, кг/м <sup>2</sup> часмм.вод.ст
Бетон 1:2,5:3,5	2150	0,43x10 <sup>-3</sup>
Пенобетон	600	5,16x10 <sup>-3</sup>
Шлакобетон	1300	73,5x10 <sup>-3</sup>
Шлаковая вата	-	434x10 <sup>-3</sup>
Древесина перпендикулярно волокнам	500	0,275x10 <sup>-3</sup>

Таблица 1.2.2.

## Воздухопроницаемость ограждающих конструкций [10]

Наименование ограждения (материала)	Толщина стен в см	Коэффициент воздухопроницаемости $i$ , кг/м часмм.вод.ст
Кирпичная стена без штукатурки	64	1,03
То же оштукатуренная с одной стороны	64	0,058
То же оштукатуренная с двух сторон	64	0,026
Стена из шлакобетонных камней на холодном растворе	40	0,78
Стена из шлакобетонных камней на теплом растворе	50	15,7
Одинарная обшивка из сухих деревянных реек 5х2,5 см (плотная)	2,5	27

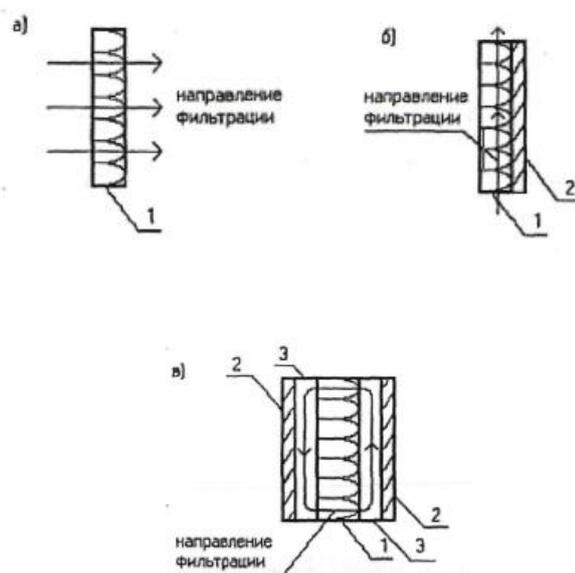
По классификации Р.Е. Брилинга, кроме сквозной фильтрации (поперечной), при которой через все сечения, параллельные плоскостям стены, проходит одинаковое количество воздуха, существует еще два вида фильтрации: продольная и внутренняя (конвекция).

Р. Е. Брилинг ввел понятие и определил «продольную инфильтрацию» как «явление проникновения наружного воздуха в толщу ограждения при направлении ветра, параллельном поверхности наружных ограждений» [10]. В дальнейшем это явление стали называть «продольной фильтрацией». Р.Е. Брилинг экспериментально подтвердил существование продольной фильтрации [10] и показал ее значительное влияние на снижение термического сопротивления слоев пористой теплоизоляции. К. Ф. Фокин отмечает, что методы расчета влияния продольной фильтрации воздуха на теплозащитные свойства стеновых ограждающих конструкций не разработаны, и учитывать продольную фильтрацию следует строительными мероприятиями [67].

Явление продольной фильтрации состоит в том, что при воздействии ветра холодный наружный воздух, поступив через наружную поверхность в толщу ограждения, не проникает в помещение, а возвращается обратно другими путями. Под продольной фильтрацией понимается термогравитационная конвекция воздуха в помещении. Продольный поток воздуха играет роль тепловой завесы.

Под поперечной фильтрацией понимается фильтрационный перенос воздуха сквозь ограждающие конструкции. Р.Е. Брилинг предполагает, что поперечную фильтрацию можно ожидать в конструкциях, не защищенных снаружи достаточно непроницаемыми слоями, а также в конструкциях с глубоко распространяющейся крупнопористой структурой основных материалов. Под внутренней фильтрацией понимают движение воздуха по замкнутым траекториям внутри полостей с утеплителем в конструкции. Внутреннюю фильтрацию можно рассматривать как естественную конвекцию в ограниченном пространстве. Влияние внутренней фильтрации воздуха на температурный режим наружных стеновых панелей, утепленных воздухопроницаемыми материалами, рассматривается в работе Ю.А. Калядина [31, 32, 33, 34, 35].

На рисунке 1.2.2., приведены примеры путей движения воздуха в конструкциях ограждений.



**Рисунок 1.2.2. Пути движения воздуха в конструкции ограждения, а) - продольная фильтрация; б) - поперечная фильтрация; в) - внутренняя фильтрация, 1- воздухопроницаемый материал; 2-воздухонепроницаемый материал; 3- воздушная прослойка.**

Влияние поперечной фильтрации воздуха на теплозащитные свойства конструкции исследуются Р.Е. Брилингом в 1948 году. При фильтрации в

ограждающей конструкции воздух переносит часть теплоты, оказывая тем самым влияние на теплоперенос в конструкции. Для описания этого явления Р.Е. Брилигом предложено дифференциальное уравнение одномерного температурного поля с учетом инфильтрации воздуха:

$$\lambda \frac{d^2 t}{dx^2} - Gc \frac{dt}{dx} = 0 \quad (1.2.2.)$$

Математическая модель одномерного теплопереноса в конструкции при поперечной фильтрации воздуха была предложена Ф. В. Ушковым [66]. Это уравнение имеет вид:

$$Q = \frac{cGe^{cGR}}{e^{cGR_0} - 1} (t_B - t_H) \quad (1.2.3.)$$

Им же был разработан метод расчета распределения температуры по толщине конструкции при поперечной фильтрации воздуха. В дальнейшем были выполнены работы Ю. А. Калядина, В. С. Беляева, Е. В. Веселовацкой и др. [5, 11, 35], посвященные исследованию конвективного движения воздуха и связанного с ним теплопереноса в конструкциях.

Позднее В.С. Беляевым [5] разработан ряд схем конструкций, которые позволяют с достаточной эффективностью реализовать новый способ проветривания помещений. Автор, решая задачу теплотехнического расчета вентилируемых панелей, получил решение уравнения передачи тепла через участок многослойной конструкции при продольной фильтрации воздуха в вентиляционном канале. Канал, по которому фильтруется воздух, может заполняться воздухопроницаемым материалом. Разработанный автором метод позволяет определять потери тепла ограждающей конструкции имеющей вентилируемые каналы. Исследования влияния продольной фильтрации воздуха в ограждающих конструкциях на теплозащитные свойства проведены В.В. Гагариным, В.В. Козловым, А.В. Садчиковым [19, 20, 36, 54]. В работе А.В. Садчикова разработана методика учета влияния продольной фильтрации воздуха в утеплителе на теплозащитные свойства стен с навесными вентилируемыми фасадами. Воздухопроницаемость и фильтрация воздуха

исследовались в работах Валова В.М., Цвяка А.Н., Пахотина Г.А., Кривошейна А.Д., Г.Г. Максимова, В.К. Савина, М. Д. Артемова, Г.М. Позина, Т.А. Дацюк и др [2,12-16,37,45,55,69]. Исследования влияния фильтрации воздуха на тепло-влажностный режим  $t$ , ограждения и воздушный режим помещения представлены в работах [13,15, 16,32,35,47,69].

### **1.3. Роль параметров климата, на воздухопроницаемость ограждающих конструкций.**

Качественная тепловая защита ограждающих конструкций – это важное условие благоприятной жизни человека в северных регионах страны. В условиях Сибири без надлежащей тепловой защиты «НОК» и бесперебойной подачи тепловой энергии человек не сможет выжить, поэтому остро стоит вопрос снижения инфильтрации, а также воздухопроницаемости ограждающих конструкций.

Сведения о параметрах наружного воздуха являются одним из наиболее важных составляющих при решении задач теплообеспечения и комфорта в здании. Это особенно важно для Якутии, которая располагается в центре Восточной Сибири. Климат резко континентален и засушлив, что определяется географическим положением и своеобразием атмосферных процессов. Зима продолжительная, холодная и малоснежная, а лето короткое, на большей части территории засушливое с относительно высокими температурами.

Минимальная температура наружного воздуха в Якутии приходится на январь, а максимальная – на июль. Для холодного периода года характерны слабые ветры и штили [8,60]. В наиболее холодные дни зимнего сезона температуры могут быть ниже  $-60^{\circ}\text{C}$  практически на всей территории. Рекордно минимальные значения в Якутии отмечались в Оймяконе  $-71^{\circ}\text{C}$  и в Верхоянске  $-68^{\circ}\text{C}$  [60].

В теплый период года отличительной чертой климата Якутии является быстрое нарастание средних суточных температур весной и быстрое падение осенью.

Анализ параметров наружного воздуха некоторых населенных пунктов расположенных на северной части России приведен в таблице 1.3.1.

**Таблица 1.3.1.**

**Параметры наружного воздуха населенных пунктов России**

Населенный пункт	t <sub>нр</sub> , °С	t <sub>min</sub> , °С	Отопительный период (t <sub>н</sub> ≤ 8 °С)	
			t <sub>оп</sub> , °С	z, сутки
Москва	-25	-43	-2,2	205
Санкт-Петербург	-24	-36	-1,3	213
Новосибирск	-41	-50	-8,1	221
Красноярск	-37	-48	-6,7	233
Якутск	-52	-64	-20,9	252
Жиганск	-52	-60	-20	275
Верхоянск	-58	-68	-25	272
Оймякон	-59	-68	-25,4	277

Примечание: t<sub>нр</sub> - температура воздуха наиболее холодной пятидневки, обеспеченностью 0,92°С; t<sub>min</sub> - абсолютная минимальная температура воздуха, °С; t<sub>оп</sub> - средняя температура воздуха за отопительный период, °С; z – продолжительность отопительного периода, сут.

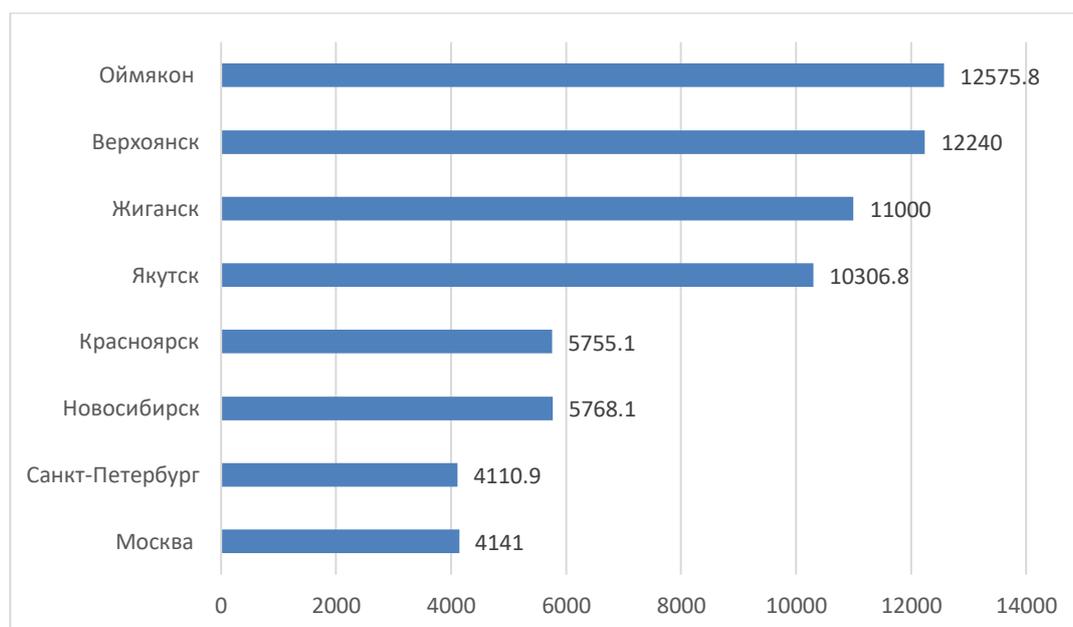
Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, равной расчетной температуре наружного воздуха в населенных пунктах Якутии колеблется от t<sub>н</sub> = -42...-60°С , а в остальных северных районах России варьируется от t<sub>н</sub> = -24...-41°С, что составляет разницу в 10...15°С. Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь находится в диапазоне v<sub>с</sub> = 1,4...8,7 м/с. Одной из характерных особенностей климата Якутии является большая годовая амплитуда температур, которая составляет от 50-127°С. Следовательно, резкоконтинентальный климат Якутии обуславливается низкими расчетными температурами, малыми скоростями ветра и большими амплитудами температур [60].

Суровость отопительного сезона характеризуется числом градусо-суток отопительного периода (ГСОП):

$$D = (t_{\text{вн}} - t_{\text{оп}}) * z \quad (1.3.1)$$

где  $D$  – градусо-сутки отопительного периода ( $^{\circ}\text{C} * \text{сут}$ ),  $t_{\text{вн}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

Для более наглядного представления о суровости климата на рисунке 1.3.1.. представлены значения ГСОП для характерных городов России, а также населенных пунктов Якутии.



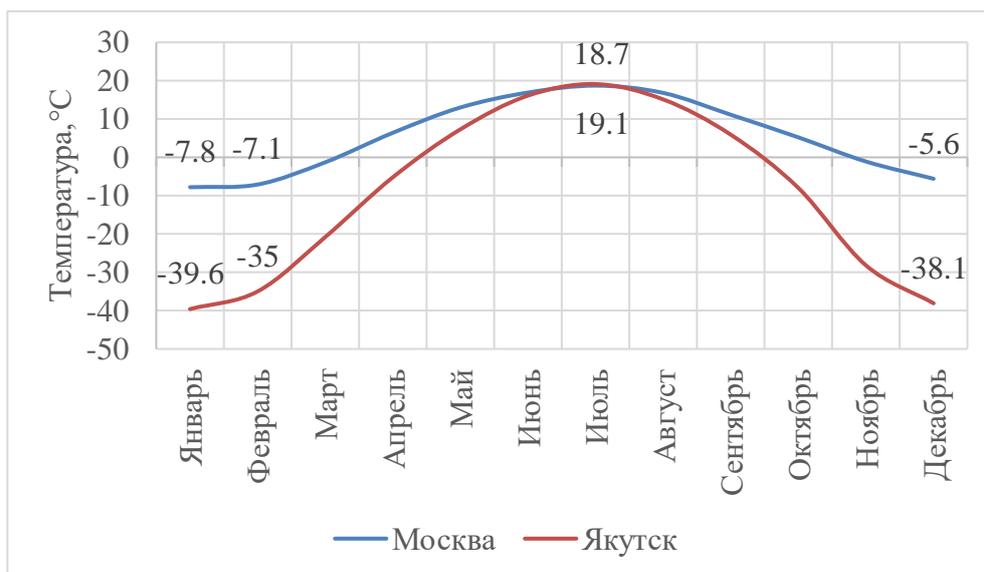
**Рис. 1.3.1. Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) для различных городов России**

Как видно из рисунка, суровость Республики Саха (Якутия) значительно превышает значения городов России. ГСОП в Оймяконе превышает в 3 раза значения города Москва.

ГСОП используются в следующих целях: для нормирования сопротивления теплопередаче наружных ограждений зданий, сооружаемых в разных регионах страны; для расчета потребности тепловой энергии на отопление и вентиляцию за ОП или его части; для сопоставления удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию аналогичного по назначению и этажности здания, построенного в разных климатических условиях.

Одной из характерных особенностей климата Якутии является большая годовая амплитуда температур. Особенности климата г. Якутска наглядно

проявляются при сравнении с климатом городов центральной России (рис 1.3.2.)



**Рис 1.3.2. График распределения средней месячной температуры**

Якутск — наиболее контрастный по температурному режиму город мира (годовая амплитуда составляет 102,8 °C), а также самый крупный город в зоне вечной мерзлоты.

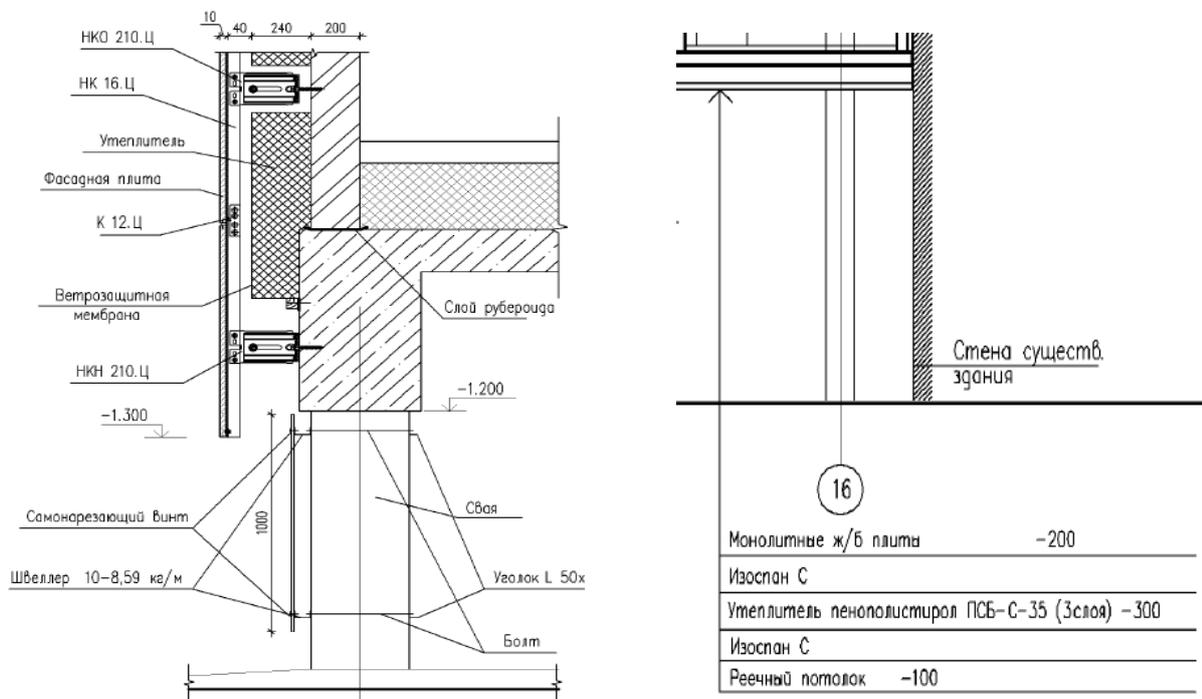
#### **1.4. Объект исследования.**

В настоящее время при строительстве жилых зданий в качестве наружных ограждений применяются эффективные многослойные ограждающие конструкции.

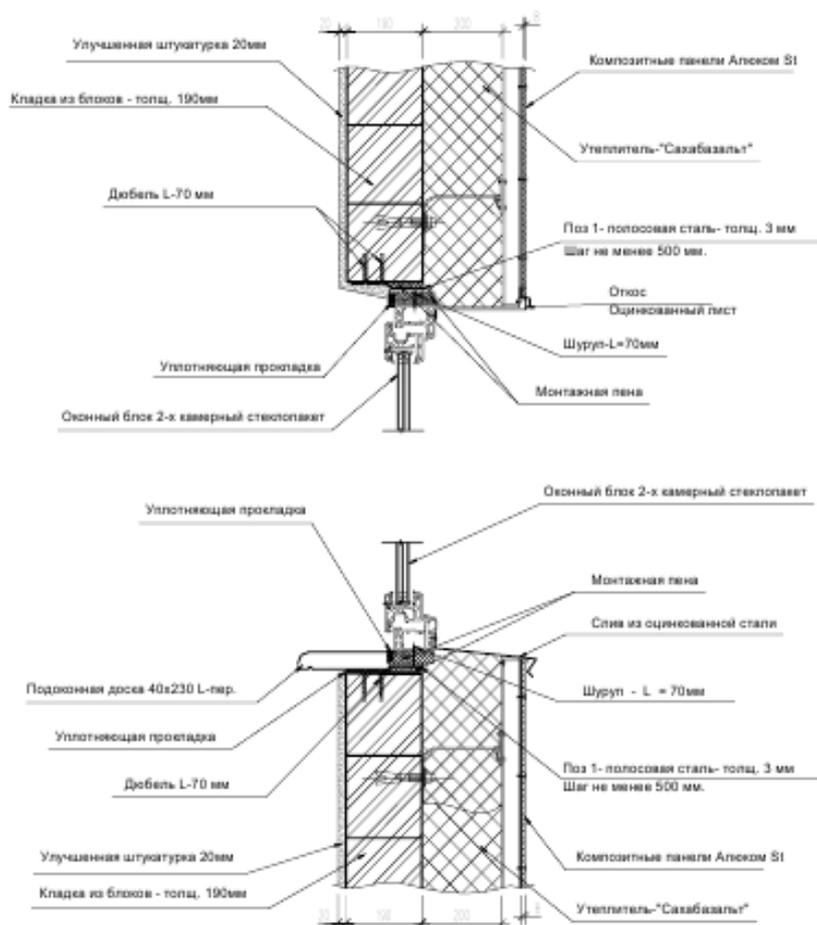
Для анализа были выбраны объекты, находящиеся в городе Якутске, схема - монолитно каркасная:

1. Адрес объекта: Губина 5/1; количество этажей -9;
2. Адрес объекта: Чепалова 45; количество этажей-16;
3. Адрес объекта: Автодорожная 4/2 А; количество этажей-16.

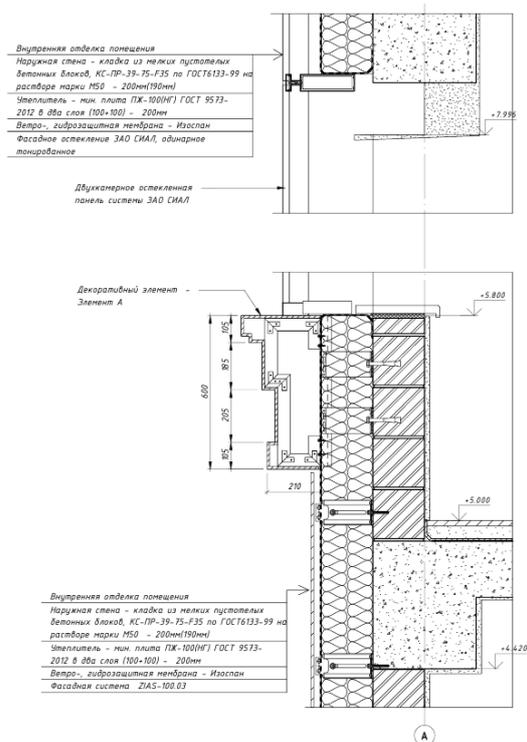
Объектом исследования являются многоэтажные жилые здания с многослойными ограждающими конструкциями. На рисунке 1.4.1. и 1.4.3. представлены примеры разрезов ограждающей конструкции, которые используются в выбранных для обследования объектах. Во всех зданиях были выбраны для измерения угловые помещения, жилого назначения.



**Рис. 1.4.1. Схема узла примыкания стеновых конструкций с цокольным перекрытием (Губина 5/1).**



**Рис. 1.4.2. Узлы крепления оконных блоков к стенам (Чепалова 45).**



**Рис. 1.4.3. Узлы крепления оконных блоков к стенам (Автодорожная 4/2 А).**

Обследование будет производиться оборудованием «Аэродверь» модели: «RETROTEC 5000». Все неплотности в стенах и остеклениях, а так же вытяжные отверстия системы вентиляции перекрыты. Контроль плотности помещения осуществляется тепловизионной съемкой наружной и внутренней поверхности здания. Перепад давления и градиент давления на стенке осуществляется нагнетанием воздуха в помещение вентилятором. Избыточное давление в помещении составляет от 25 до 50 Па. Воздухообмен осуществляется только за счет воздухопроницаемости ограждений, а теплопередача за счет теплопроводности и конвекции.

### **1.5. Вывод по главе 1. Постановка задачи исследования.**

Исследованиями воздухопроницаемости строительных конструкций материалов в лабораторных и натурных условиях занимались В. П. Титов, Ф. В. Ушков, П.Я. Брянцев, Б.Ф. Васильев, С.И. Ветошкин, В.Д. Мачинский, К.Ф. Фокин, А.В. Лыков, Е.В. Мадведева, Р.Е. Бриллинг, О.Е. Власов, В.Н. Богословский и др. За рубежом значительные работы в это же время выполнялись Райшом и другими исследователями.

Воздухопроницаемость и фильтрация воздуха исследовались в работах В.Г. Гагарина, В.В. Козлова, А.В. Садчикова, И.А. Мехнецова, Г.Г. Максимова, В.М. Валова, А.Н. Цвяка, Г.А. Пахотина, А.Д. Кривошейна, Т.А. Дацюк, Г.М. Позина, Т.А. Дацюк и др.

Обзор литературы показал, что недостаточно исследован вопрос о механизме фильтрации воздуха через ограждающие конструкции. Ясно, что при фильтрации (медленном просачивании воздуха под воздействием перепада давления) обеспечивается полное совпадение температуры воздуха в порах и температуры твердого тела. Поэтому распределение температуры в стенке определяет распределение температур (концентрированной консервативной примеси) и наоборот, фильтрация воздуха влияет на температуру ограждающей конструкции. В условиях вентиляции помещения доля фильтрационного переноса консервативной примеси (температурной) в общем тепловом балансе ограждающей конструкции изменяется в пользу теплопроводности. Как влияет вентиляция помещения на тепловой баланс помещения? Перечисленные задачи фильтрации воздуха недостаточно освещены в технической и нормативной литературе.

Цель исследования – анализ изменения воздухопроницаемости в зависимости от расположения и этажности выбранного объекта, а также выбор конструкции тепловой защиты зданий с учетом климатических особенностей Республики Саха (Якутия).

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. На базе выбранных объектов, сделать необходимые измерения с помощью оборудования «Аэродверь» и произвести их анализ.
2. Установить соответствует ли нормам тепловой защиты выбранные объекты.
3. Установить зависимость величины воздухопроницаемости от этажности объектов.

## **Глава 2. Экспериментальное определение воздухопроницаемости через ограждающую конструкцию.**

Цель испытаний - определение коэффициента фильтрации через ограждающую конструкцию, определение кратности воздухообмена помещений здания от инфильтрации при перепаде давлений снаружи и внутри в 50 Па и ее соответствие нормируемому значению СП 50.13330.2012 [61].

### **2.1. Модель натуральных исследований**

Объектом натуральных исследований являлись многоквартирные жилые объекты:

1. Адрес объекта: Губина 5/1; количество этажей -9; застройщик «Адгезия».

Здание жилого дома состоит из двух блоков. Блок «Б» - 10-ти этажный двухподъездный, с теплым чердачным этажом. В плане Г-образной формы с максимальными размерами по осям 1-16 – 66,3 м, по осям А-Н – 33,9 м, высотой этажа 2,7 м. На первых этажах каждого подъезда находятся технические помещения (узлы ввода, электрощитовые), комнаты консьерж с санузлами, помещения для инвентарной с раковиной. На 10-м этаже находится теплый чердак, всего в 1 подъезде – 34 квартир, 2 подъезде – 35 квартир. Несущие конструкции стен, фундаментов, перекрытий и лестниц выполнены из монолитного железобетона. Оконные блоки выполнены из двухкамерных стеклопакетов по ГОСТ 30674-99. Теплоизоляция стеновых конструкций выполнена по схеме вентилируемого фасада. Площадь застройки (с крыльцами) – 867,18 м<sup>2</sup>, строительный объем – 21820,08 м<sup>3</sup>, общая площадь – 6120,09 м<sup>2</sup>, сумма площадей квартир – 4499,51 м<sup>2</sup>.

При измерении воздухопроницаемости выбирались угловые помещения с первого по девятый этаж. Фасад объекта показан на рисунке 2.1.1. и 2.1.2.



**Рис. 2.1.1. Фасад здания отм. 7-16**



**Рис. 2.1.2. Фасад здания отм. 16-7**

Для испытаний выбраны угловые помещения с 1 по 9 этаж, геометрические характеристики приведены в таблице 2.1.1.

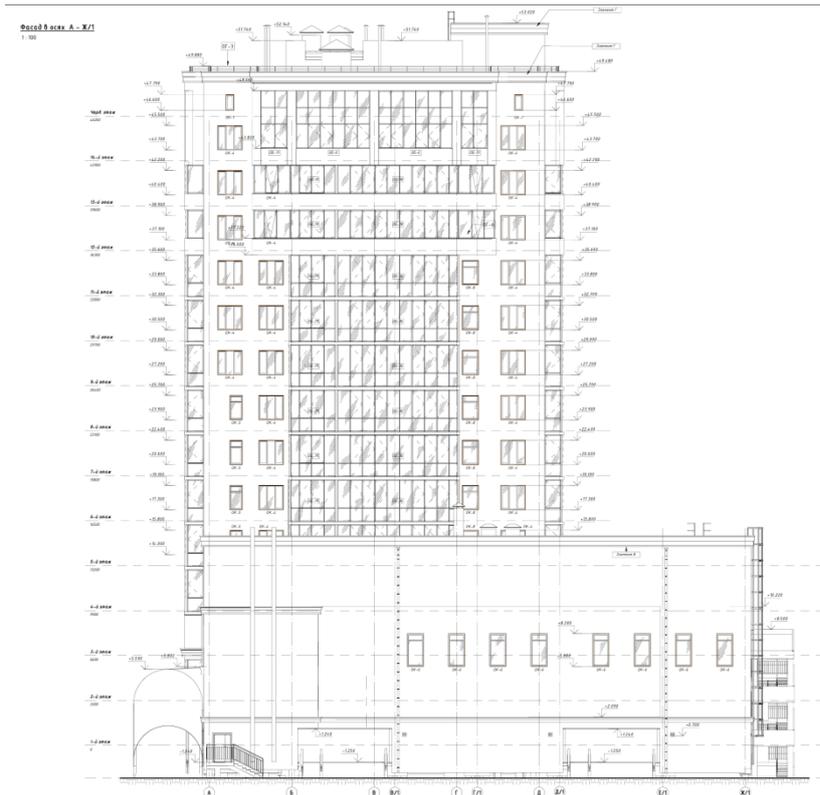
**Таблица 2.1.1.**

**Геометрическая характеристика помещений**

№ п/п	Наименование помещения	Площадь помещения, м2	Объем помещения, м3	Площадь наружных ограждений, м2
1	Помещение первого этажа	94,4	264,3	35,3
2	Помещение второго этажа	94,4	264,3	35,3
3	Помещение третьего этажа	94,4	264,3	35,3
4	Помещение четвертого этажа	94,4	264,3	35,3
5	Помещение пятого этажа	94,4	264,3	35,3
6	Помещение шестого этажа	94,4	264,3	35,3
7	Помещение седьмого этажа	94,4	264,3	35,3
8	Помещение восьмого этажа	94,4	264,3	35,3
9	Помещение девятого этажа	94,4	264,3	35,3

2. Адрес объекта: Чепалова 45; количество этажей-14; застройщик «Ир-строй».

Здание жилого дома имеет характеристики: площадь застройки здания – 2325.50 кв.м.; этажность – 14; общая площадь здания 11 562 кв.м.; конструктивная схема здания – монолитный железобетонный каркас. Фасад объекта показан на рисунке 2.1.3. и 2.1.4. Для испытаний выбраны угловые помещения с 1 по 14 этаж, геометрические характеристики приведены в таблице 2.1.2. Проект выполнен в соответствии с градостроительным планом земельного участка, заданием на проектирование, градостроительным регламентом, техническими регламентами, в том числе устанавливающими требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий.



**Рис. 2.1.3. Фасад здания отм. 1-10**



**Рис. 2.1.4. Фасад здания отм. 10-1**

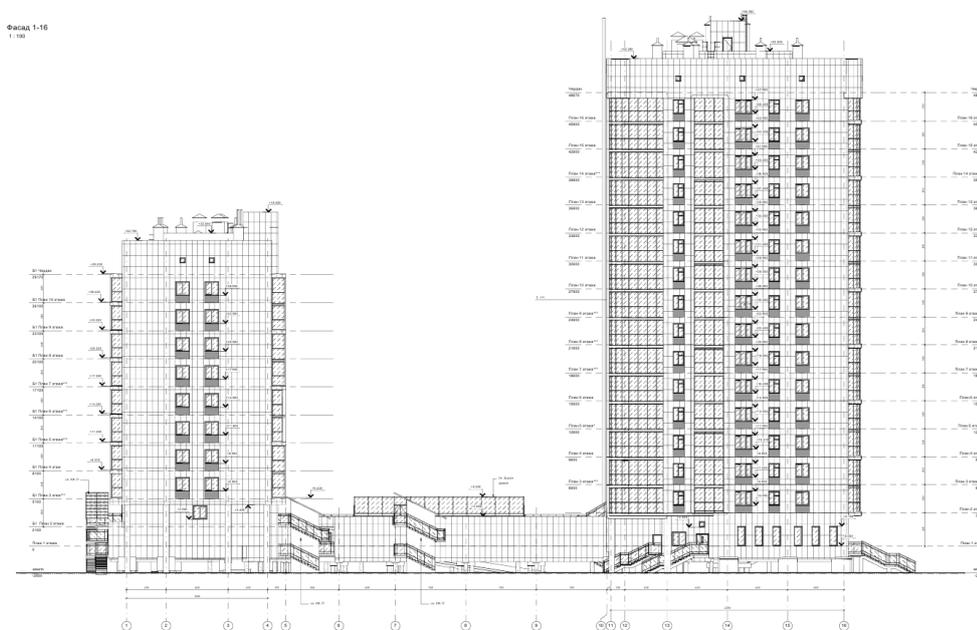
Таблица 2.1.2.

## Геометрическая характеристика помещений

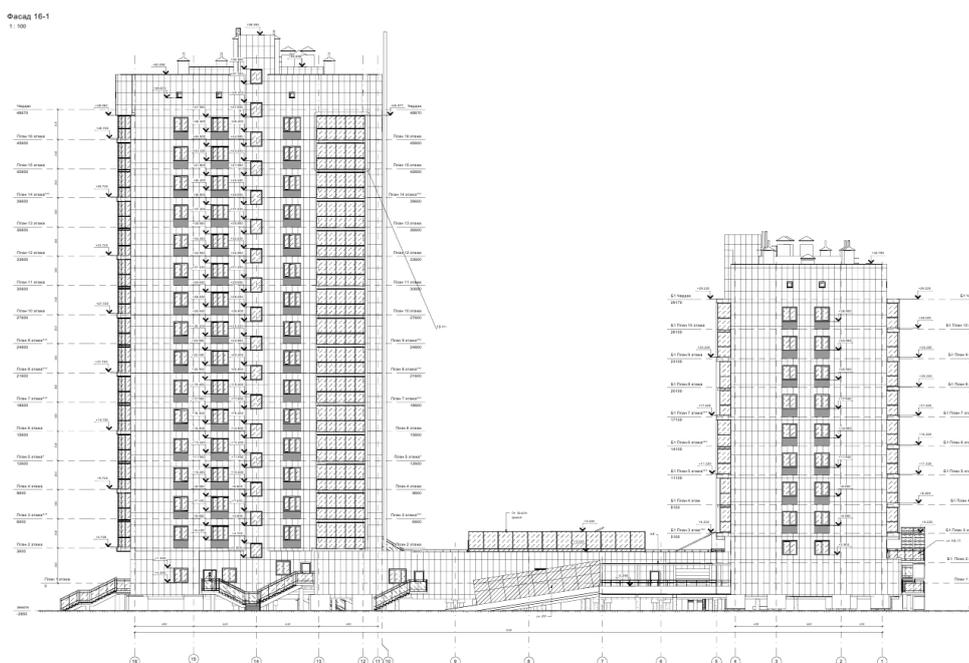
№ п/п	Наименование помещения	Площадь помещения, м2	Объем помещения, м3	Площадь наружных ограждений, м2
1	Помещение первого этажа	62,8	188,3	35,1
2	Помещение второго этажа	62,8	188,3	35,1
3	Помещение пятого третьего	62,8	188,3	35,1
4	Помещение четвертого этажа	62,8	188,3	35,1
5	Помещение пятого этажа	62,8	188,3	35,1
6	Помещение шестого этажа	62,8	188,3	35,1
7	Помещение седьмого этажа	62,8	188,3	35,1
8	Помещение восьмого этажа	62,8	188,3	35,1
9	Помещение девятого этажа	62,8	188,3	35,3
10	Помещение десятого этажа	62,8	188,3	35,1
11	Помещение одиннадцатого этажа	62,8	188,3	35,1
12	Помещение двенадцатого этажа	62,8	188,3	35,1
13	Помещение тринадцатого этажа	62,8	188,3	35,1
14	Помещение четырнадцатого этажа	62,8	188,3	35,1

3. Адрес объекта: Автодорожная 4/2 А; количество этажей-16; застройщик «Голдлайн».

Здание жилого дома имеет характеристики: площадь застройки здания – 2571.39 кв.м.; этажность – 16; общая площадь здания 21 837 кв.м.; конструктивная схема здания – монолитный железобетонный каркас. Фасад объекта показан на рисунке 2.1.3. и 2.1.4.



**Рис. 2.1.5. Фасад здания отм. 1-16.**



**Рис. 2.1.6. Фасад здания отм. 16-1.**

Для испытаний выбраны угловые помещения с 3 по 16 этаж, геометрические характеристики приведены в таблице 2.1.3.

**Таблица 2.1.3.**

**Геометрическая характеристика помещений**

№ п/п	Наименование помещения	Площадь помещения, м <sup>2</sup>	Объем помещения, м <sup>3</sup>	Площадь наружных ограждений, м <sup>2</sup>
1	Помещение третьего этажа	53	157	55
2	Помещение четвертого этажа	53	157	55
3	Помещение пятого этажа	53	157	55
4	Помещение шестого этажа	53	157	55
5	Помещение седьмого этажа	53	157	55
6	Помещение восьмого этажа	53	157	55
7	Помещение девятого этажа	53	157	55
8	Помещение десятого этажа	53	157	55
9	Помещение одиннадцатого этажа	53	157	55
10	Помещение двенадцатого этажа	53	157	55
11	Помещение тринадцатого этажа	53	157	55
12	Помещение четырнадцатого этажа	53	157	55
13	Помещение пятнадцатого этажа	53	157	55
14	Помещение шестнадцатого этажа	53	157	55

## 2.2. Методика проведения эксперимента

Испытания проведены в натуральных условиях в соответствии с ГОСТ 311672009 «Здания и сооружения». Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях» [25].

Нормативные требования по уровню воздухопроницаемости ограждающих конструкций и кратности воздухообмена помещений содержатся в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [61]. Регламент испытаний описан в ГОСТ 311672009 [25] и в инструкции по эксплуатации испытательного стенда для определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций зданий.

Сущность метода заключается в том, что в испытываемый объект (квартиру) с помощью вентилятора нагнетают, а затем отсасывают из него воздух. Вентилятор с помощью воздухонепроницаемого полотнища и раздвижной рамы закрепляем в дверном проеме испытываемых помещений. После включения вентилятора создаем стабильную разность давлений между испытываемым объемом и наружной средой. В ходе испытаний регулируем расход воздуха через вентилятор для ступенчатого изменения разности давлений, между наружным и внутренним воздухом. При фиксированном перепаде давления между испытываемым объемом и наружной средой измеряем расход воздуха через вентилятор. По результатам измерений вычисляем обобщенные характеристики воздухопроницаемости испытываемого объекта.

Процесс испытаний автоматизирован. Специальная компьютерная программа регулирует скорость вращения вентилятора, производит сбор результатов измерения расхода и давления, архивирует результаты и формирует протокол измерений.

Основными показателями эффективности вентиляции являются: расход приточного воздуха, требуемый для обеспечения санитарно-гигиенических норм и норм взрывопожарной безопасности. Воздухообмен в помещениях,

обеспечиваемый системой вентиляции, должен обеспечивать нормируемую кратность воздухообмена и нормируемый удельный расход приточного воздуха.

Для выполнения работ по определению воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания, объемов фильтрации и эффективности вентиляции использованы следующие контрольно-измерительные приборы и оборудование: испытательный стенд для определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций зданий «RETROTEC 5000», анализатор температуры и влажности воздуха «Testo 435-4»; Тепловизор «Satir HY-G90», ноутбук «HP». Испытания проведены в период с ноября 2019г. по февраль 2020г. На период испытаний в помещении герметизированы вытяжные каналы вентиляции и технологические отверстия в стенах и перекрытиях. С помощью тепловизора «SatirHY-G90» проведена тепловизионная съемка и установлено следующее:

1. Щели в местах установки окон, примыканиях стен с кровлей отсутствуют.
2. Воздушный поток фильтруется через стенки.

Установка испытательного стенда представлена на рисунке 2.2.1.

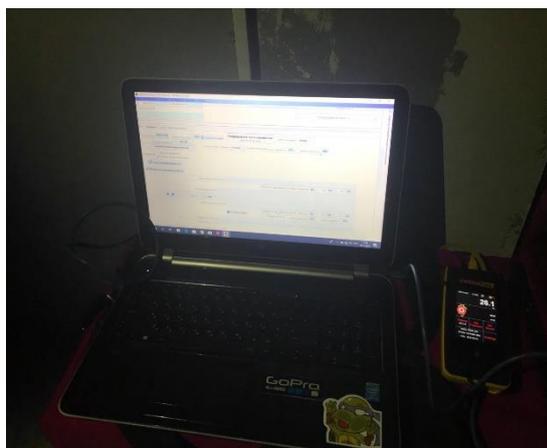


**Рис. 2.2.1 «Аэродверь «Retrotec 5000», установленная в дверной проем»**

На рис. 2.2.1 изображена аэродверь установленная в дверной проем при входе в квартиру, для проведения измерений по требованиям были закрыты все форточки, а также решетки систем вытяжной вентиляции (рис. 2.2.2). С помощью ноутбука и манометра и остальных приборов, производились измерения, преимущественно в угловых квартирах (рис. 2.2.3).



**Рис.2.2.2 «Загерметизированный вентканал»**



**Рис.2.2.3 «Оборудование для испытания»**

В период испытаний был проведен осмотр вентиляционных, дымовых каналов и контроль их состояния, замерены площади их сечения. Определены скорости движения и расхода воздуха в отверстиях вытяжных вентиляционных каналах. По данным измерений рассчитан фактический расход воздуха и кратность воздухообмена, обеспечиваемых системой вентиляции. Обследование вентиляции и определение параметров воздухообмена в помещениях здания производится в соответствии с требованиями СП

60.13330.2010 [62], ГОСТ 12.3.018-79 «Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний» [22], с целью контроля эффективности вентиляции.

### 2.3. Обработка результатов экспериментального исследования воздухопроницаемости ограждающих конструкций.

1. Первым объектом для обработки результатов выбран многоквартирный жилой дом по адресу Губина 5/1.

Вентилятор создает в помещении с площадью наружных стен  $A=35,3$  м<sup>2</sup>, перепад давления между внутренним помещением и наружным воздухом. Регулируя расход воздуха,  $Q = \text{var}$ , создается ступенчатое изменение давления  $\Delta P = \text{var}$ . При фиксированном перепаде давления между испытываемым объемом и наружной средой измеряют расход воздуха через вентилятор.

Результаты испытаний, полученные при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па, приведены в таблицах 2.3.1-2.3.10. Графики с экспериментальными данными и их аппроксимацией показаны на рисунках 2.3.1- 2.3.9.

**Таблица 2.3.1**  
**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение первого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, $n_{50}$		Требование норматива СП 50.13330.2012, $n_{50}$ , не более
	м <sup>3</sup> /час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	283,75	+/- 0,65 %	1,16	+/- 0,65 %	<2
Повышение давления	285,64	+/- 0,65 %	1,163	+/- 0,65 %	
Среднее	284,69	+/- 0,65 %	1,165	+/- 0,65 %	

Таблица 2.3.2

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение второго этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	121	+/- 98,68 %	0,46	+/- 98,68 %	<2
Повышение давления	285,64	+/- 98,68 %	0,91	+/- 98,68 %	
Среднее	205,19	+/- 98,68 %	0,69	+/- 98,68 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно, в связи с повышенным проникновением холодного воздуха.**

Таблица 2.3.3

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение третьего этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	252	+/- 5,15 %	0,95	+/- 5,15 %	<2
Повышение давления	265,32	+/- 5,15 %	1	+/- 5,15 %	
Среднее	258,66	+/- 5,15 %	0,97	+/- 5,15 %	

Таблица 2.3.4

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение четвертого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	504,35	+/- 2,35 %	1,91	+/- 2,35 %	<2
Повышение давления	516,32	+/- 2,35 %	1,95	+/- 2,35 %	
Среднее	510,33	+/- 2,35 %	1,93	+/- 2,35 %	

Таблица 2.3.5

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение пятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	397,15	+/- 0,68 %	1,5	+/- 0,68 %	<2
Повышение давления	399,89	+/- 0,68 %	1,51	+/- 0,68 %	
Среднее	284,69	+/- 0,68 %	1,51	+/- 0,68 %	

Таблица 2.3.6

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение шестого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	441,10	+/- 1,61 %	1,67	+/- 1,61 %	<2
Повышение давления	448,26	+/- 1,61 %	1,7	+/- 1,61 %	
Среднее	444,68	+/- 1,61 %	1,68	+/- 1,61 %	

Таблица 2.3.7

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение седьмого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	401	+/- 1,24 %	1,52	+/- 1,24 %	<2
Повышение давления	406	+/- 1,24 %	1,54	+/- 1,24 %	
Среднее	403,5	+/- 1,24 %	1,53	+/- 1,24 %	

**Таблица 2.3.8**

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение восьмого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	446	+/- 65,59 %	1,69	+/- 65,59 %	<2
Повышение давления	826	+/- 65,59 %	2,79	+/- 65,59 %	
Среднее	636	+/- 65,59 %	2,24	+/- 65,59 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно, в связи с повышенным проникновением холодного воздуха.**

**Таблица 2.3.9**

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение девятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	745,45	+/- 2,18 %	2,82	+/- 2,18 %	<2
Повышение давления	761,91	+/- 2,18 %	2,88	+/- 2,18 %	
Среднее	753,68	+/- 2,18 %	2,85	+/- 2,18 %	

Средняя воздухопроницаемость ограждающих конструкций при закрытых вентиляционных каналах в испытанных помещениях здания и разности давлений внутреннего и наружного воздуха 50 Па обеспечивает воздухообмен кратностью:  $n_{50} = 0,69 - 2,85$  ч<sup>-1</sup>

Воздухопроницаемость конструкций и кратность воздухообмена в испытанных помещениях соответствует нормативным требованиям в помещениях 1,3,4,5,6,7 этажа, в помещениях 2 и 8 оборудование работало некорректно, на 9 этаже кратность воздухообмена не соответствует нормам.

## Результаты испытаний воздухопроницаемости

№ п/п	Помещение	Кратность воздухообмена n 50 (ч-1) при P= 50 Па		
		Требования норматива	Результаты измерений	Заключение
1	Помещение 1 этажа	<2	1,165	Соответствует
2	Помещение 2 этажа	<2	0,69	Некорректно
3	Помещение 3 этажа	<2	0,97	Соответствует
4	Помещение 4 этажа	<2	1,93	Соответствует
5	Помещение 5 этажа	<2	1,51	Соответствует
6	Помещение 6 этажа	<2	1,68	Соответствует
7	Помещение 7 этажа	<2	1,53	Соответствует
8	Помещение 8 этажа	<2	2,24	Некорректно
9	Помещение 9 этажа	<2	2,85	Не соответствует

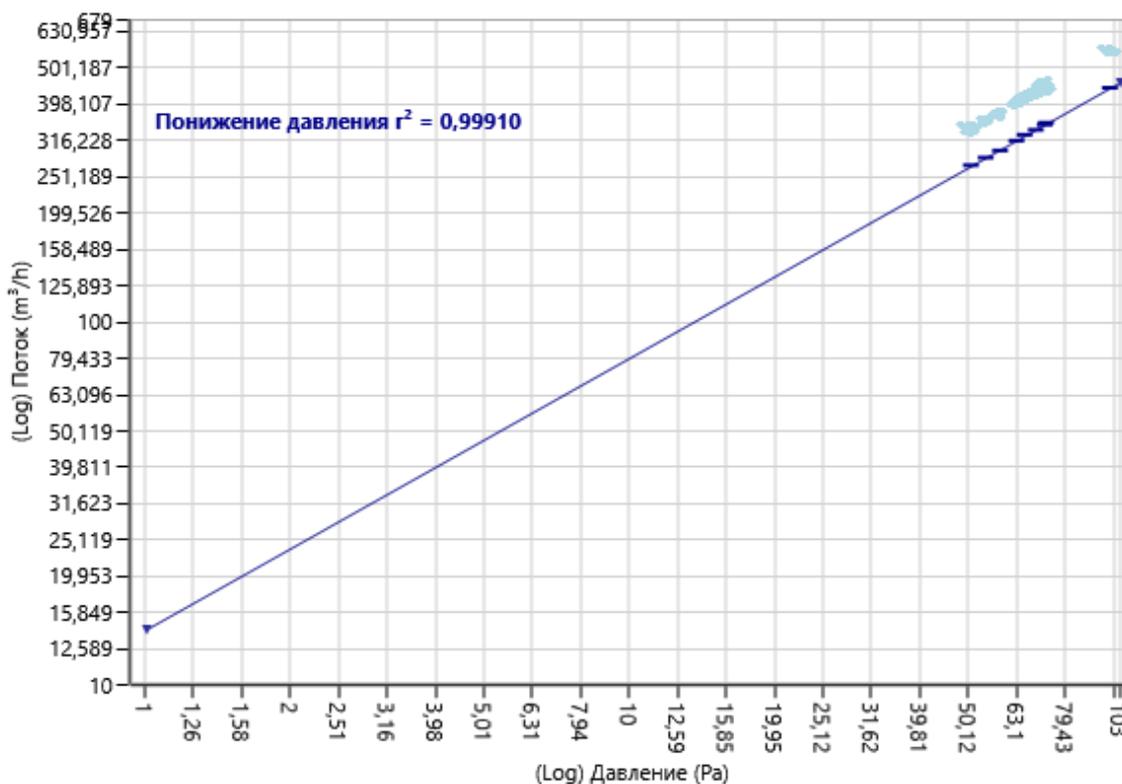
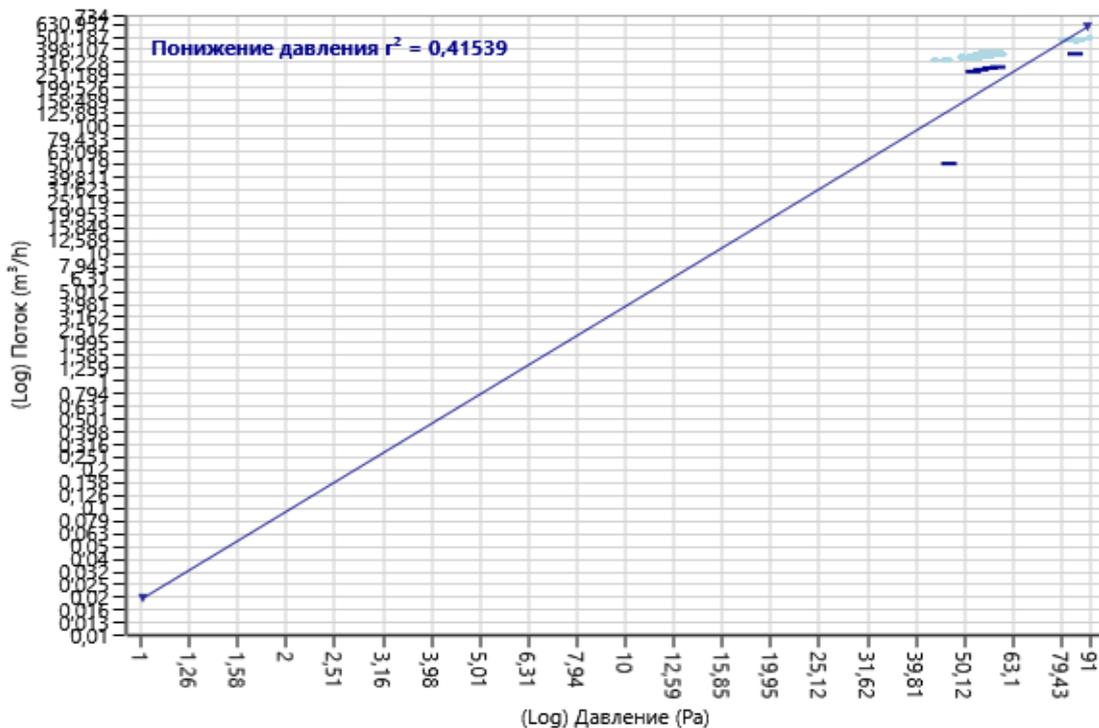
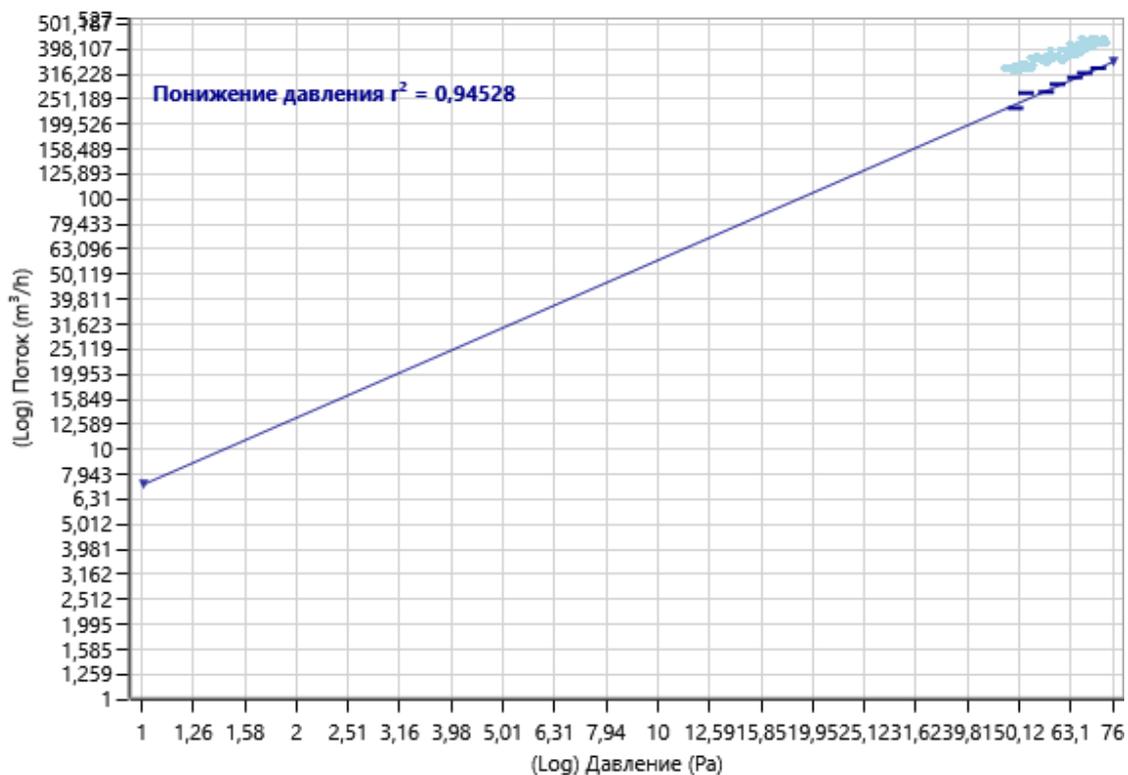


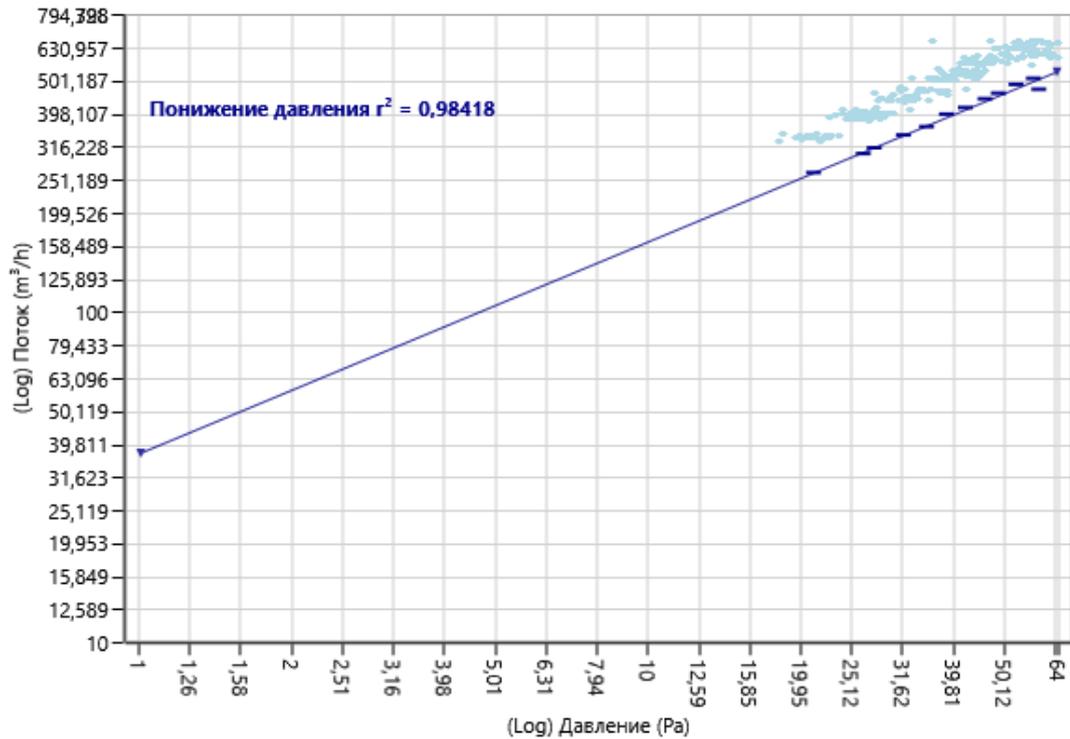
Рис. 2.3.1. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение первого этажа.



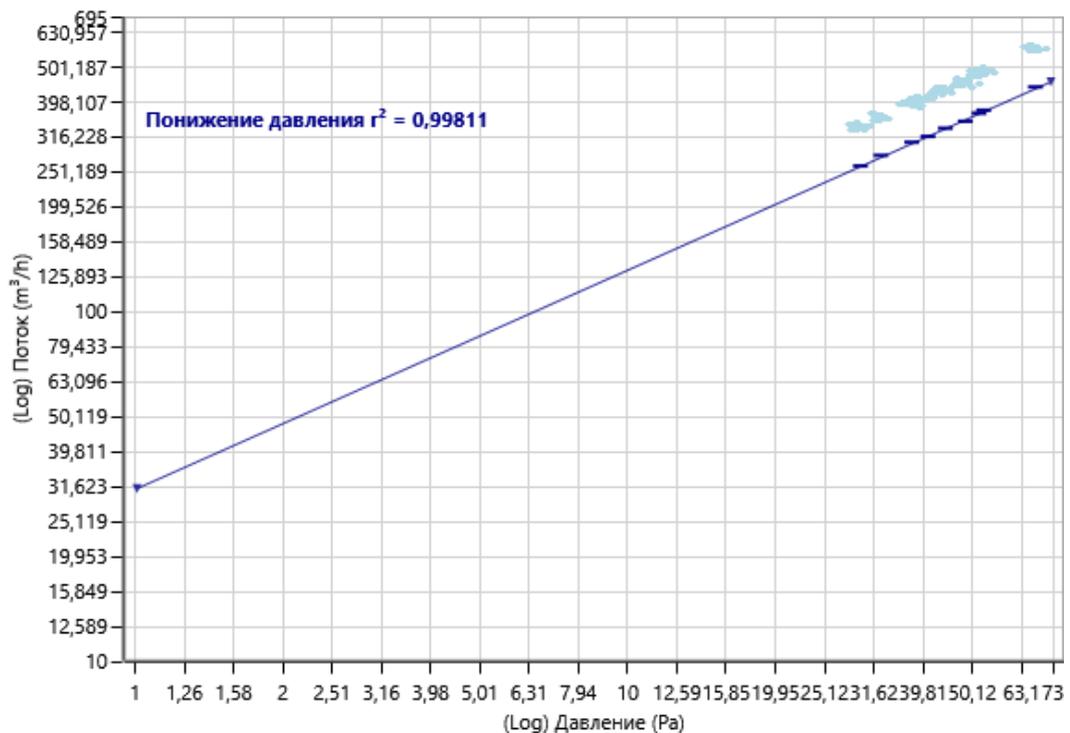
**Рис. 2.3.2. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение второго этажа.**



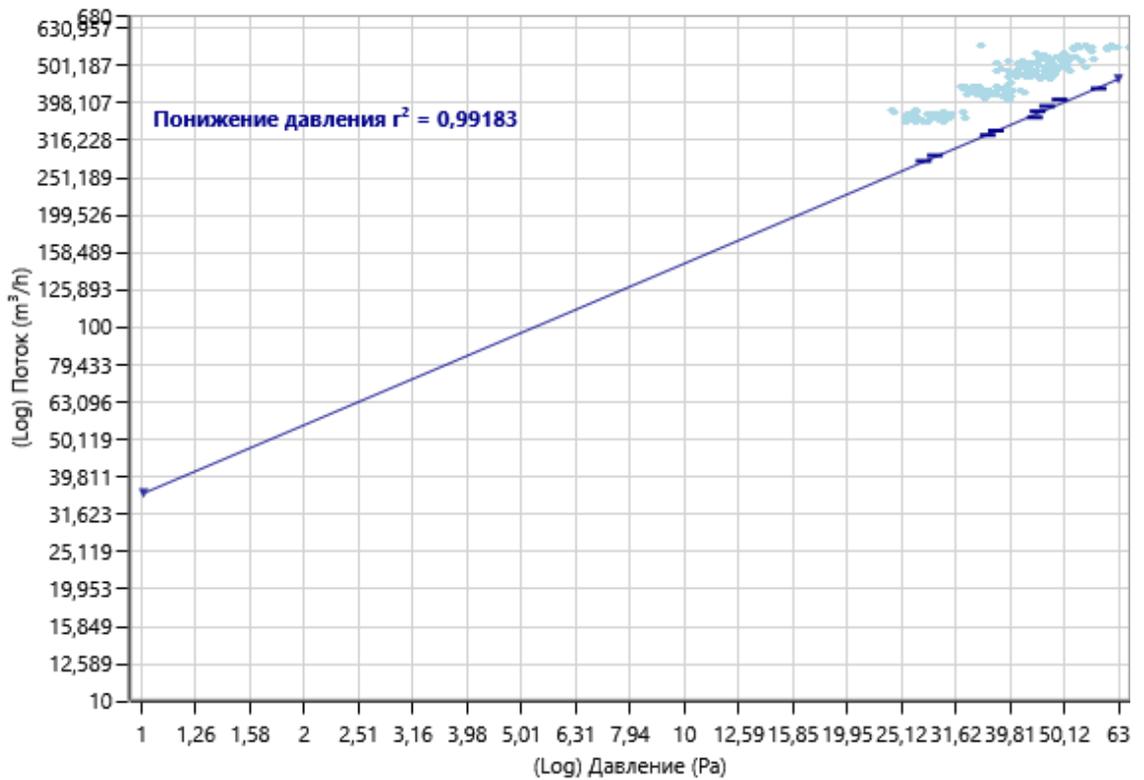
**Рис. 2.3.3. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение третьего этажа.**



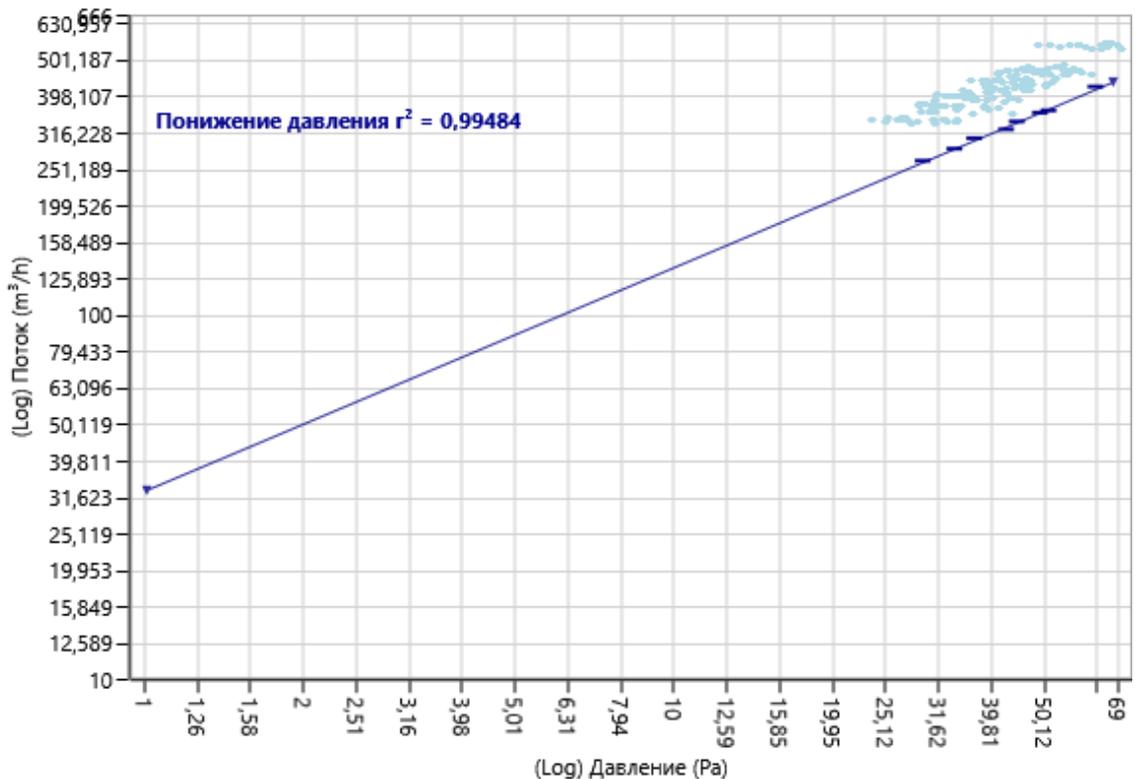
**Рис. 2.3.4. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение четвертого этажа.**



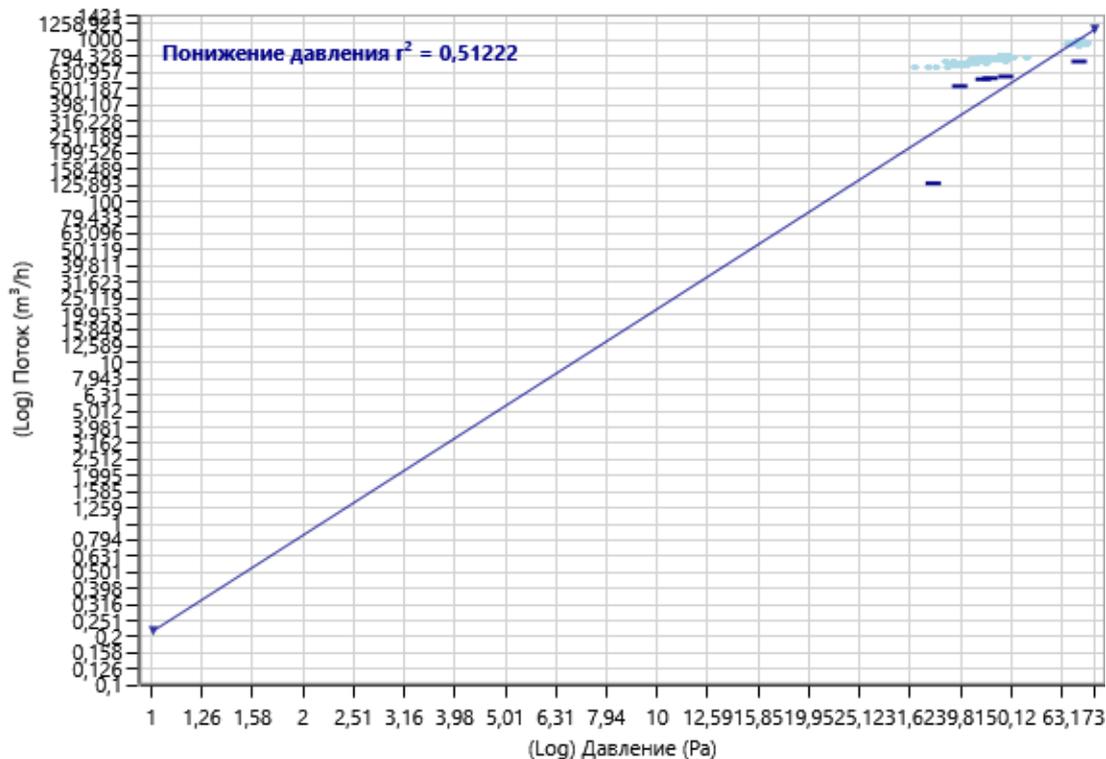
**Рис. 2.3.5. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение пятого этажа.**



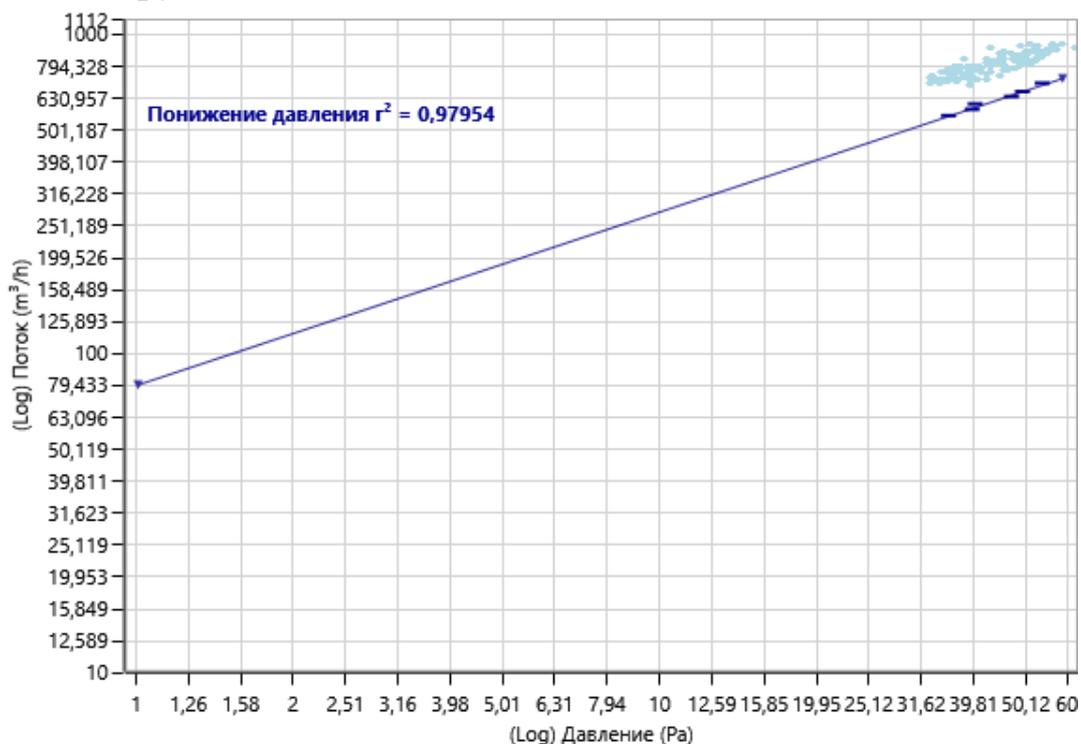
**Рис. 2.3.6. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение шестого этажа.**



**Рис. 2.3.7. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение седьмого этажа.**



**Рис. 2.3.8. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение восьмого этажа.**



**Рис. 2.3.9. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение девятого этажа.**

На основании установленных перепадов давления и расходов воздуха по формулам 2.3.1-2.3.3 определяются значения параметров воздухопроницаемости (коэффициент фильтрации и эффективный коэффициент сопротивления) воздуха через ограждающую конструкцию полученные данные отражены в таблице 2.3.11.

Скорость фильтрации воздушного потока сквозь ограждающую конструкцию помещения равняется:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.3.1)$$

Q - расход воздуха в помещении (проходящий через стены), м<sup>3</sup>/час.

A- площадь наружных ограждающих конструкций.

Средний коэффициент фильтрации равен:

$$k = \frac{vrg\delta}{\Delta P} \quad (2.3.2)$$

*r*- плотность воздуха; *g*- ускорение свободного падения; *δ*- толщина конструкции; *ΔP*- перепад давления.

Эффективный коэффициент сопротивления ограждающей конструкции составляет:

$$\xi = \frac{2\Delta P}{rv^2} \quad (2.3.3)$$

**Таблица 2.3.11**

**Вычисленные коэффициенты ограждающей конструкции**

Номер помещения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость фильтрации <i>v</i> м/с	0,224 *10 <sup>-3</sup>	0,161 *10 <sup>-3</sup>	0,203 *10 <sup>-3</sup>	0,401 *10 <sup>-3</sup>	0,224 *10 <sup>-3</sup>	0,349 *10 <sup>-3</sup>	0,317 *10 <sup>-3</sup>	0,500 *10 <sup>-3</sup>	0,593 *10 <sup>-3</sup>
Средний коэффициент фильтрации <i>k</i> м/с	2,5 *10 <sup>-4</sup>	1,86 *10 <sup>-4</sup>	2,3 *10 <sup>-4</sup>	4,6 *10 <sup>-4</sup>	2,5 *10 <sup>-4</sup>	4 *10 <sup>-4</sup>	3,6 *10 <sup>-4</sup>	5,7 *10 <sup>-4</sup>	6,8 *10 <sup>-4</sup>
Эффективный коэффициент сопротивления $\xi$	16,61 *10 <sup>6</sup>	32,15 *10 <sup>6</sup>	20,2 *10 <sup>6</sup>	5,18 *10 <sup>6</sup>	16,61 *10 <sup>6</sup>	6,84 *10 <sup>6</sup>	8,29 *10 <sup>6</sup>	3,33 *10 <sup>6</sup>	2,37 *10 <sup>6</sup>

2. Вторым объектом для обработки результатов выбран многоквартирный жилой дом по адресу Чепалова 45; количество этажей-14. Вентилятор создает в помещении с площадью наружных стен  $A=35,1$  м<sup>2</sup>, перепад давления между внутренним помещением и наружным воздухом.

Результаты испытаний, полученные при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па, приведены в таблицах 2.3.12-2.3.25. Графики с экспериментальными данными и их аппроксимацией показаны на рисунках 2.3.10- 2.3.23.

**Таблица 2.3.12**

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение первого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м <sup>3</sup> /час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	362,70	+/- 1020,84 %	1,93	+/- 1020,84 %	<2
Повышение давления	7422,49	+/- 1020,84 %	21,59	+/- 1020,84 %	
Среднее	3892,59	+/- 1020,84 %	11,76	+/- 1020,84 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно, в связи с повышенным проникновением холодного воздуха.**

**Таблица 2.3.13**

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение второго этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м <sup>3</sup> /час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	361,20	+/- 5,92 %	1,92	+/- 5,92 %	<2
Повышение давления	383,20	+/- 5,92 %	2,03	+/- 5,92 %	
Среднее	372,2	+/- 5,92 %	1,975	+/- 5,92 %	

Таблица 2.3.14

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение третьего этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	167,60	+/- 118 %	0,89	+/- 118 %	<2
Повышение давления	457,05	+/- 118 %	1,94	+/- 118 %	
Среднее	312,32	+/- 118 %	1,42	+/- 118 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.15

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение четвертого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	130,85	-	0,7	-	<2
Повышение давления	130,85	-	0,65	-	
Среднее	130,85	-	0,675	-	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.16

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение пятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	326,35	+/- 0,5 %	1,73	+/- 0,5 %	<2
Повышение давления	326,35	+/- 0,5 %	1,73	+/- 0,5 %	
Среднее	326,35	+/- 0,5 %	1,73	+/- 0,5 %	

Таблица 2.3.17

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение шестого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	233	+/- 0,93 %	1,24	+/- 0,93 %	<2
Повышение давления	235	+/- 0,93 %	1,25	+/- 0,93 %	
Среднее	234	+/- 0,93 %	1,245	+/- 0,93 %	

Таблица 2.3.18

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение седьмого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	205,61	+/- 2,63 %	1,09	+/- 2,63 %	<2
Повышение давления	211,08	+/- 2,63 %	1,12	+/- 2,63 %	
Среднее	208,34	+/- 2,63 %	1,11	+/- 2,63 %	

Таблица 2.3.19

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение восьмого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	221,20	+/- 3,94 %	1,18	+/- 3,94 %	<2
Повышение давления	230,11	+/- 3,94 %	1,22	+/- 3,94 %	
Среднее	225,65	+/- 3,94 %	1,2	+/- 3,94 %	

Таблица 2.3.20

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение девятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	220	+/- 3,57 %	1,17	+/- 3,57 %	<2
Повышение давления	227,97	+/- 3,57 %	1,21	+/- 3,57 %	
Среднее	223,98	+/- 3,57 %	1,19	+/- 3,57 %	

Таблица 2.3.21

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение десятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	168,25	-	0,89	-	<2
Повышение давления	168,25	-	0,89	-	
Среднее	168,25	-	0,89	-	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.22

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение одиннадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	824,50	+/- 1,12 %	4,38	+/- 1,12 %	<2
Повышение давления	833,77	+/- 1,12 %	4,41	+/- 1,12 %	
Среднее	829,13	+/- 1,12 %	4,39	+/- 1,12 %	

Таблица 2.3.23

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение двенадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	173,25	+/- 17,40 %	0,92	+/- 17,40 %	<2
Повышение давления	205,97	+/- 17,40 %	1	+/- 17,40 %	
Среднее	189,61	+/- 17,40 %	0,96	+/- 17,40 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.24

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение тринадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	182,45	+/- 10,74 %	0,97	+/- 10,74 %	<2
Повышение давления	203,13	+/- 10,74 %	1,07	+/- 10,74 %	
Среднее	192,79	+/- 10,74 %	1,02	+/- 10,74 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.25

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение четырнадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	288,05	+/- 8,73 %	1,53	+/- 8,73 %	<2
Повышение давления	314,31	+/- 8,73 %	1,66	+/- 8,73 %	
Среднее	301,18	+/- 8,73 %	1,59	+/- 8,73 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Средняя воздухопроницаемость ограждающих конструкций при закрытых вентиляционных каналах в испытанных помещениях здания и разности давлений внутреннего и наружного воздуха 50 Па обеспечивает воздухообмен кратностью:  $n_{50} = 0,675 - 11,76 \text{ ч}^{-1}$

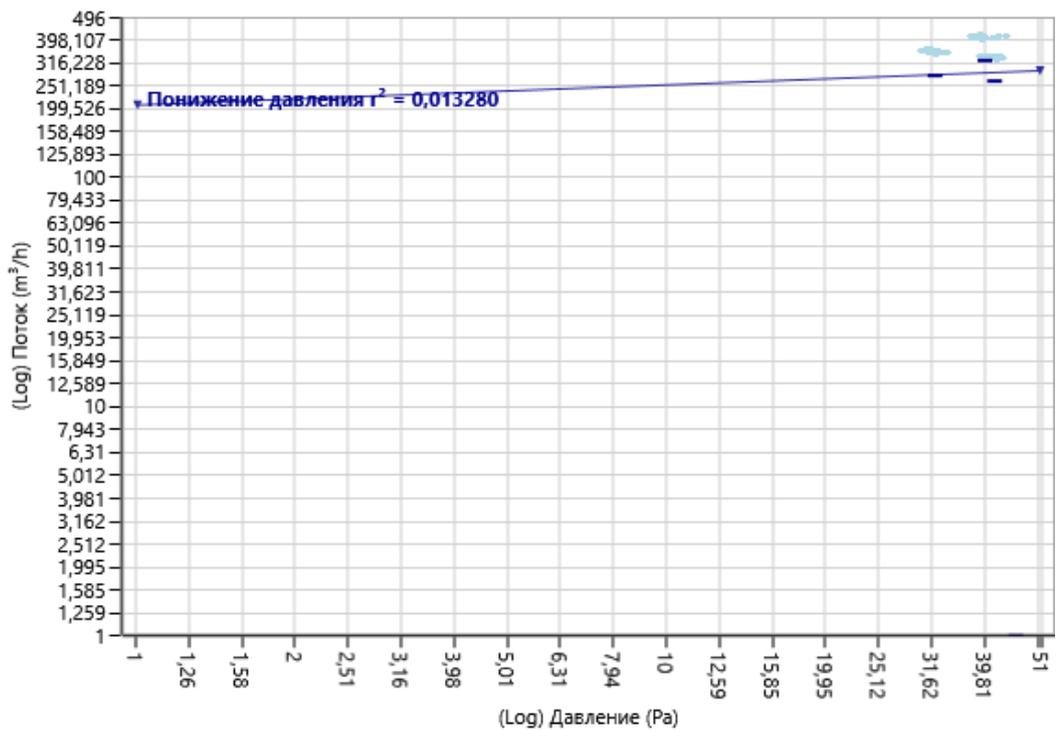
Воздухопроницаемость конструкций и кратность воздухообмена в испытанных помещениях соответствует нормативным требованиям в помещениях 2,5,6,7,8,9 этажа, в помещениях 1,3,4,10,12,13,14 оборудование работало некорректно, на 11 этаже кратность воздухообмена не соответствует нормам.

**Таблица 2.3.26**

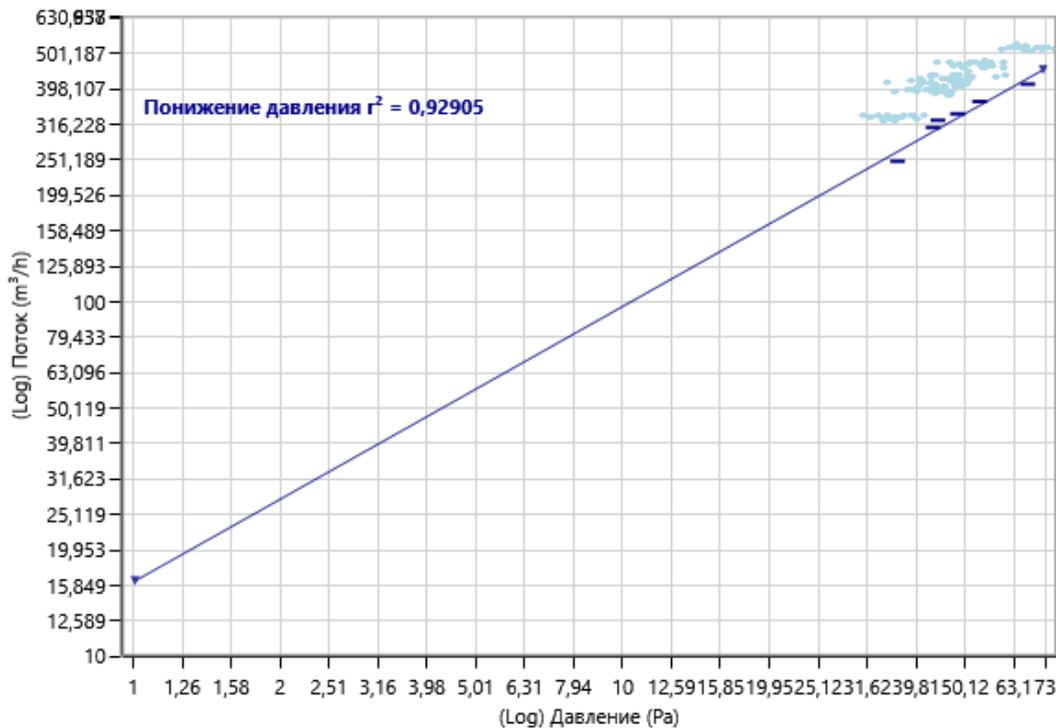
**Результаты испытаний воздухопроницаемости**

№ п/п	Помещение	Кратность воздухообмена $n_{50}$ ( $\text{ч}^{-1}$ ) при $P = 50 \text{ Па}$		
		Требования норматива	Результаты измерений	Заключение
1	Помещение 1 этажа	$<2$	11,76	Некорректно (ошибка $> 6 \%$ )
2	Помещение 2 этажа	$<2$	1,97	Соответствует
3	Помещение 3 этажа	$<2$	1,42	Некорректно (ошибка $> 6 \%$ )
4	Помещение 4 этажа	$<2$	0,67	Некорректно (ошибка $> 6 \%$ )
5	Помещение 5 этажа	$<2$	1,73	Соответствует
6	Помещение 6 этажа	$<2$	1,24	Соответствует
7	Помещение 7 этажа	$<2$	1,11	Соответствует
8	Помещение 8 этажа	$<2$	1,2	Соответствует
9	Помещение 9 этажа	$<2$	1,19	Соответствует
10	Помещение 10 этажа	$<2$	0,89	Некорректно (ошибка $> 6 \%$ )
11	Помещение 11 этажа	$<2$	4,39	Не соответствует
12	Помещение 12 этажа	$<2$	0,96	Некорректно (ошибка $> 6 \%$ )
13	Помещение 13 этажа	$<2$	1,02	Некорректно (ошибка $> 6 \%$ )
14	Помещение 14 этажа	$<2$	1,59	Некорректно (ошибка $> 6 \%$ )

Из таблицы видно, что в половине помещений ошибка измерений оказалась больше 6 %, вследствие чего в этих помещениях кратность воздухообмена нельзя принять верной, эта ошибка появилась вследствие большой инфильтрации наружных ограждающих конструкций, а также открывании и закрывании дверей лестничной клетки.

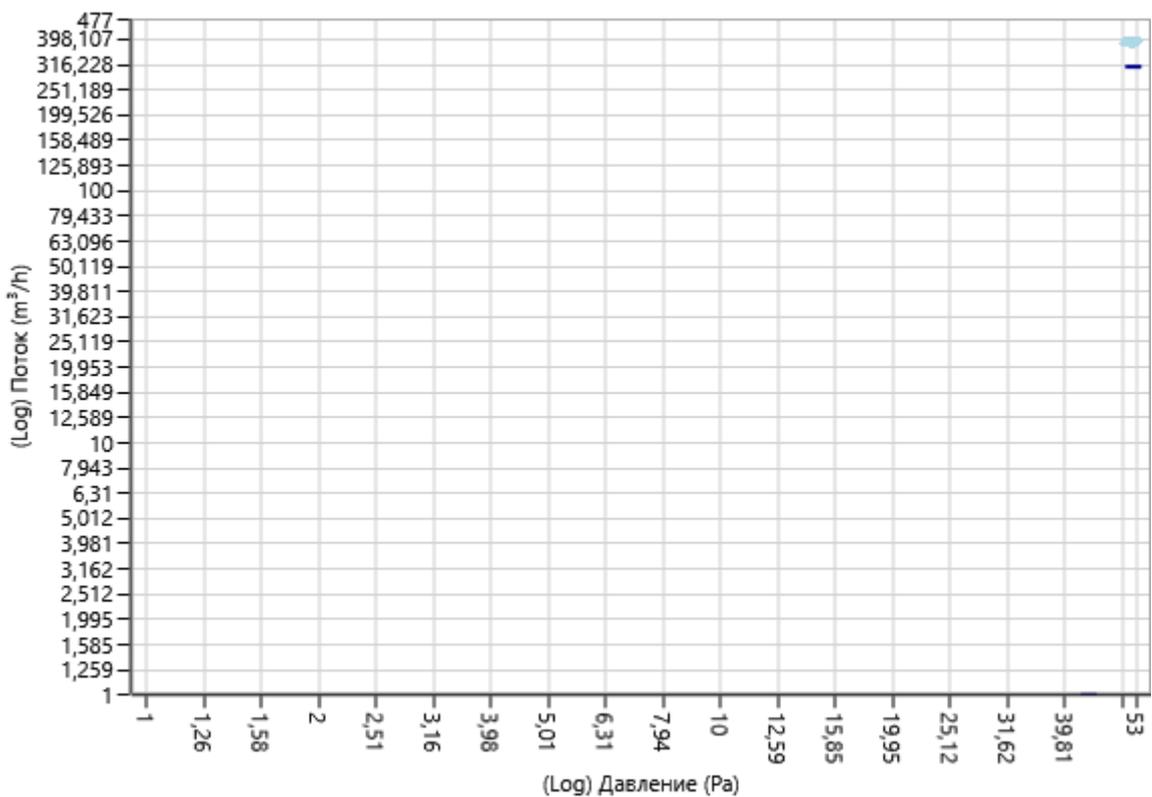


**Рис. 2.3.10.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение первого этажа.

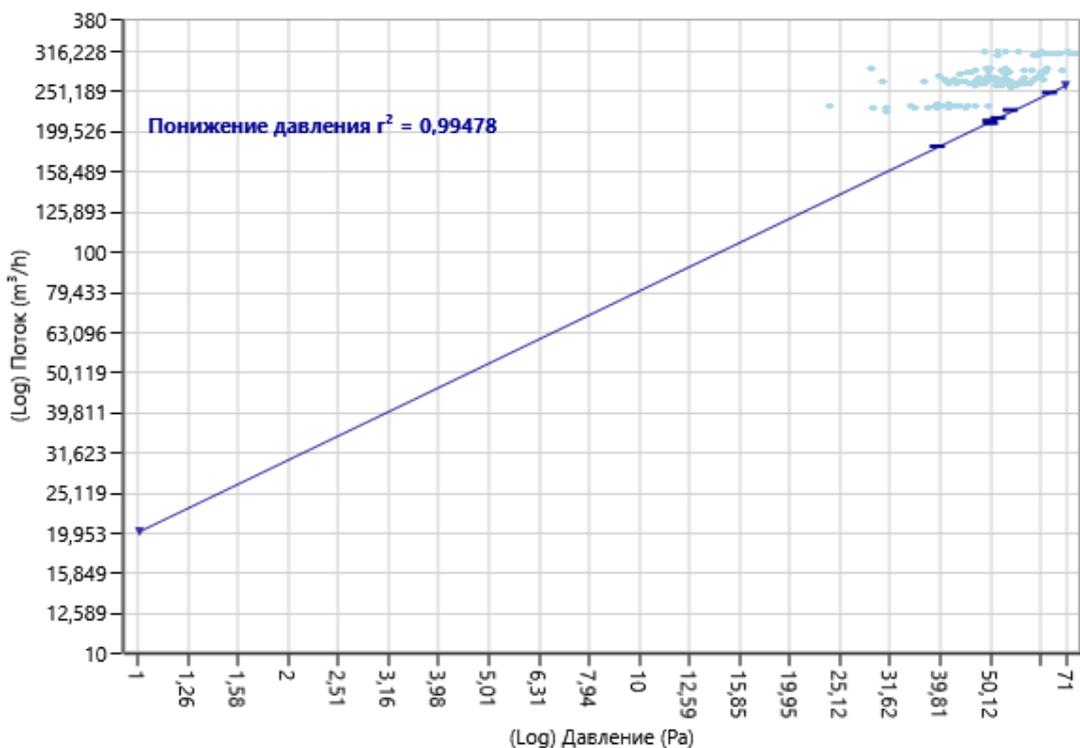


**Рис. 2.3.11.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение второго этажа.

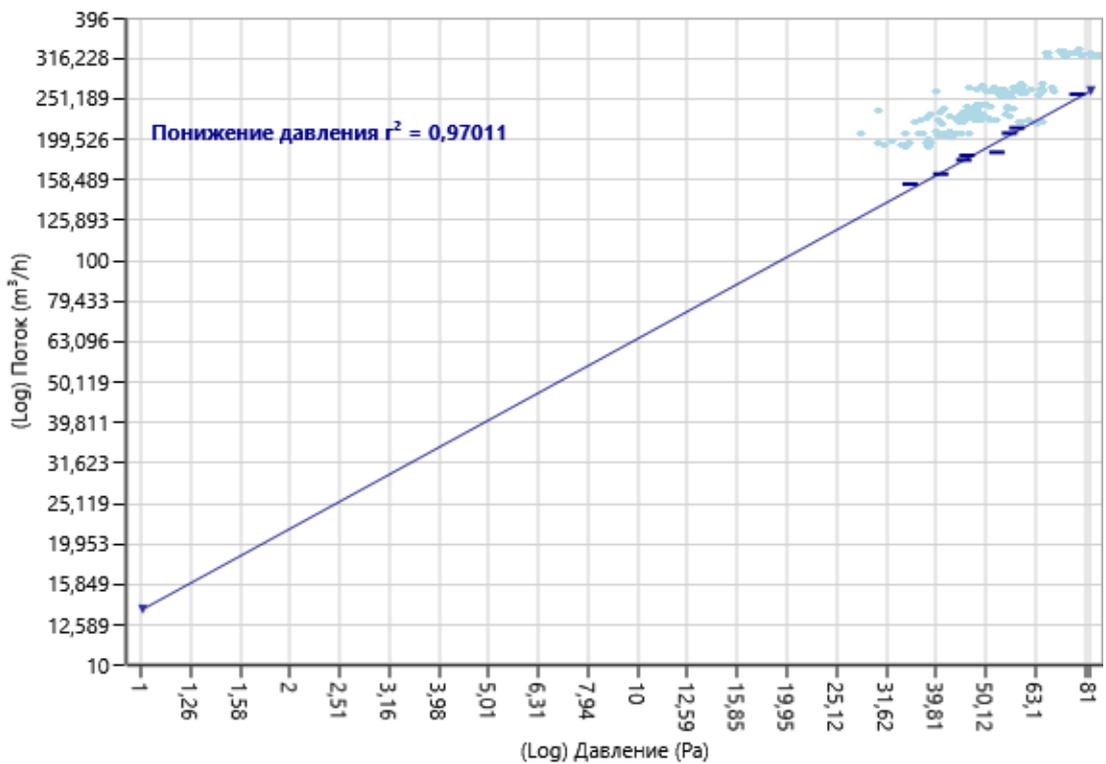




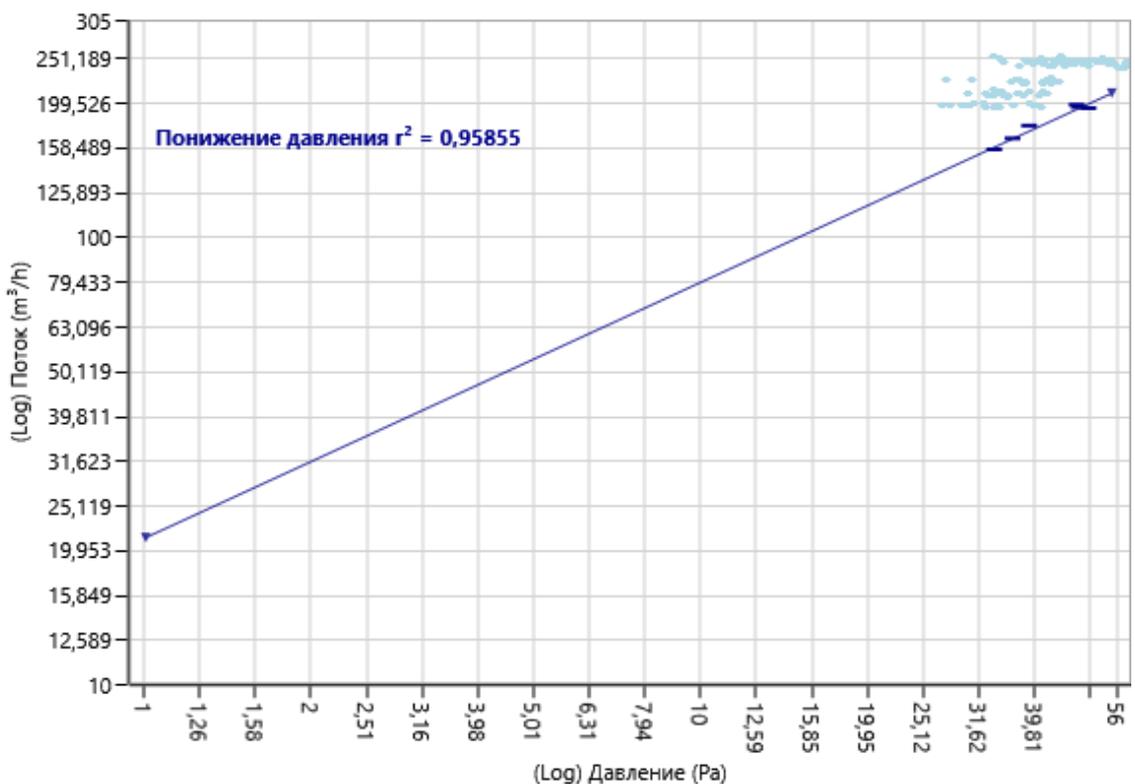
**Рис. 2.3.14.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение пятого этажа.



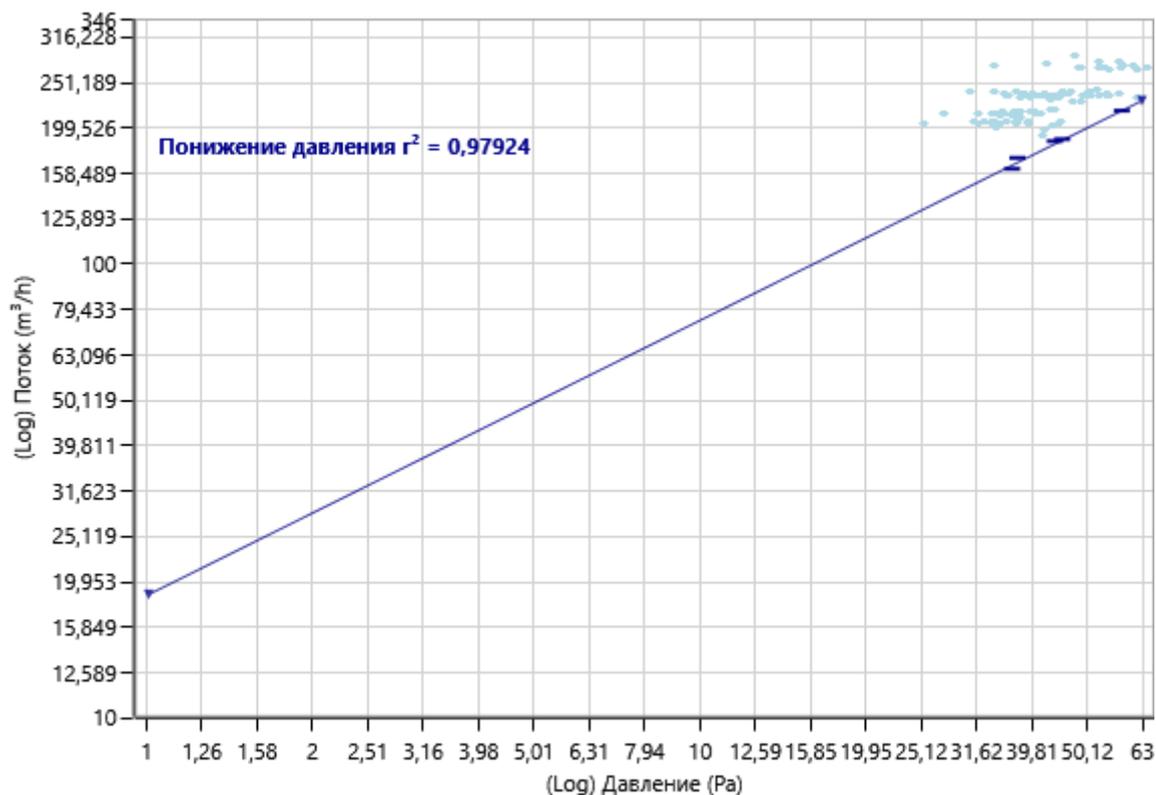
**Рис. 2.3.15.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение шестого этажа.



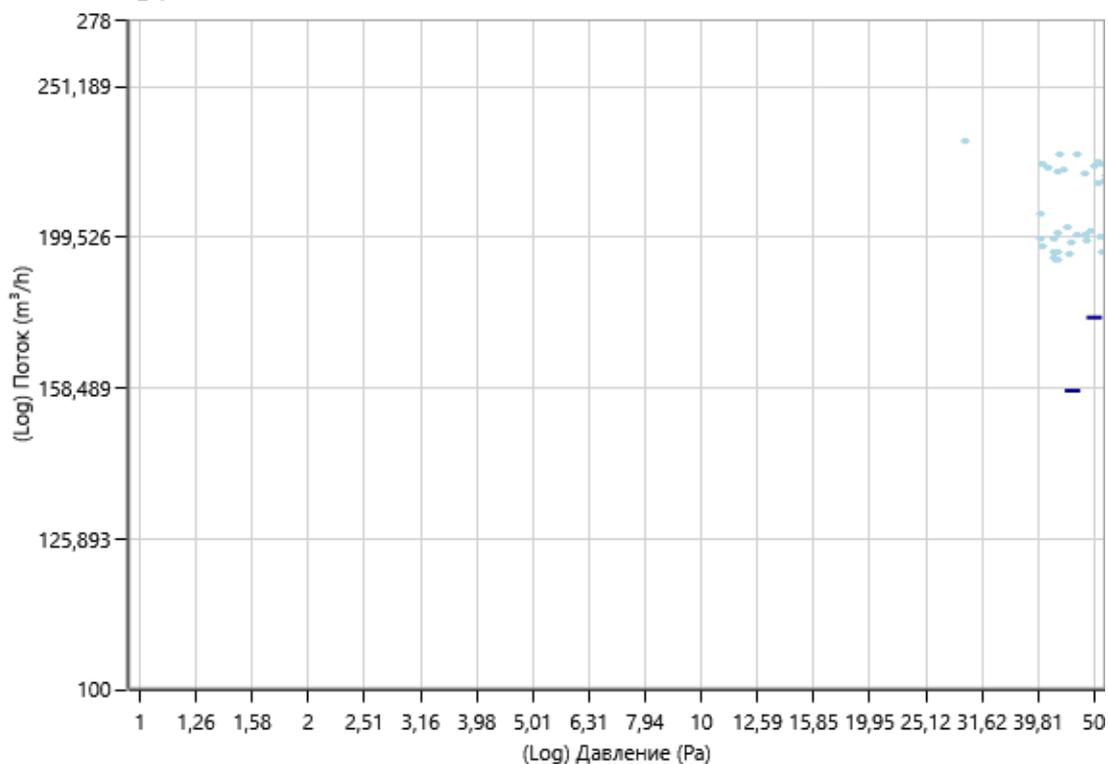
**Рис. 2.3.16.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение седьмого этажа.



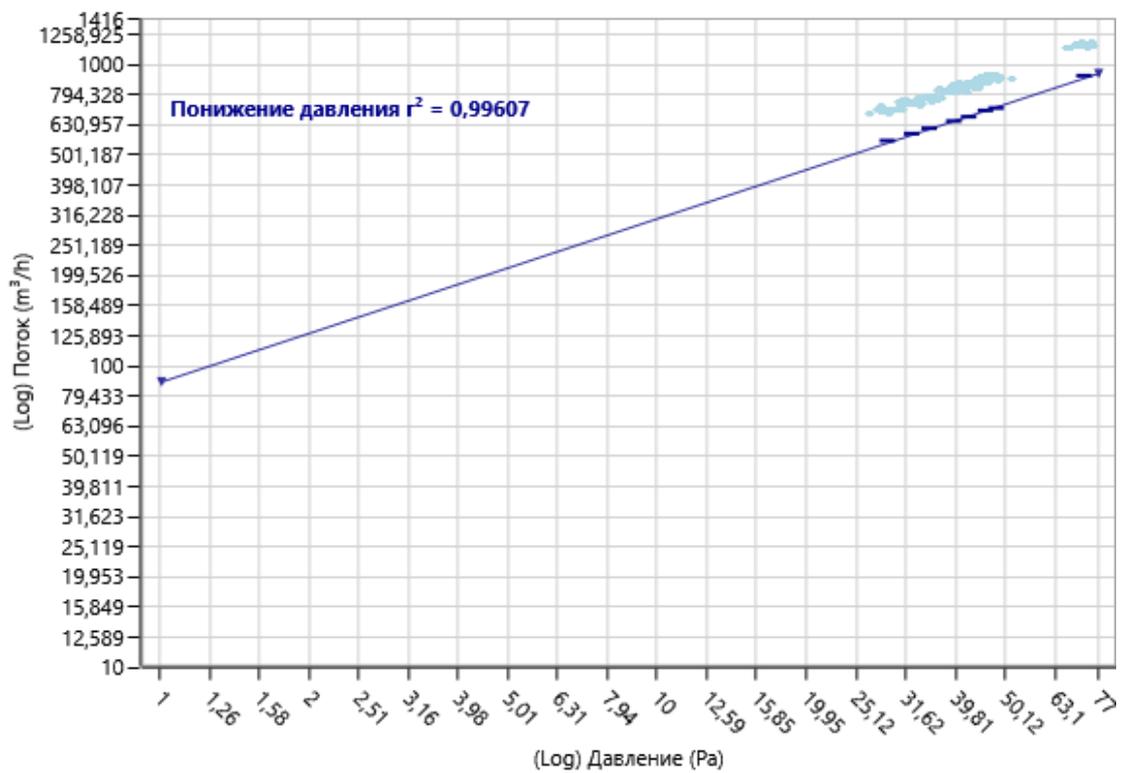
**Рис. 2.3.17.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение восьмого этажа.



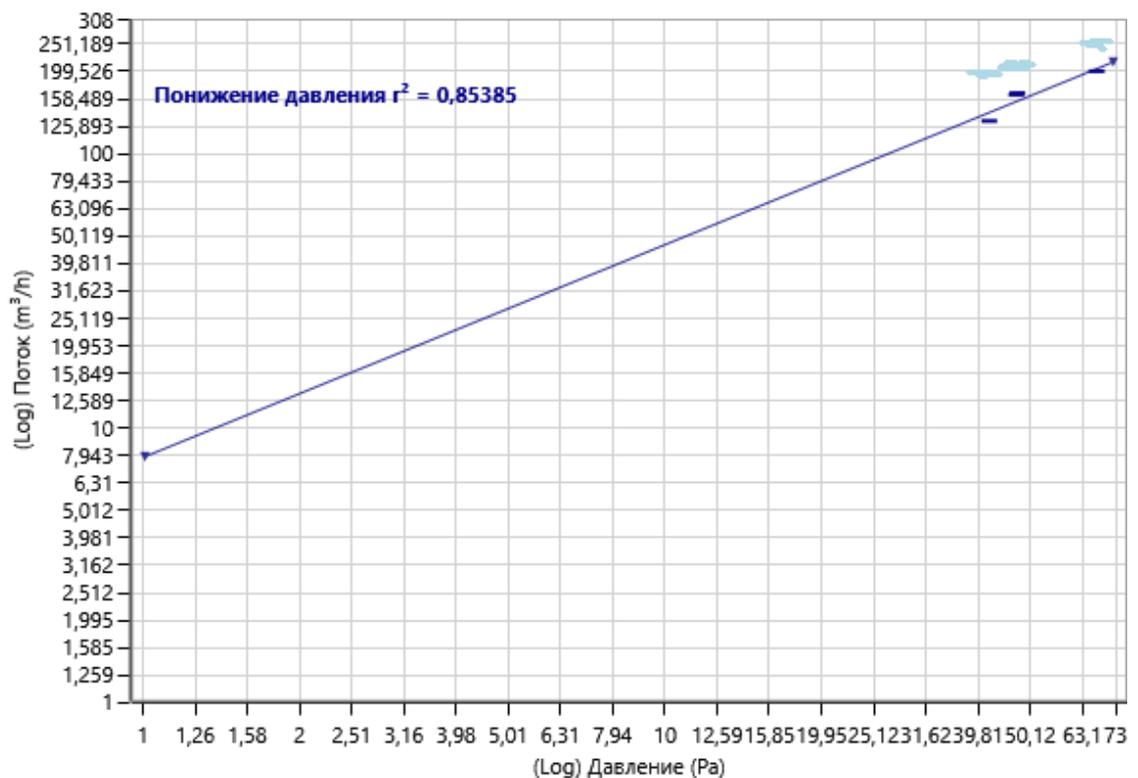
**Рис. 2.3.18.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение девятого этажа.



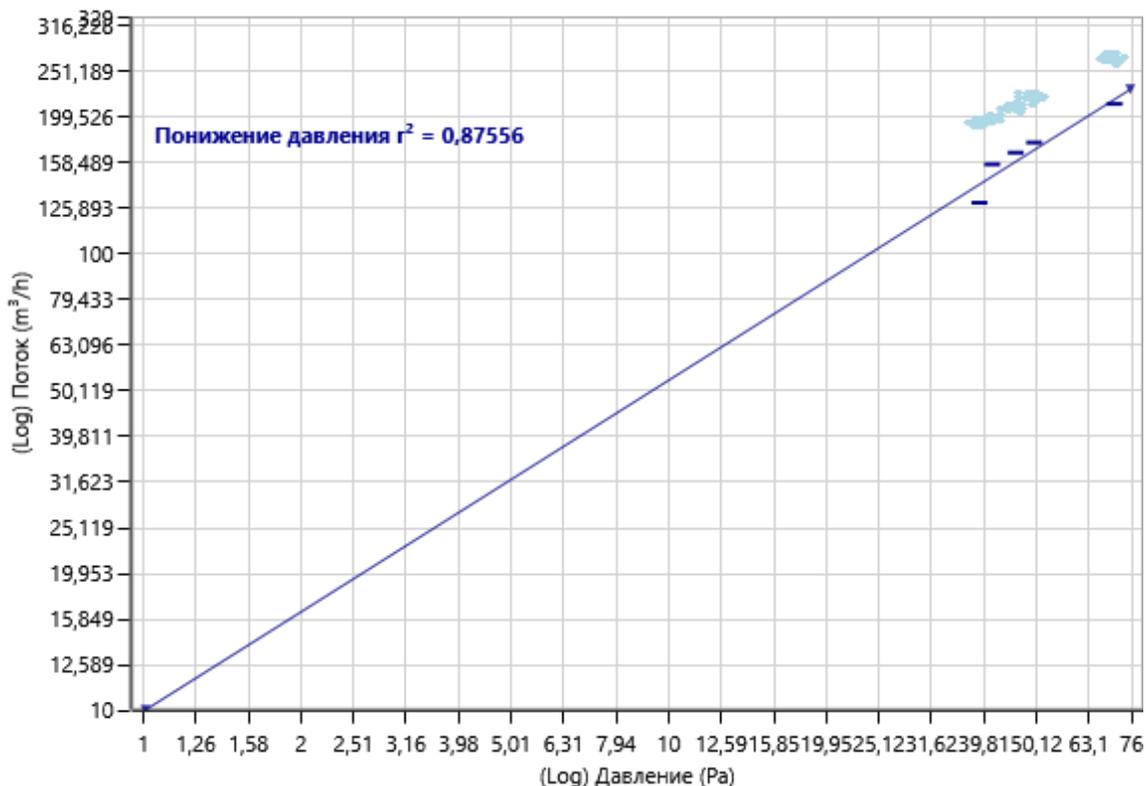
**Рис. 2.3.19.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение десятого этажа.



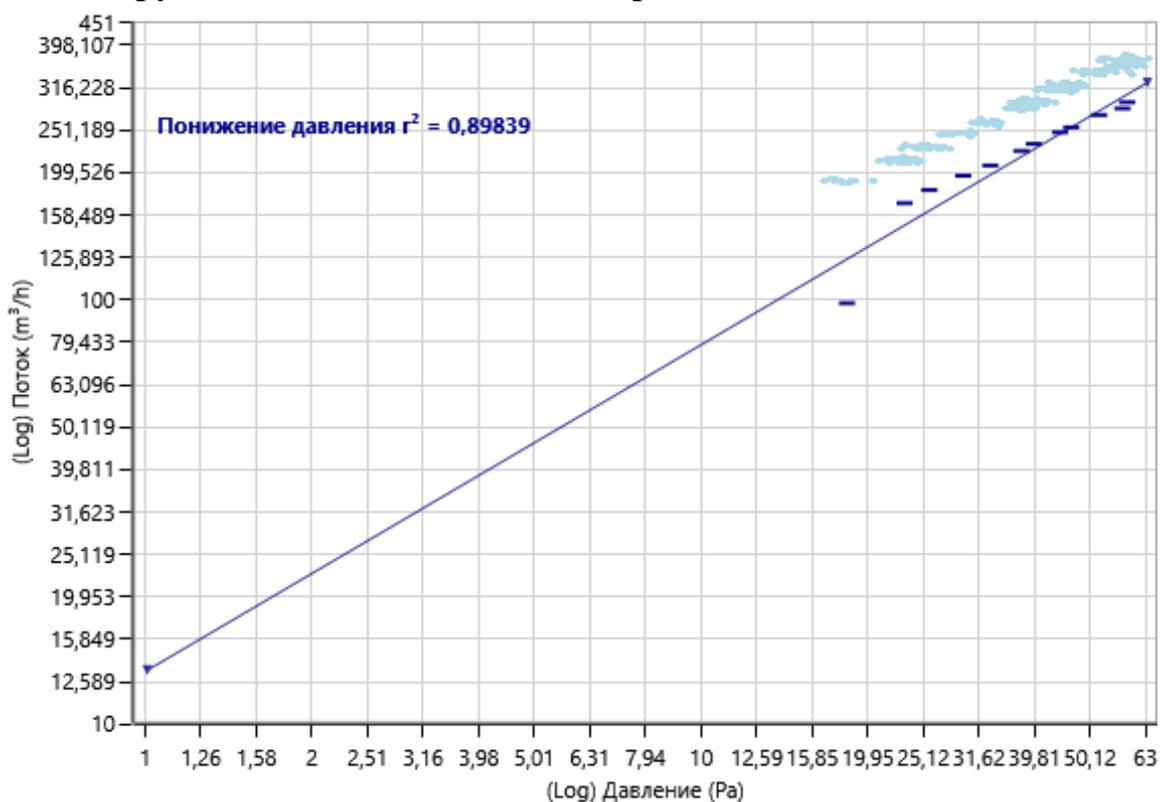
**Рис. 2.3.20.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение одиннадцатого этажа.



**Рис. 2.3.21.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение двенадцатого этажа.



**Рис. 2.3.22.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение тринадцатого этажа.



**Рис. 2.3.23.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение четырнадцатого этажа.

На основании установленных перепадах давления и расхода воздуха по формулам 2.3.1-2.3.3 определяются значения параметров воздухопроницаемости (коэффициент фильтрации и эффективный коэффициент сопротивления) воздуха через ограждающую конструкцию полученные данные отражены в таблице 2.3.11.

**Таблица 2.3.26**

**Вычисленные коэффициенты ограждающей конструкции**

Номер помещения	Скорость фильтрации $v$ м/с	Средний коэффициент фильтрации $k$ м/с	Эффективный коэффициент сопротивления $\xi$
1	$0,3 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$92,59 \cdot 10^3$
2	$0,294 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$9,64 \cdot 10^6$
3	$0,247 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$13,66 \cdot 10^6$
4	$0,103 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$78,74 \cdot 10^6$
5	$0,258 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$12,52 \cdot 10^6$
6	$0,185 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$24,33 \cdot 10^6$
7	$0,165 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$30,58 \cdot 10^6$
8	$0,178 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$26,31 \cdot 10^6$
9	$0,177 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$26,31 \cdot 10^6$
10	$0,133 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$47,17 \cdot 10^6$
11	$0,656 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$1,94 \cdot 10^6$
12	$0,150 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$37,04 \cdot 10^6$
13	$0,152 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$37,04 \cdot 10^6$
14	$0,238 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$14,71 \cdot 10^6$

3. Третьим объектом для обработки результатов выбран многоквартирный жилой дом по адресу Автодорожная 4/2 А; количество этажей-16. Вентилятор создает в помещении с площадью наружных стен  $A=55$  м<sup>2</sup>, перепад давления между внутренним помещением и наружным воздухом.

Результаты испытаний, полученные при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па, приведены в таблицах 2.3.27-2.3.41. Графики с экспериментальными данными и их аппроксимацией показаны на рисунках 2.3.24- 2.3.37.

Таблица 2.3.27

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение третьего этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	364,70	+/- 6	1,93	+/- 6 %	<2
Повышение давления	384,30	+/- 6	2,04	+/- 6 %	
Среднее	374,5	+/- 6	1,98	+/- 6 %	

Таблица 2.3.28

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение четвертого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	362,90	+/- 801%	1,92	+/- 801%	<2
Повышение давления	7432,49	+/- 801%	2,02	+/- 801%	
Среднее	3897,69	+/- 801%	1,97	+/- 801%	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно**

Таблица 2.3.29

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение пятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	599,15	+/- 0,95 %	3,82	+/- 0,95 %	<2
Повышение давления	604,86	+/- 0,95 %	3,85	+/- 0,95 %	
Среднее	602,01	+/- 0,95 %	3,83	+/- 0,95 %	

Таблица 2.3.30

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50****Па. Помещение шестого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	131,95	-	0,8	-	<2
Повышение давления	131,95	-	0,9	-	
Среднее	131,95	-	0,85	-	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.31

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50****Па. Помещение седьмого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	442,20	+/- 1,62 %	1,67	+/- 1,62 %	<2
Повышение давления	449,28	+/- 1,62 %	1,69	+/- 1,62 %	
Среднее	445,74	+/- 1,62 %	1,68	+/- 1,62 %	

Таблица 2.3.32

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50****Па. Помещение восьмого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	402,01	+/- 1,25 %	1,52	+/- 1,25 %	<2
Повышение давления	405,96	+/- 1,25 %	1,54	+/- 1,25 %	
Среднее	403,98	+/- 1,25 %	1,53	+/- 1,25 %	

Таблица 2.3.33

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение девятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	446,02	+/- 64,59 %	1,69	+/- 64,59 %	<2
Повышение давления	827,10	+/- 64,59 %	2,78	+/- 64,59 %	
Среднее	636,56	+/- 64,59 %	2,24	+/- 64,59 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.34

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение десятого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	746,46	+/- 2,18 %	2,83	+/- 2,18 %	<2
Повышение давления	762,91	+/- 2,18 %	2,86	+/- 2,18 %	
Среднее	754,68	+/- 2,18 %	2,84	+/- 2,18 %	

Таблица 2.3.35

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение одиннадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	895,45	+/- 1,55 %	5,7	+/- 1,55 %	<2
Повышение давления	909,47	+/- 1,55 %	5,79	+/- 1,55 %	
Среднее	902,46	+/- 1,55 %	5,74	+/- 1,55 %	

Таблица 2.3.36

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение двенадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	913,75	+/- 1,16 %	5,82	+/- 1,16 %	<2
Повышение давления	924,42	+/- 1,16 %	5,89	+/- 1,16%	
Среднее	919,08	+/- 1,16 %	5,86	+/- 1,16 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.37

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение тринадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	942,11	+/- 2,99 %	6,00	+/- 2,99 %	<2
Повышение давления	970,68	+/- 2,99 %	6,18	+/- 2,99 %	
Среднее	956,39	+/- 2,99 %	6,09	+/- 2,99 %	

Таблица 2.3.38

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение четырнадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, n50		Требование норматива СП 50.13330.2012, n50, не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	час-1
Понижение давления	953,55	+/- 2,45 %	6,07	+/- 2,45 %	<2
Повышение давления	977,24	+/- 2,45 %	6,22	+/- 2,45 %	
Среднее	965,39	+/- 2,45 %	6,15	+/- 2,45 %	

Таблица 2.3.39

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение пятнадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, $n_{50}$		Требование норматива СП 50.13330.2012, $n_{50}$ , не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	183,47	+/- 10,79 %	0,99	+/- 10,79 %	<2
Повышение давления	204,14	+/- 10,79 %	1,12	+/- 10,79 %	
Среднее	193,81	+/- 10,79 %	1,06	+/- 10,79 %	

**Вывод: в этом помещении оборудование работало некорректно.**

Таблица 2.3.40

**Воздухообмен при разности давлений наружного и внутреннего воздуха 50 Па. Помещение шестнадцатого этажа.**

	Объемный расход воздуха при разности давлений $\Delta P = 50$ Па		Кратность воздухообмена при разности давлений $\Delta P = 50$ Па, $n_{50}$		Требование норматива СП 50.13330.2012, $n_{50}$ , не более
	м3/час	погрешность	час-1	погрешность	
Понижение давления	951,80	+/- 2,39 %	6,06	+/- 2,39 %	<2
Повышение давления	974,84	+/- 2,39 %	6,2	+/- 2,39 %	
Среднее	963,32	+/- 2,39 %	6,13	+/- 2,39 %	

Средняя воздухопроницаемость ограждающих конструкций при закрытых вентиляционных каналах в испытанных помещениях здания и разности давлений внутреннего и наружного воздуха 50 Па обеспечивает воздухообмен кратностью:  $n_{50} = 0,85 - 6,15$  ч<sup>-1</sup>

Воздухопроницаемость конструкций и кратность воздухообмена в испытанных помещениях соответствует нормативным требованиям в помещениях 3,8,7 этажа, в помещениях 4,6,9,12,15 оборудование работало некорректно, на 5,10,11,13,14,16 этаже кратность воздухообмена не соответствует нормам.

## Результаты испытаний воздухопроницаемости

№ п/п	Помещение	Кратность воздухообмена n 50 (ч-1) при P= 50 Па		
		Требования норматива	Результаты измерений	Заключение
1	Помещение 3 этажа	<2	1,98	Соответствует
2	Помещение 4 этажа	<2	1,97	Некорректно (ошибка > 6 %)
3	Помещение 5 этажа	<2	3,83	Не соответствует
4	Помещение 6 этажа	<2	0,85	Некорректно (ошибка > 6 %)
5	Помещение 7 этажа	<2	1,68	Не соответствует
6	Помещение 8 этажа	<2	1,53	Не соответствует
7	Помещение 9 этажа	<2	2,24	Некорректно (ошибка > 6 %)
8	Помещение 10 этажа	<2	2,84	Не соответствует
9	Помещение 11 этажа	<2	5,74	Не соответствует
10	Помещение 12 этажа	<2	5,86	Некорректно (ошибка > 6 %)
11	Помещение 13 этажа	<2	6,09	Не соответствует
12	Помещение 14 этажа	<2	6,15	Не соответствует
13	Помещение 15 этажа	<2	1,06	Некорректно (ошибка > 6 %)
14	Помещение 16 этажа	<2	6,13	Не соответствует

Из таблицы видно, что во многих помещениях кратность воздухообмена не соответствует нормам воздухопроницаемости, связано это с повышенной инфильтрацией «НОК».

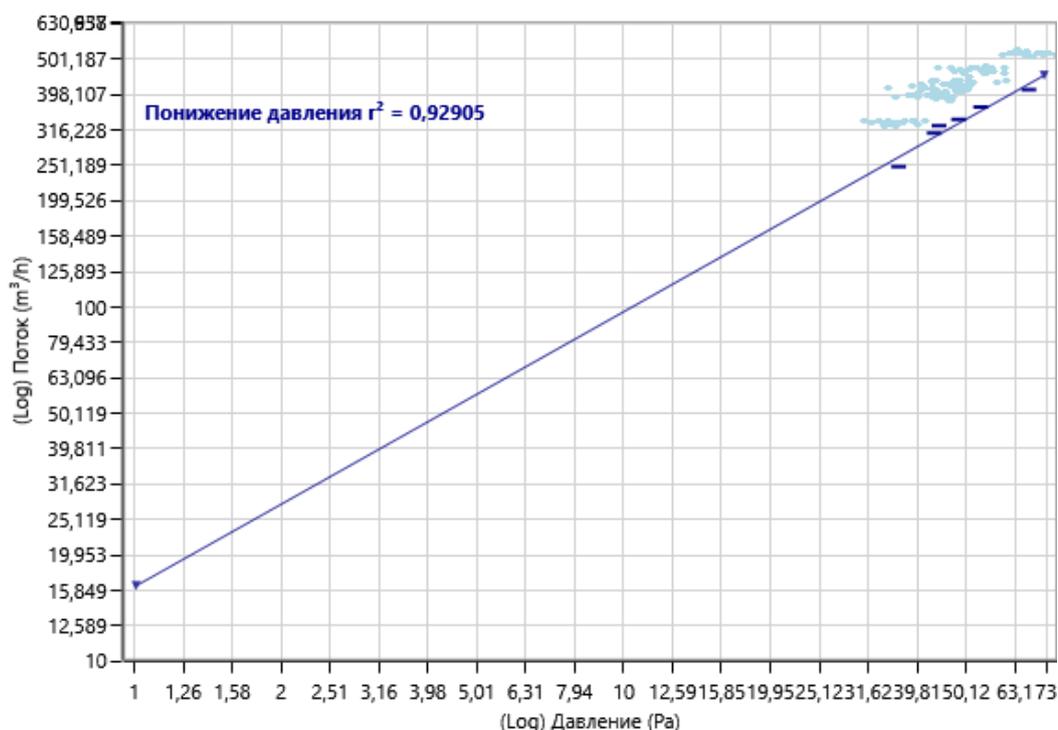
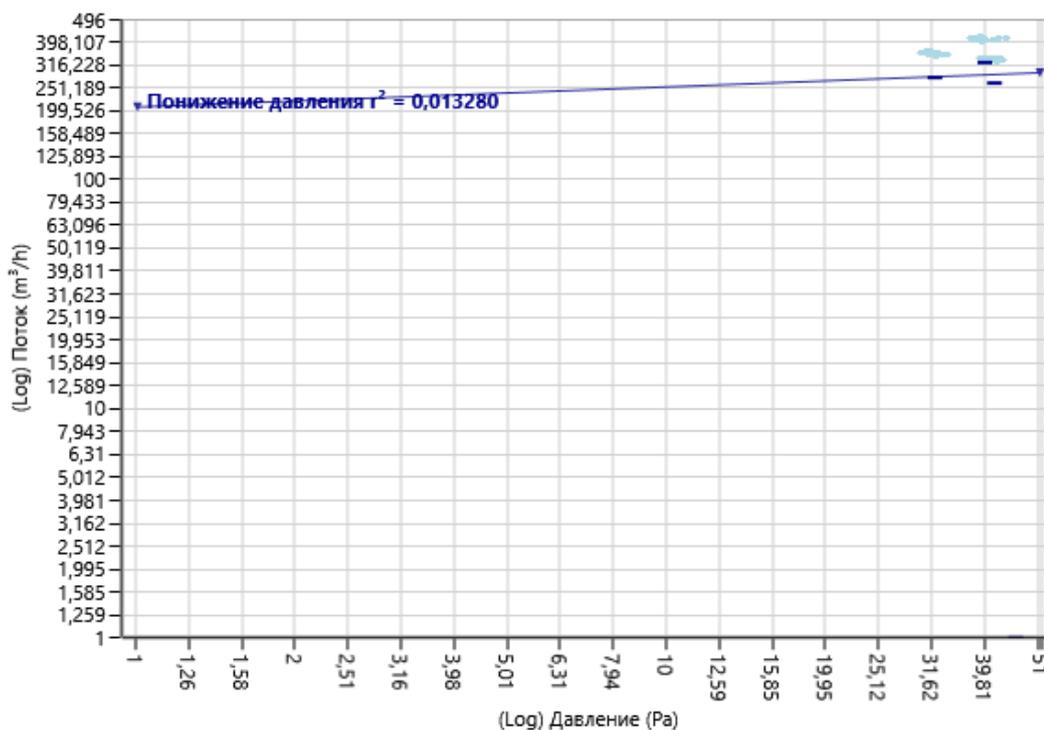
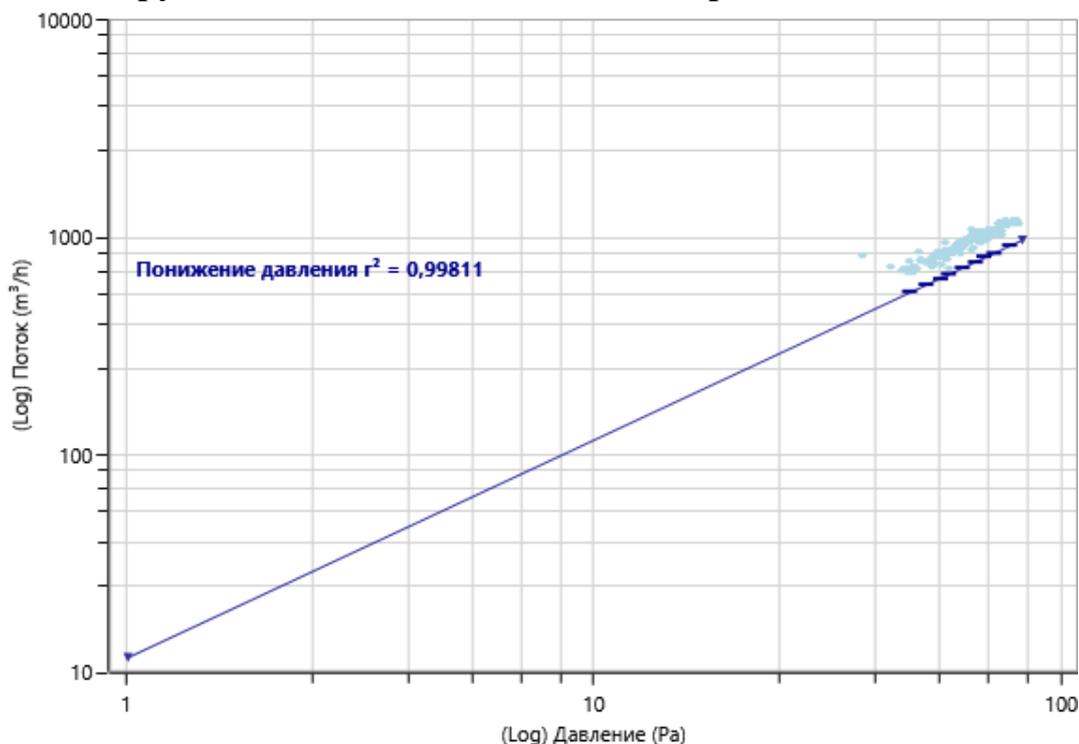


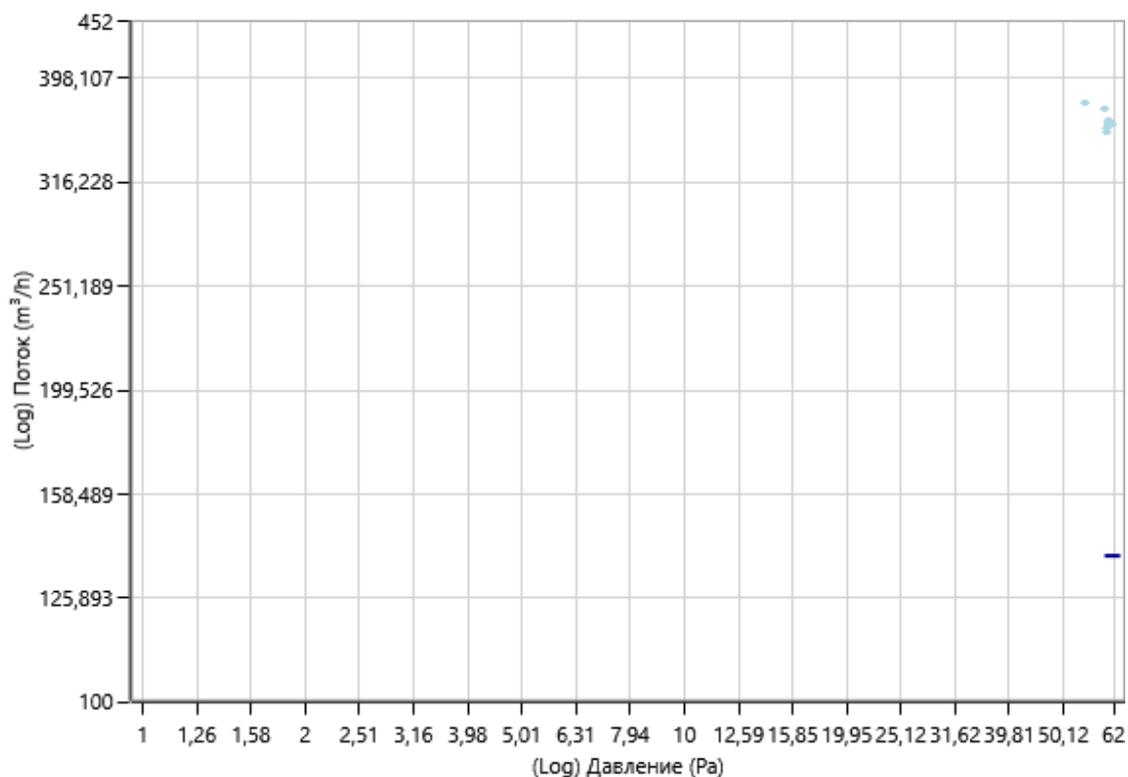
Рис. 2.3.24. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение третьего этажа.



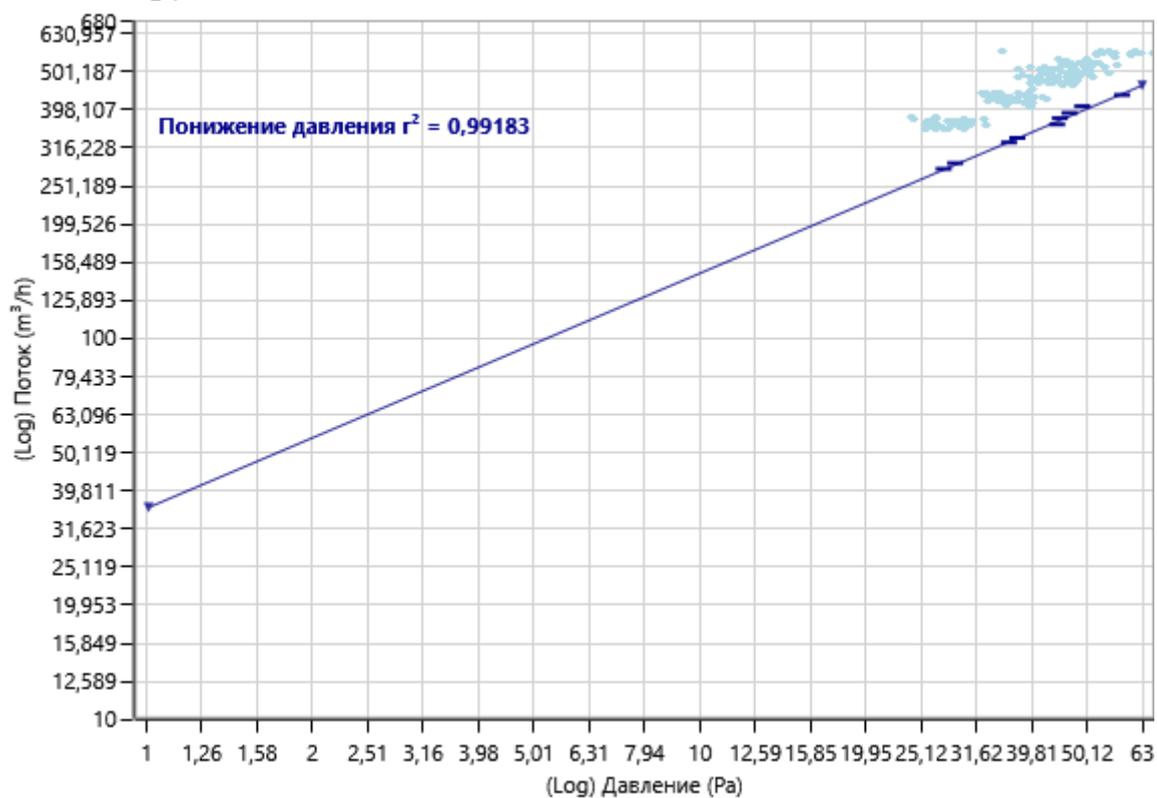
**Рис. 2.3.25.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение четвертого этажа.



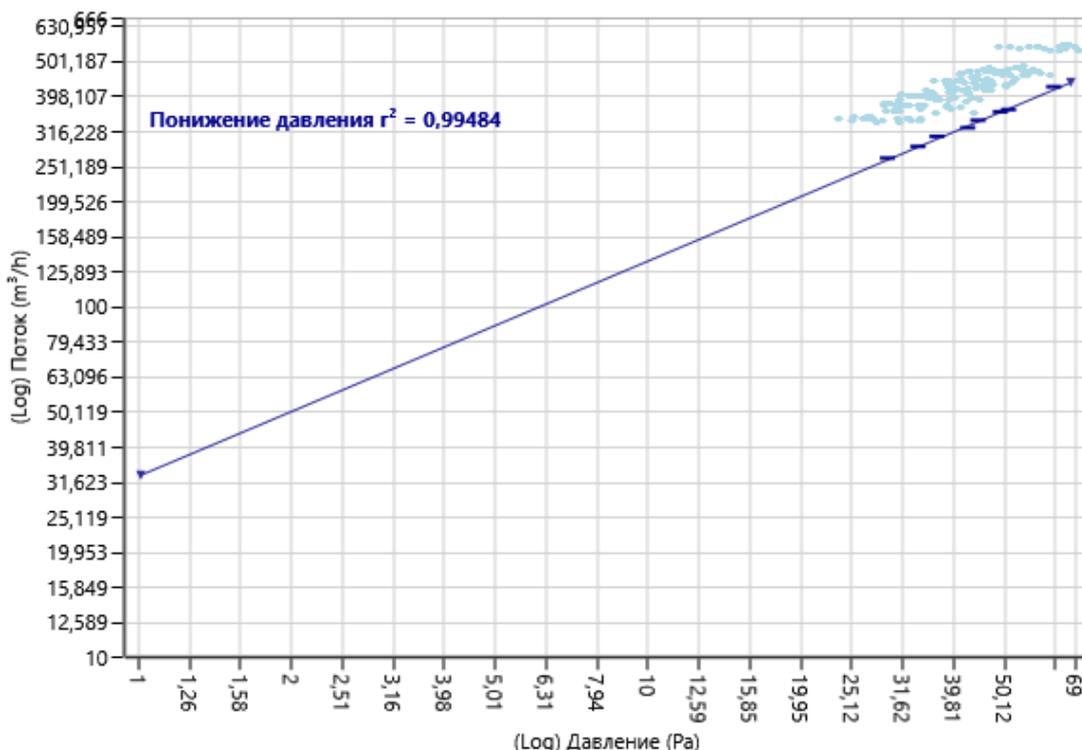
**Рис. 2.3.26.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение пятого этажа.



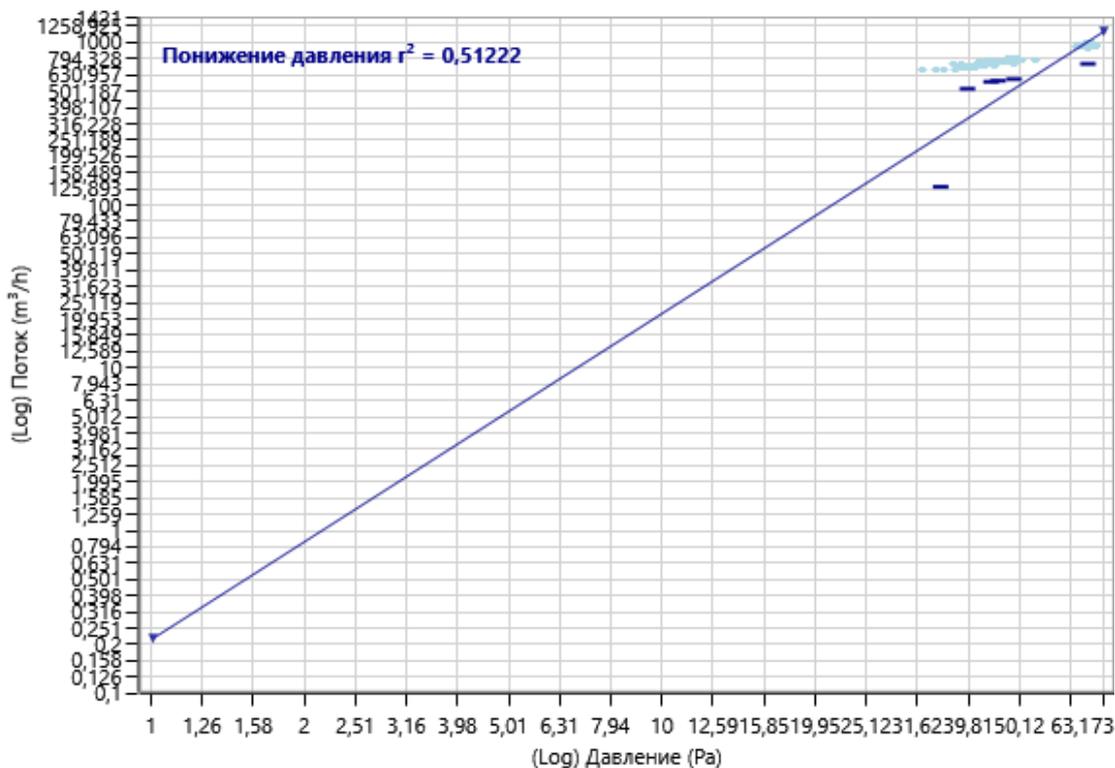
**Рис. 2.3.27. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение шестого этажа.**



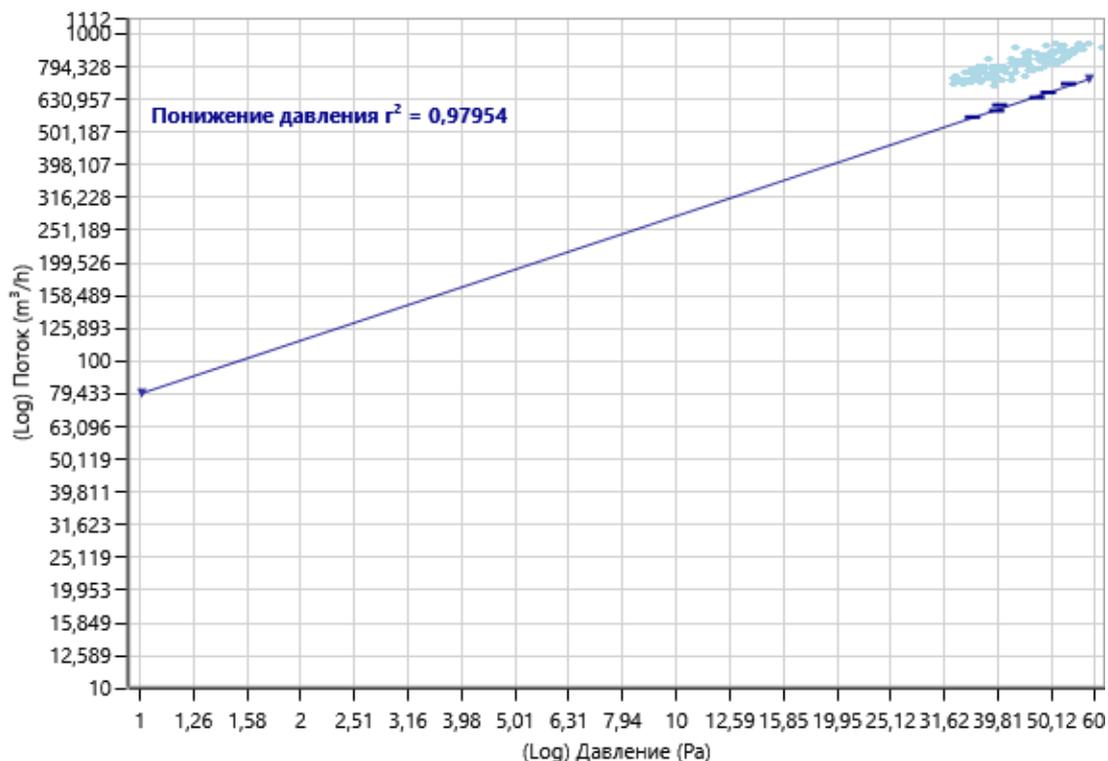
**Рис. 2.3.28. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение седьмого этажа.**



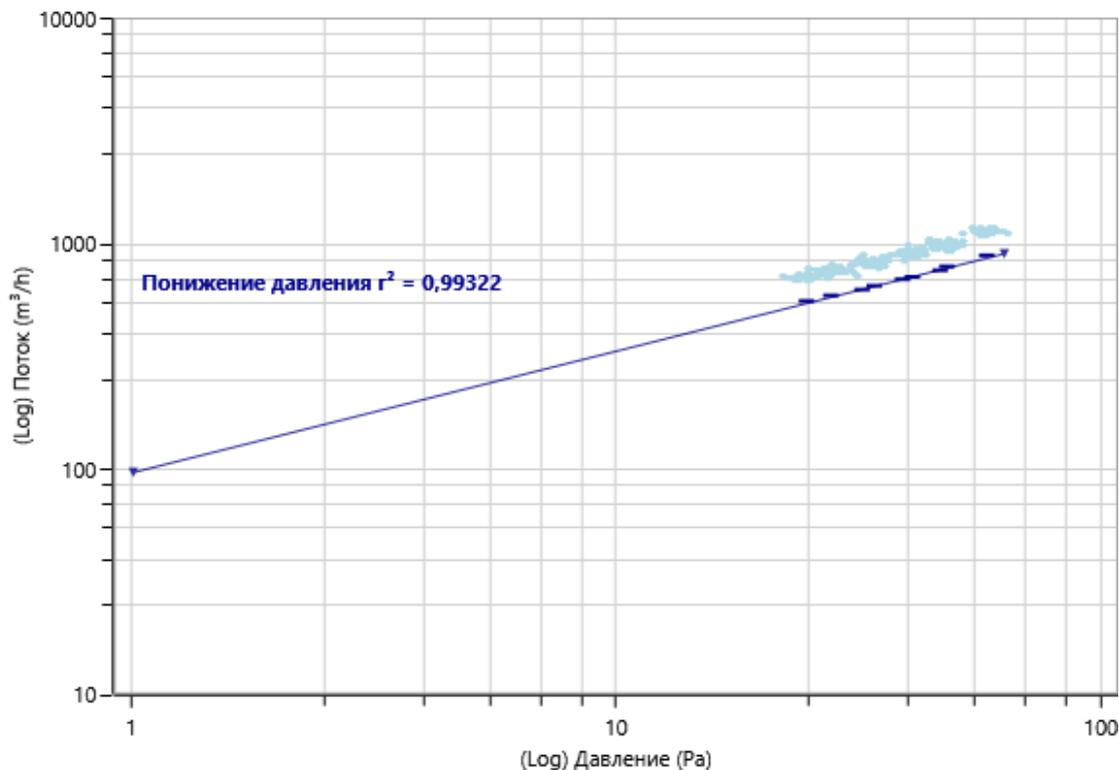
**Рис. 2.3.29.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение восьмого этажа.



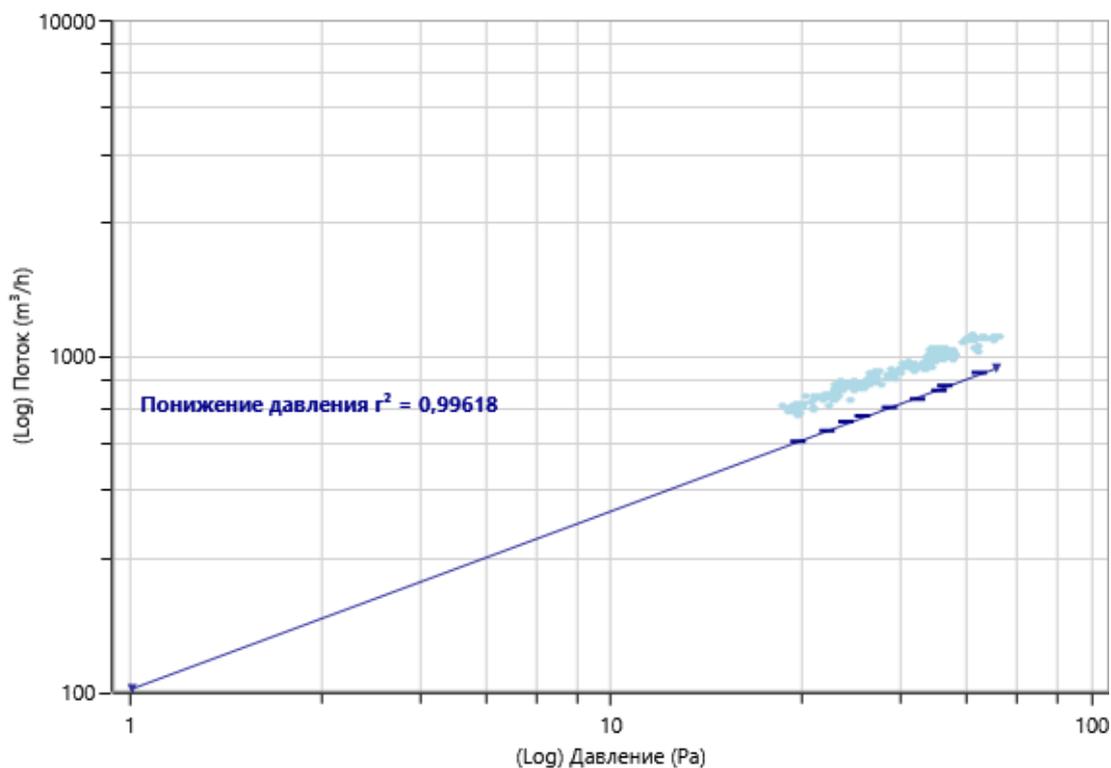
**Рис. 2.3.30.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение девятого этажа.



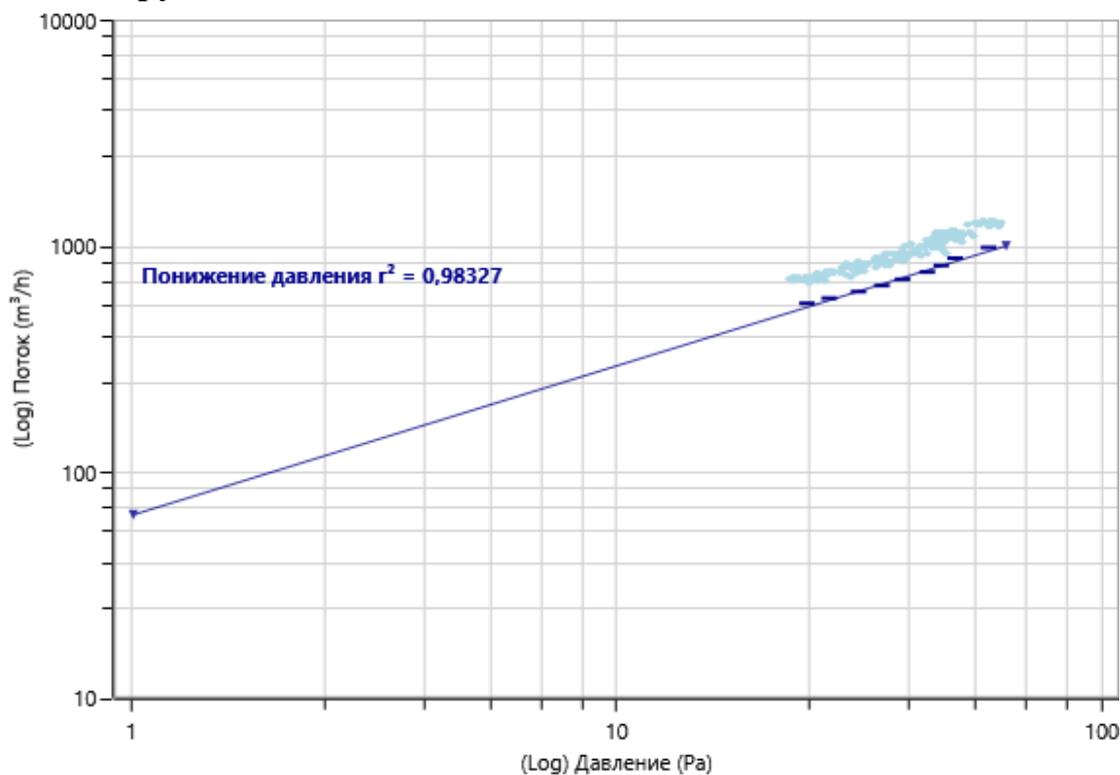
**Рис. 2.3.31. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение десятого этажа.**



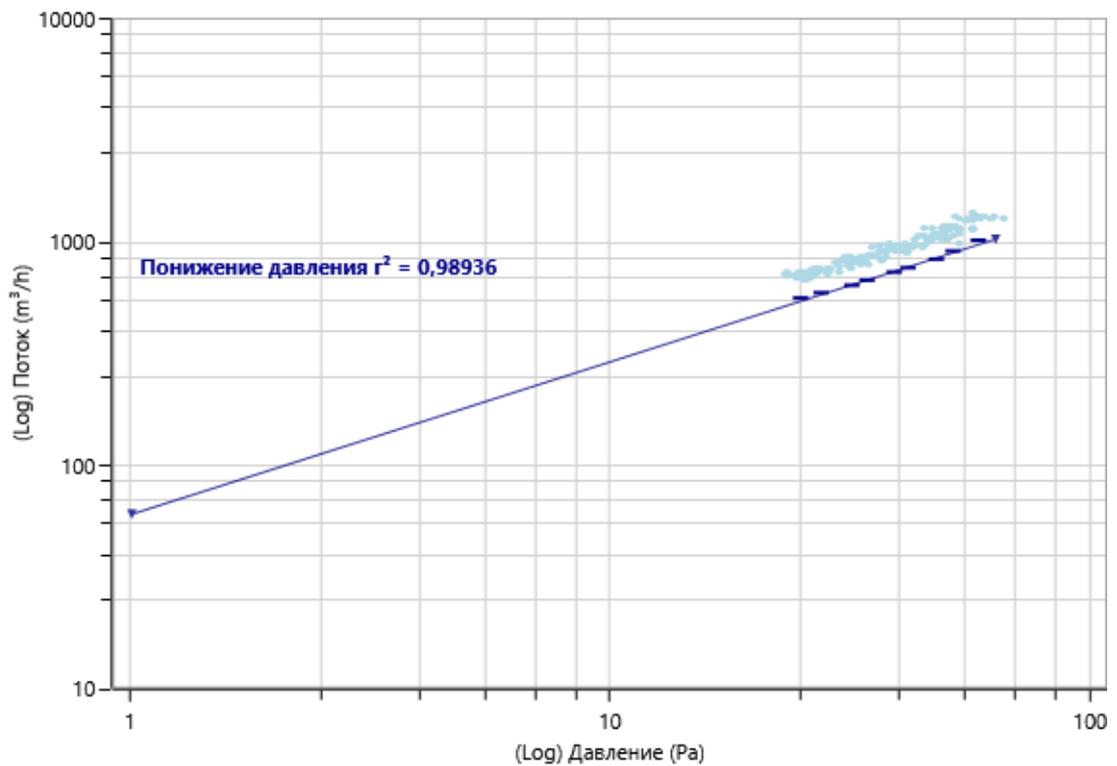
**Рис. 2.3.32. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение одиннадцатого этажа.**



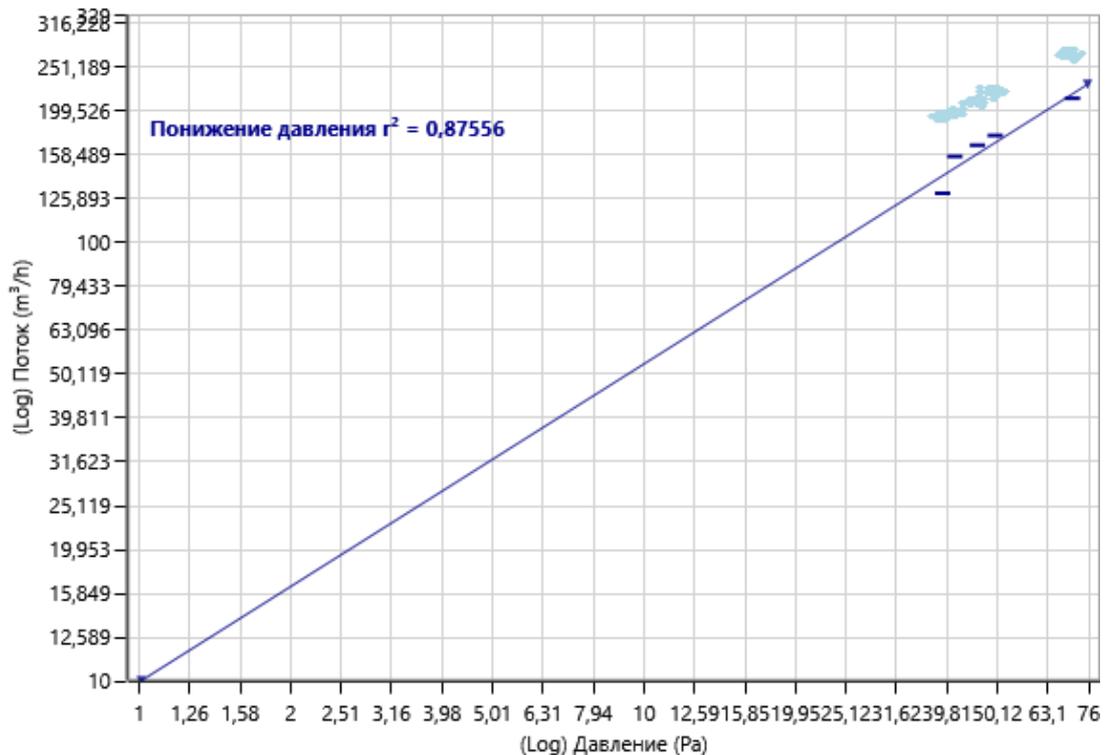
**Рис. 2.3.33. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение двенадцатого этажа.**



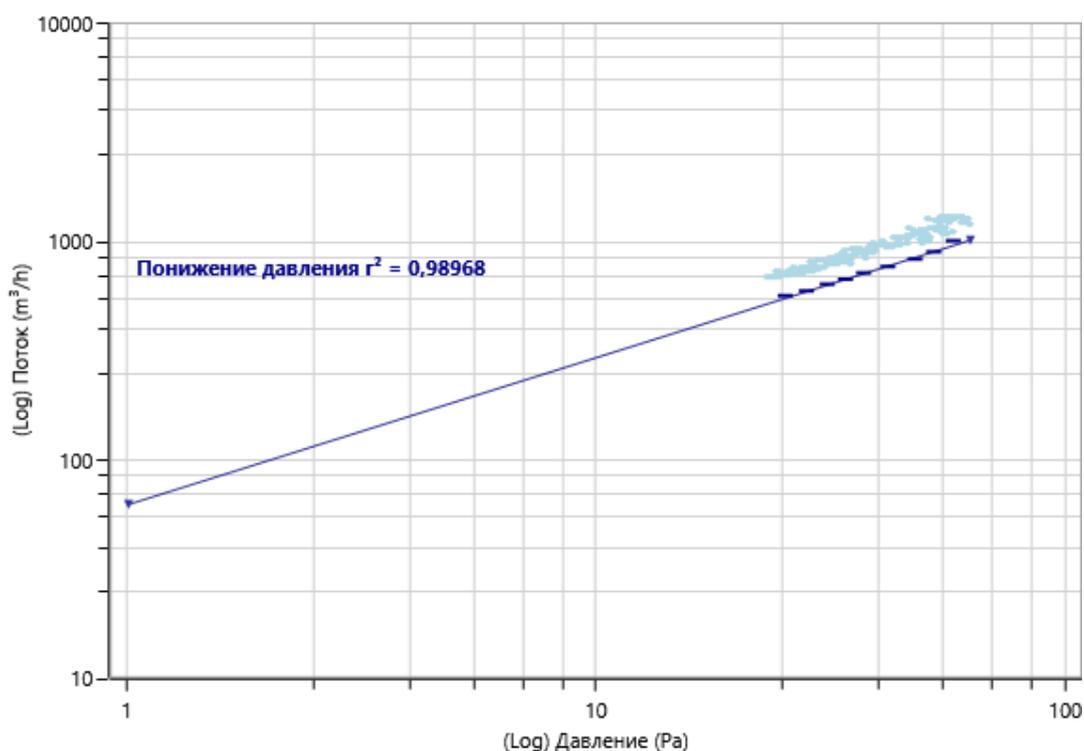
**Рис. 2.3.34. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение тринадцатого этажа.**



**Рис. 2.3.35.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение четырнадцатого этажа.



**Рис. 2.3.36.** График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение пятнадцатого этажа.



**Рис. 2.3.37. График зависимости объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной. Помещение шестнадцатого этажа.**

По формулам 2.3.1-2.3.3 определяются значения параметров воздухопроницаемости и заносятся в таблицу 2.3.42.

**Таблица 2.3.42**

**Вычисленные коэффициенты ограждающей конструкции**

Номер помещения	Скорость фильтрации $v$ м/с	Средний коэффициент фильтрации $k$ м/с	Эффективный коэффициент сопротивления $\xi$
3	$0,189 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$23,31 \cdot 10^6$
4	$0,197 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$21,46 \cdot 10^4$
5	$0,304 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$9,02 \cdot 10^6$
6	$0,665 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$188,6 \cdot 10^6$
7	$0,225 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$16,44 \cdot 10^6$
8	$0,204 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$20,04 \cdot 10^6$
9	$0,321 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$8,06 \cdot 10^6$
10	$0,381 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$5,74 \cdot 10^6$
11	$0,456 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$4,01 \cdot 10^6$
12	$0,464 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$3,88 \cdot 10^6$
13	$0,483 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$3,58 \cdot 10^6$
14	$0,488 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$3,58 \cdot 10^6$
15	$0,979 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$86,95 \cdot 10^6$
16	$0,487 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$3,58 \cdot 10^6$

## 2.4. Вывод по главе 2.

В результате экспериментальных данных установлено что:

1. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций при закрытых вентиляционных каналах в испытанных помещениях здания и разности давлений внутреннего и наружного воздуха 50 Па обеспечивает воздухообмен кратностью:  $n_{50} = 0.67$  до 11,76 .

2. Воздухопроницаемость конструкций и кратность воздухообмена в испытанных помещениях в большинстве своем не соответствует нормативным требованиям, а также из-за не герметичности конструкции окон и наружных стен оборудование не может полностью корректно измерить результат.

3. Эффективный коэффициент сопротивления экспериментально исследованных конструкций постепенно снижается в зависимости от высоты этажа.

4. В некоторых помещениях оборудование работало некорректно вследствие инфильтрации наружного воздуха через оконные проемы и наружные ограждения, а также в связи с открытием двери лифтовой шахты.

5. Исходя из графиков, видна зависимость объемного расхода воздуха через ограждающую конструкцию от разности давлений между испытываемым объемом и наружной стеной, в помещении.

## Глава 3. Практическая часть.

### 3.1. Оптимизация тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий.

В условиях растущего дефицита и постоянного подорожания энергоносителей очень актуальным является поиск путей снижения расхода тепловой энергии при отоплении зданий. Необходимость рационального использования и экономии топливно-энергетических ресурсов вызвана также тем, что большая часть территории нашей страны относится к климатическому району, отличающемуся продолжительным отопительным периодом. На практике предлагаются различные способы экономии энергии на теплоснабжение зданий: применение современных методов теплозащиты наружных ограждений, создание энергоэффективных зданий, улучшение энергетического баланса домов за счет пассивного использования энергии солнца, применение индивидуального автоматического оптимального регулирования энергопотребления.

Значительные резервы экономии тепловой энергии заключены также в рациональном архитектурном проектировании жилых и общественных зданий. В данном случае экономия может быть достигнута за счет выбора дифференцированных по сторонам света стен и размера окон, применением в жилых домах моторизованных утепленных ставней и ветроограждающих устройств и соответствующего выбора форм зданий. В данной статье рассмотрим вопросы оптимизации теплотерь в зданиях различной формы.

Как известно, чем больше наружная поверхность здания при одинаковом объеме его помещений, тем выше потери тепловой энергии здания. Это подтверждается известным соотношением теплопередачи через наружные стены, где потери тепла через расчётную наружную поверхность в единицу времени рассчитывается по формуле:

$$Q = k \cdot (t_{c1} - t_{c2}) \cdot S \quad (3.1.1.)$$

где  $Q$  - тепловой поток, (Вт);

$k$  - коэффициент теплопередачи,  $\left(\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}\right)$ ;

$t_{c1}, t_{c2}$  - температуры комнатой и уличной сред, ( $^\circ C$ );

$S$  - площадь наружной стены, ( $м^2$ ).

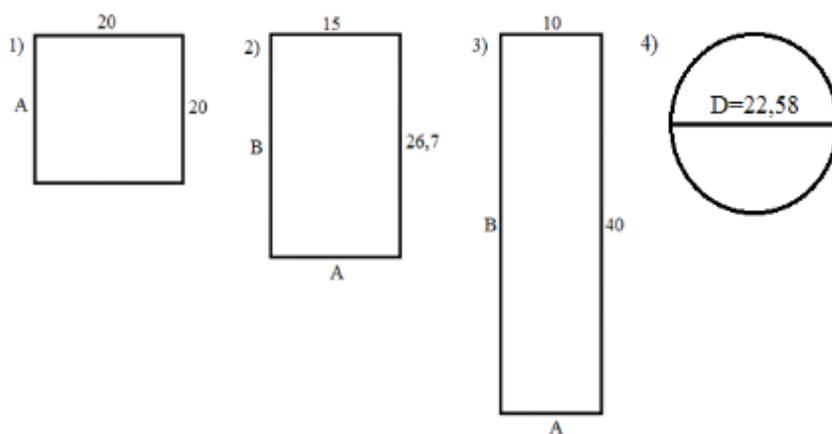
Во-первых, поставим и решим такую задачу - найти оптимальную форму конструкции дома при минимизации теплотерь через ограждающие конструкции (через ограждающие стены, пол и потолок). При анализе оптимизации теплотерь через ограждающие поверхности коэффициент теплопередачи через стенку ( $k$ ) и температуры сред в здании и на улице ( $t$ ) оставим постоянными. Простое аналитическое решение можно получить при оптимизации тепловых потерь в отапливаемых зданиях прямоугольной формы. В решения задачи можно варьировать сторонами здания (или пропорциями сторон здания), но оставляя одинаковыми объемы помещений сравниваемых зданий. Если для сравнения зданий взять одинаковыми высоту этажей, то вместо сравнения объемов помещений можно сравнивать одинаковые полезные площади зданий ( $S_{\text{полез}}$ ). Поэтому для анализа различных зданий и для нахождения оптимальной конструкции дома введено понятие эффективной геометрической конструкции дома ( $E$ ):

$$E = \frac{S_{\text{общая}}}{S_{\text{полез}}} \quad (3.1.2.)$$

где  $S_{\text{общая}}$  - общая площадь теплотерь,

$S_{\text{полез}}$  - полезная площадь здания.

Для сравнения возьмем и рассмотрим три простейших варианта здания прямоугольной формы: квадрат со стороной 20м, слабо вытянутый дом со сторонами 15х26,7 и сильно вытянутый вариант дома 10х40, но для сравнения возьмем одинаковые полезные площади зданий.



**Рисунок 3.1.1 - Варианты сравниваемых зданий**

Произведем расчет оптимальной геометрической конструкции домов. Для каждого предполагаемого дома будут одинаковые начальные условия: полезные площади зданий, равные  $S=400$  на одном этаже. Примем высоту здания  $h=15$ м, количество этажей  $N=5$  и крышу здания плоской.

Рассчитаем первый пример с квадратным основанием: общая площадь стен пяти этажей здания, через которые происходит теплопотери, равна

$$S_{общая} = 2 \cdot A^2 + 4 \cdot h \cdot A = 2000 \text{ м}^2 \quad (3.1.3.)$$

Полезная площадь здания пяти этажей равна:

$$S_{полез} = A^2 \cdot N = 2000 \text{ м}^2 \quad (3.1.4.)$$

Тогда эффективная геометрическая конструкция дома квадратной формы равна

$$E_{квадр} = \frac{2}{N} + \frac{4 \cdot h}{N \cdot A} = 1 \quad (3.1.5.)$$

Те же самые расчеты произведем для дома с прямоугольным основанием:

$$S_{общая} = 2 \cdot A \cdot B + 2 \cdot h \cdot (A + B) = 2050 \text{ м}^2$$

при той же полезной площади здания пяти этажей, равная:

$$S_{полез} = A^2 \cdot N = 2000 \text{ м}^2$$

Тогда эффективная геометрическая конструкция дома слабовытянутой прямоугольной формы равна

$$E_{\text{прямоуг}} = \frac{2}{N} + \frac{2 \cdot h \cdot (A + B)}{A \cdot B} = 1,025$$

В третьем примере для сильно вытянутого прямоугольника расчет выполним аналогично:

$$S_{\text{общая}} = 2 \cdot 10 \cdot 40 + 2 \cdot 15 \cdot (10 + 40) = 2300 \text{ м}^2$$

при полезной площади

$$S_{\text{полез}} = 10 \cdot 40 \cdot 5 = 2000 \text{ м}^2$$

Тогда эффективная геометрическая конструкция дома для сильно вытянутой прямоугольной формы равна

$$E_{\text{прямоуг}} = \frac{2}{5} + \frac{2 \cdot 15 \cdot (10 + 40)}{5 \cdot 10 \cdot 40} = 1,15$$

Пример № 4 здание цилиндрической формы:

$$S_{\text{общая}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 1864 \text{ м}^2$$

полезная площадь равна

$$S_{\text{общая}} = n \cdot \pi \cdot r^2 = 2001,19 \text{ м}^2$$

где  $n$  - количество этажей.

При этом эффективная геометрическая конструкция цилиндрического дома:

$$E_{\text{цилиндр}} = \frac{2 \cdot h + 2 \cdot r}{n \cdot r} = 0,931$$

Как видим из проведенного анализа, меняя форму конструкции здания можно изменить энергетическую эффективность дома: тогда при одинаковых полезных площадях зданий теплотери будут сильно меняться в зависимости от формы конструкции здания (в нашем примере на 15% теплотери увеличиваются в зданиях вытянутой формы).

Во-вторых, найдем эффективность геометрической конструкции дома в зависимости от этажности постройки. Для этого выразим формулу

эффективности геометрической конструкции дома для зданий прямоугольной формы в виде

$$E_{\text{прямоуг}} = \frac{2}{N} + \frac{2 \cdot h \cdot (A + B)}{N \cdot A \cdot B} \quad (3.1.6.)$$

Найдем эффективность геометрической конструкции дома для трех заданных нами построений в зависимости от количества этажей. Расчеты приведены в таблице 3.1.1.:

**Таблица 3.1.1.**

**Эффективность геометрической конструкции дома**

количество этажей	квадрат	прямоугольник №1	прямоугольник №2	цилиндр
1	2.6	2.625	2.75	2.531
5	1	1.025	1.15	0.931
10	0.8	0.825	0.95	0.731

Как видно из таблицы 3.1.1, во-первых, с увеличением этажности во всех формах зданий эффективность геометрической конструкции дома уменьшается, то есть теплопотери уменьшаются через ограждающие стенки. Во-вторых, при сравнении одноэтажных и десятиэтажных домов при одинаковой их полезной площади получим, что эффективность геометрической конструкции квадратного дома уменьшается в - 3,25 раза, слабо вытянутого дома - 3,18 раза, а сильно вытянутого дома - 2,89 раза.

В таблице 3.1.2. приведена эффективность геометрической конструкции домов в зависимости от площади основания и этажности:

**Таблица 3.1.2.**

**Эффективность геометрической конструкции домов в зависимости от площади и этажности прямоугольных домов**

Площадь основания	одноэтажный дом	пятиэтажный дом	десятиэтажный дом
20x20	2,6	1	0,8
40x40	2,3	0,7	0,5
80x80	2,15	0,55	0,35

**Таблица 3.1.3.****Эффективность геометрической конструкции домов в зависимости от площади и этажности цилиндрических домов**

Площадь основания м <sup>2</sup>	одноэтажный дом	пятиэтажный дом	десятиэтажный дом
400	2,531	0,931	0,731
1600	2,266	0,666	0,466
6400	2,133	0,533	0,333

С увеличением площади основания у всех строений уменьшается эффективность геометрической конструкции домов, то есть уменьшаются теплопотери. Этот показатель также уменьшается с увеличением этажности построений.

По формулам 3.1.3.-3.1.6. найдем эффективность конструкции для экспериментально выбранных домов и занесем данные в таблицу 3.1.4.

**Таблица 3.1.4.****Эффективность геометрической конструкции дома**

	Количество этажей	Форма строения	Эффективность конструкции
Губина 5/1	9	Вытянутый прямоугольник	0,827
Чепалова 45	14	Квадрат	0,31
Автодорожная 4/2 А	16	Сглаженный квадрат	0,675

Как видно из таблицы геометрическая форма строения сильно влияет на эффективность конструкции и не всегда с увеличением этажности теплопотери дома становятся ниже.

**3.2. Угловые теплопотери.**

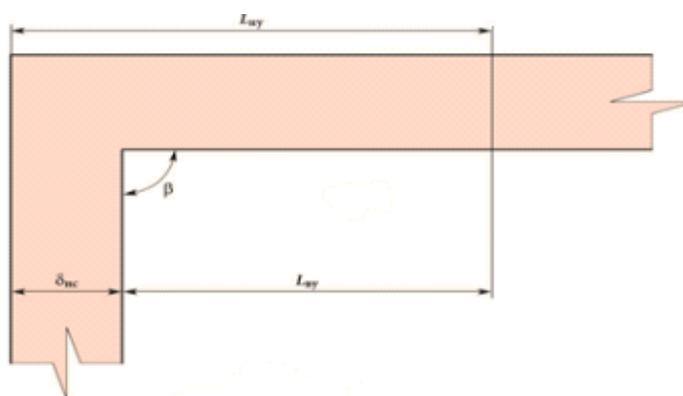
Результаты расчета и исследований полей температур в угловых частях стен с разными углами примыкания, представленные в работах К.Ф. Фокина [67] и В.Н. Богословского [9], указывают на, то что потери тепла в угловых частях больше, чем других плоскостях стенки. Это происходит по тому, что площадь теплоотдающей поверхности угловой части стены  $S_{ну}$  больше площади тепловоспринимающей поверхности  $S_{ву}$ . Эти теплопотери

учитываются в расчетах вертикальных ограждений в размере 5% для административно-бытовых, общественных и производственных зданий [9].

Примем толщину стен 0,5 метра с углами примыкания стен 45°, 90°, 135°

Определим значение  $S_{ну}/S_{ву}$  при углах  $\beta > 90^\circ$ ,  $\beta = 90^\circ$  и  $\beta < 90^\circ$ . За длину внутренней поверхности угла возьмем внутренний размер стены  $L_{ву} = 1$  м, именуемый как «гладь стены» [9].

При угле  $\beta = 90^\circ$  (рис. 3.2.1.) и толщине стены  $d_{нс}$  длина наружной стороны угла  $L_{ну} = L_{ву} + d_{нс} = 1 + d_{нс}$ , т.к.  $L_{ву} = 1$  м.



**Рисунок 3.2.1. - Принципиальная схема расчетов угол  $\beta=90^\circ$**

Площади теплоотдающей  $S_{ну}$  и тепловоспринимающей  $S_{ву}$  поверхностей угловой части стены равны соответствующему произведению длин на высоту стены. Так как отношения внешней площади стены к внутренней равна отношению длины внешней стены к внутренней, то в дальнейших расчетах будем пользоваться длинами стен. Например, при толщине  $d_{нс} = 0,5$  м отношение  $L_{ну}/L_{ву} = 1,5$ .

При угле  $\beta < 90^\circ$  (рис. 3.2.1.) можно записать:

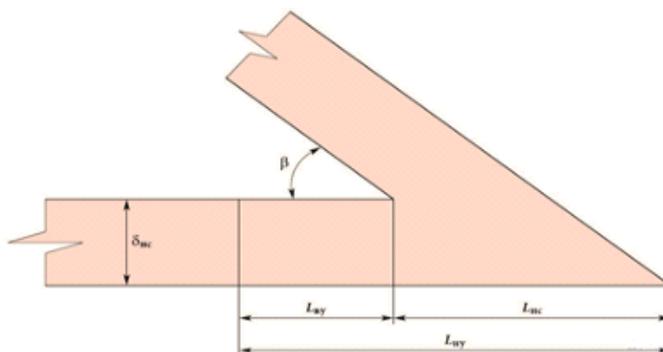
$$L_{ну} = L_{нс} + L_{ву} \quad (3.2.1.)$$

где  $L_{нс}$  - расстояние между внутренним и внешним углом.

Выразим  $L_{нс}$  через  $\text{tg}(\beta/2)$ :

$$L_{нс} = d_{нс} / [\text{tg}(\beta/2)] \quad (3.2.2.)$$

где  $\beta$  - угол между внешними стенами здания. Так, при  $\beta = 45^\circ$  значение  $\text{tg}(b/2) = 0,414$ .



**Рисунок 3.2.2. - Принципиальная схема расчетов при угле  $\beta=45^\circ$**

Для  $d_{nc} = 0,5\text{м}$  получим  $L_{nc} = 0,5/0,41 = 1,21$  м, а длина внешней части угла  $L_{ny} = 1 + 1,21 = 2,21$  м.

Тогда получим

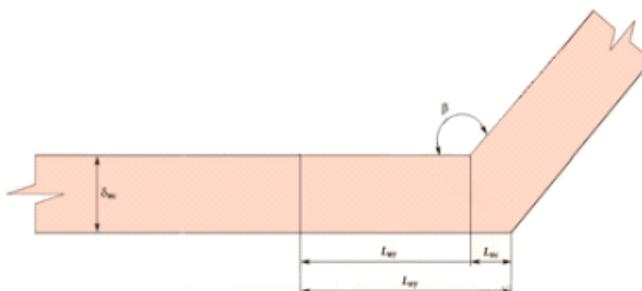
$$\frac{L_{ny}}{L_{by}} = 1 + d_{nc}/\text{tg}(b/2) \quad (3.2.3.)$$

$$\frac{L_{ny}}{L_{by}} = 1 + 0,5/0,414 = 2,21$$

На угловую часть добавочные потери теплоты составят не 5%, как указано в СП 50.13330.2012 [61] при условии, что толщина стены 0,5 м с углом примыкания  $\beta = 90^\circ$ , в других потери для угла примыкания составят:

$$Q_{nom}, \% = 5 \cdot \frac{L_{ny.45}/L_{ny.45}}{L_{ny.90}/L_{by.90}} \quad (3.2.4.)$$

$$Q_{nom}, \% = 5 \cdot \frac{2,21}{1,5} = 7,4\%$$



**Рисунок 3.2.3. - Принципиальная схема расчетов при угле  $\beta=135^\circ$**

Аналогичные расчеты проведем для углов 90° и 135° полученные данные занесем в таблицу 3.2.1.

**Таблица 3.2.1**

**Данные расчетов для углов 45°, 90° и 135°**

Угол $\beta$ , град.	$L_{ву}$ , м	$L_{ну}$ , м	$L_{ну}/L_{ву}$	Добавочные потери теплоты $Q_{пот}$ , %
45	1	2,22	2,22	7,4
90	1	1,5	1,5	5
135	1	1,19	1,19	4

На основании данных расчетов стало понятно, чем тупее угол примыкания, тем меньше потери тепла через угол примыкания стен.

**3.3. Влияние растворных швов кладки на теплопотери стен.**

Кладочные швы, которые входят в состав конструкций ограждающего характера, обладают свойствами теплопроводности. Как правило, при осуществлении проектирования то влияние, которое оказывают швы на сопротивление протеканию теплопередачи, не учитывается. Результат - несовпадение тех значений сопротивления теплопередаче, которые существуют на практике, со значениями, полученными в результате расчётов. Вследствие этого заложенные в проект параметры энергетической эффективности строения изменяются. Цель работы - осуществление оценки влияния, которое оказывают кладочные швы, на однородность стен с теплотехнической точки зрения (материал стены - БЛОК КЕРАМЗИТОБЕТОННЫЙ СТЕНОВОЙ ПОЛНОТЕЛЫЙ КСР-ПР-39-75-F50-1400 ГОСТ 6133-99), формирование перечня рекомендаций, которые позволят избежать потерь энергии, возникающих вследствие существования швов.

Таблица 3.3.1. содержит сведения о расчётных коэффициентах теплопроводности для материала «керамзитобетон» (весовая равновесная влажность принимается равной 5). В таблице 15 приведены значения коэффициентов теплопроводности, соответствующие керамзитобетону. При укладке стен используются дополнительные материалы помимо основного (к

примеру, в стенах существуют кладочные швы, для создания которых применяются растворы). Данные швы обладают свойством теплопроводности. Коэффициент  $\gamma$ , учитывающий однородность стены в теплотехническом плане, должен обязательно включаться в расчёты для стен, которые создаются с применением нескольких материалов. Потери тепла через стены увеличиваются в той мере, которую оказывают кладочные швы.

**Таблица 3.3.1.**

**Теплотехнические характеристики**

Материал, используемый для создания стены	Коэффициент теплопроводности (5%-ная влажность), $\lambda_B$ [Вт/(м·°C)]
КСР-ПР-39-75-F50-1400 ГОСТ 6133-99	0,36

Если кладочный шов имеет малую толщину, то значение коэффициента  $\gamma$  повышается (а это, в свою очередь, позволяет повысить сопротивление стены теплопередаче). При уменьшении толщин кладочных швов потери энергии через стены снижаются, вследствие чего на достижение оптимальной температуры в здании тратится меньшее количество ресурсов. Наглядно продемонстрировать вышесказанное можно на примерах. Так, в первом примере будет изучено влияние на теплопередачу швов, формирующихся в стенах, для кладки которых используется раствор (средняя толщина - 1 см). Раствором была признана смесь из цемента и песка (плотность - 1800 кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda_B=0.93$  Вт/м·°C).

Значение термического приведённого сопротивления, которое оказывает теплопередаче регулярный элемент стены, было получено посредством сложения проводимостей [67]. Непосредственно в ходе расчётов была применена формула, указанная в своде правил [62].

Пример 1. Осуществляется кладка стен с применением блоков из керамзитобетона (толщина материала - 190 мм). Категория кладки - вторая, средняя толщина швов - 1 см.

Чтобы произвести расчёт, должен быть принят регулярно повторяющийся кладочный элемент. В рамках работы задача была решена следующим образом:

был взят фрагмент стены с размерами 390×188 мм Швы для расчёта - вертикальный, горизонтальный два.

Описанный выше регулярный элемент был разделён с помощью плоскостей, направление которых - параллельное потоку тепла, на участки, в рамках которых теплопроводность приобретает различные значения. Были получены два участка, обладавших свойствами однородности и являвшихся одинаковыми. Параметры участков:

$$R_{\text{К.Б.}} = \frac{\delta_{\text{К.Б.}}}{\lambda_{\text{К.Б.}}} = \frac{0.190}{0.36} = 0.528 \text{ м}^2\text{°C/Вт} \quad (3.3.1.)$$

$$A_{\text{К.Б.}} = 0.188 * 0,390 = 0,073 \text{ м}^2\text{°C/Вт} \quad (3.3.2.)$$

$$R_{\text{р-ра}} = \frac{\delta_{\text{р-ра}}}{\lambda_{\text{р-ра}}} = \frac{0.190}{0.93} = 0.204 \text{ м}^2\text{°C/Вт} \quad (3.3.3.)$$

$$A_{\text{р-ра}} = 0.188 * 0.01 + 0.390 * 0.01 = 0.00578 \text{ м}^2 \quad (3.3.4.)$$

где  $R_{\text{К.Б.}}$  - сопротивление теплопередаче, которое оказывается керамзитобетонной составляющей регулярного элемента;

$A_{\text{К.Б.}}$  - площадь газобетонной составляющей регулярного элемента, который имеет перпендикулярное потоку тепла расположение;

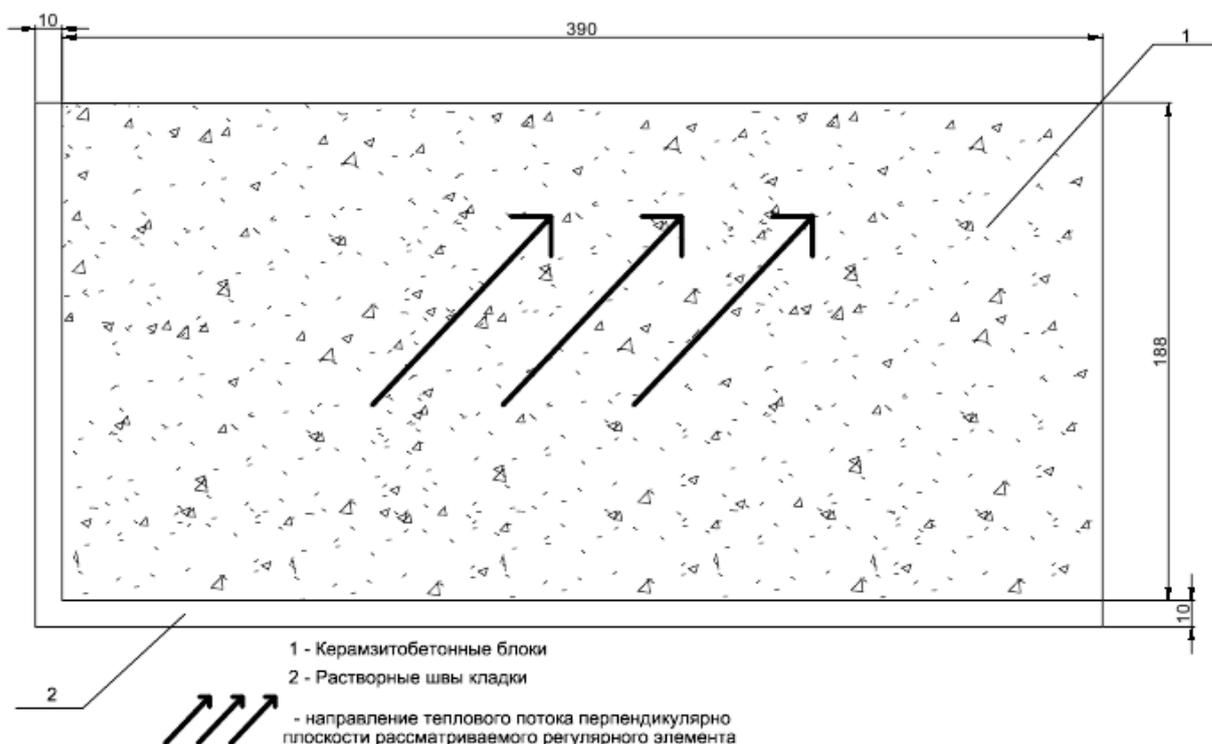
$R_{\text{р-ра}}$  -сопротивление теплопередаче растворной составляющей регулярного элемента;

$$R^r = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{\sum_{i=1}^m R_i} = \frac{0.073+0.00578}{\frac{0.073}{0.528} + \frac{0.00578}{0.204}} = 0.473 \quad (3.3.5.)$$

По формуле 3.3.6. можно осуществить расчёт численного значения, которое будет принято коэффициентом теплотехнической однородности:

$$r = \frac{R^r}{R_{\text{К.Б.}}} = \frac{0.473}{0.528} = 0.89 \quad (3.3.6.)$$

Данный вычисленный коэффициент также может меняться в зависимости от толщины стены, а также от типа раствора и марки бетона.



**Рисунок 3.3.1. - Схема регулярного элемента, который был использован для определения численного значения коэффициента теплотехнической однородности стен. Материал для кладки стены - керамзитобетон, средняя толщина швов, полученных раствором - 1 см**

Описанные пример свидетельствуют о значительном влиянии, которое оказывают кладочные швы на сопротивление теплопередаче, которое оказывают стены, выполненные из керамзитобетонных блоков. Так, для 190-миллиметровых блоков было получено, что при использовании раствора для кладочных швов (в этом случае толщина шва примерно равняется 1 см) дополнительные потери тепла, обусловленные существованием швов, могут составить 11%.

### **3.4. Мероприятия по снижению воздухопроницаемости.**

Опыт эксплуатации зданий показывает, что в холодное время года большое влияние на эксплуатационные качества помещений оказывает фильтрация воздуха через ограждающие конструкции, для исследованных в данной диссертации домов, она была вычислена в главе 2. Воздухопроницаемость обусловлена неплотностями в элементах наружных

ограждений (прежде всего в межпанельных стыках, в стыках окон с панелями, неплотностями в притворах окон и дверей), пористостью материалов, наличием трещин и отверстий в строительных конструкциях.

Воздухопроницаемость или фильтрация воздуха через ограждающие конструкции имеет свои положительные и отрицательные стороны. Небольшую воздухопроницаемость ограждений с санитарно-гигиенической точки зрения принято рассматривать как положительный фактор, создающий в помещениях естественный воздухообмен и регулирующий влажностный режим ограждающих конструкций. Однако чрезмерная воздухопроницаемость ограждения крайне нежелательна, так как в зимнее время приток холодного воздуха вызывает дополнительные теплопотери, ухудшает микроклимат, снижает теплозащитные качества ограждающих конструкций, охлаждает помещения. Мероприятия по увеличению толщины конструкции или повышению температуры воздуха во избежание ухудшения теплового режима помещения приводят, в первом случае, к увеличению капитальных затрат на конструкции, а во втором – к тепловым потерям и прибавлению энергии на отопление. Вытяжка теплого воздуха через конструкцию во внешнюю среду ухудшает влажностный режим конструкции и может быть причиной повышенной конденсации водяных паров в ее толще, что вызывает множество проблем – от переувлажнения и бактериального заражения до разрушения ограждающей конструкции. Кроме того, воздухопроницаемость способствует переносу дыма, запахов, пыли и других загрязнений как извне, так и между помещениями в здании.

Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции происходит под влиянием разности давлений воздуха на противоположных поверхностях конструкции. Разность общих давлений воздуха по обе стороны ограждения может возникнуть как под воздействием теплового напора, обусловленного разностью температур внутреннего и наружного воздуха, так и под влиянием ветрового напора.

Величина теплового напора зависит от разности температур, а также от высоты помещения или здания.

В нижней зоне здания или помещения через любые неплотности и отверстия в ограждающих конструкциях происходит приток тяжелого холодного наружного воздуха внутрь помещения (инфильтрация), а в верхней зоне или в верхних этажах – удаление легкого теплого воздуха наружу (эксфильтрация). Эти явления, вызывающие естественный воздухообмен в помещении или здании, в особенности заметны при сильных морозах, когда разность температур наружного и внутреннего воздуха отапливаемых помещений особенно велика. В связи с этим сильнее всего подвержены охлаждению в холодное время комнаты первых этажей, где наблюдается наиболее активная инфильтрация.

По мере увеличения перепада температур внутреннего и наружного воздуха, а также числа этажей в здании растет разность давлений, вызываемая тепловым напором.

Кроме теплового напора на интенсивность воздухопроницаемости влияет ветровой напор, который обуславливается действием на здание ветра. Разность давлений воздуха, вызываемая ветровым напором, зависит от его скорости и от аэродинамических характеристик здания. В случае бесконечно высокого препятствия, расположенного перпендикулярно направлению ветра, разность давлений воздуха по обе его стороны определяется только скоростью ветра.

В наибольшей степени подвержены воздухопроницанию конструкции окон и дверей. Теплофизическими особенностями светопрозрачных ограждений являются их низкие по сравнению со стенами теплозащитные качества и повышенная воздухопроницаемость, что обуславливает неравномерную инфильтрацию воздуха через неплотности оконных проемов по высоте здания. Установлено, что проникание холодного воздуха через неплотности оконных проемов снижает их теплозащиту в среднем в два раза. Наибольшая воздухопроницаемость окон, отрицательно сказывающаяся на микроклимате помещений, наблюдается в холодное время года. Струи

холодного воздуха, попадая в помещение через щели окон, вызывают понижение температуры внутри помещения в первую очередь в непосредственной близости от окон, создавая там зону дискомфорта. Для уменьшения их воздухопроницаемости и повышения звукоизолирующей способности целесообразно в сопряжениях между сборными и глухими переплетами, а также в притворах дверей предусматривать уплотняющие упругие прокладки из резины, эластичной пористой пластмассы, пенополиуретана, полшерстяного шнура и др., а также заделку паклей, шлаковатой.

**Таблица 3.4.1.**

**Мероприятия направленные на повышение энергоэффективности зданий.**

№	Наименование мероприятия	Ожидаемые результаты	Применение технологии, оборудование и материалы
1	Уплотнение наружных входных дверей в подъездах с установкой доводчиков (обеспечение автоматического закрывания дверей)	1)Снижение утечек тепла через двери подъездов 2)Рациональное использование тепловой энергии	Двери с теплоизоляцией, прокладки, полиуретановая пена, автоматические дверные доводчики и др.
2	Повышение теплотехнической однородности наружных ограждающих конструкций – заделка и герметизация межпанельных соединений (швов) и ликвидация “мостиков” холода, в том числе в сопряжении окон со стенами	1)Уменьшение промерзания стен 2)Рациональное использование тепловой энергии 3)Увеличение срока службы ограждающих конструкций	Тепло- и пароизоляционные материалы, отделочные материалы, защитный слой и др. Например полиуретановый герметик фирмы - Гермес ПУ 724 – двухкомпонентный, полиуретановый акрипласт. Предназначен для герметизации бетонных швов. Применим для наружных работ. Отличается повышенной сцепляемостью, долговечностью. Эксплуатационная температура -60 – +70 градусов.

**Таблица 3.4.1. (продолжение)**

1	2	3	4
3	<p>Повышение теплозащиты наружных стен до действующих нормативов</p>	<p>1) Уменьшение промерзания стен 2) Рациональное использование тепловой энергии 3) Увеличение срока службы ограждающих конструкций</p>	<p>Тепло- и пароизоляционные материалы, отделочные материалы, защитный слой и др. Например выравнивание стен штукатуркой, для лучшего соприкосновения поверхностей, перед укладкой утеплителя, применение различных уплотнительных шнуров (вспененный полиэтилен, полушерстяной), а также использование различных герметиков (полиуретановый, акриловый, силиконовый, тиоколовые, бутилокаучуковые).</p>
4	<p>Повышение теплозащиты крыши до действующих нормативов, устройство теплого чердака</p>	<p>1) Уменьшение протечек и промерзания чердачных конструкций 2) Рациональное использование тепловой энергии 3) Увеличение срока службы чердачных конструкций</p>	<p>Тепло-, водо- и пароизоляционные материалы и др. Например в качестве гидроизоляционных материалов используют рулонные и мастичные: гидроизол; гидростеклоизол; стеклорубероид и другие. Для пароизоляции применяют специальные многослойные пароизоляционные пленки с практически нулевой или крайне малой способностью пропускать пары (полиэтилен, полипропилен и др.). Устанавливать паронепроницаемые материалы с холодной стороны стены или утеплителя нельзя. Места соединения делаются нахлестом примерно 10 см.</p>

**Таблица 3.4.1. (продолжение)**

1	2	3	4
5	<p>Повышение теплозащиты пола до действующих нормативов и выше</p>	<p>1) Уменьшение протечек, охлаждения или промерзания пола 2) Рациональное использование тепловой энергии 3) Увеличение срока службы строительных конструкций</p>	<p>Тепло-, водо- и пароизоляционные материалы и др. Например в качестве гидроизоляционных материалов используют рулонные и мастичные: гидроизол; гидростеклоизол; стеклорубероид и другие. Для пароизоляции применяют специальные многослойные пароизоляционные пленки с практически нулевой или крайне малой способностью пропускать пары (полиэтилен, полипропилен и др.). Устанавливать паронепроницаемые материалы с холодной стороны стены или утеплителя нельзя.</p>
6	<p>Повышение теплозащиты оконных и балконных дверных блоков до действующих нормативов</p>	<p>1)Снижение инфильтрации через оконные и балконные дверные блоки 2)Рациональное использование тепловой энергии 3)Увеличение срока службы оконных и дверных балконных блоков</p>	<p>Современные стеклопакеты с повышенным термическим сопротивлением. Также может помочь правильная регулировка окон, а также замена резинового уплотнителя на более плотный.</p>

Приведенные в этой таблицы мероприятия позволят частично снизить воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, тем самым снижая затраты на тепловую энергию, что очень актуально для регионов с большой продолжительностью отопительного периода.

### **Заключение. Основные результаты и выводы.**

В данной магистерской диссертации была произведена научная проработка вопросов повышения энергоэффективности зданий за счет снижения теплопотерь через ограждающие конструкции. Произведен анализ воздухопроницаемости в зависимости от формы, расположения, а также этажности объектов в Республике Саха (Якутия). В ходе данной диссертационной работе были решены следующие задачи:

1. Произведен обзор научной литературы, патентный обзор.

2. В многоэтажных объектах по адресам: Губина 5/1; Чепалова 45; Автодорожная 4/2 А, был произведен анализ воздухопроницаемости, с помощью оборудования «Аэродверь».

3. Также было установлено, что не все выбранные объекты соответствуют нормативным требованиям. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций при закрытых вентиляционных каналах в испытанных помещениях здания и разности давлений внутреннего и наружного воздуха 50 Па обеспечивает воздухообмен кратностью:  $n_{50} = 0.67$  до 11,76. В некоторых помещениях из-за не герметичности конструкции окон и наружных стен оборудование не может полностью корректно измерить результат.

4. Установлена зависимость величины воздухопроницаемости от этажности выбранных объектов. Эффективный коэффициент сопротивления экспериментально исследованных конструкций постепенно снижается в зависимости от высоты этажа.

5. Предложены различные меры по снижению воздухопроницаемости выбранных объектов.

## Список использованной литературы

1. Артемов М. Д. К вопросу воздухопроницаемости ограждающих конструкций / М. Д. Артемов // Тепловой режим. Теплоизоляция и долговечность зданий : сб. науч. тр. - Москва : НИИСФ, 1981. - С. 51-55.
2. Аравин В. И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В. И. Аравин, С. Н. Нумеров. - Москва : Гостехиздат, 1953.- 451 с.
3. Аравин В. И. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений / В. И. Аравин, С. Н. Нумеров. - Москва : Госстройиздат, 1955.-292 с.4.
4. Афонин К. В. Тепловой и воздушный режим зданий и сооружений с легкими ограждающими конструкциями в условиях Западной Сибири : автореф. дис. ...канд. техн. наук / К. В. Афонин. - Тюмень, 2003.- 24 с, 5.
5. Беляев В. С. Теплопередача в наружных стенах при продольной фильтрации воздуха /В. С. Беляев/ Теплотехнические свойства и микроклимат жилых зданий: сб. науч. тр. - Москва, 1982.- С: 18-22.,ч 6.
6. Березина Н. И. Инфильтрация воздуха через неплотности наружных ограждений промышленных зданий : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. И. Березина. - Москва, 1982.
7. Гаврилова М.К. Климат центральной Якутии. – Якутск: Кн. изд-во, 1973. – 118 с.
8. Богословский В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. Москва: Высшая шк., 1982. - 416 с.
9. Богословский В. Н. Тепловой режим здания / В. Н. Богословский. Москва : Стройиздат, 1979. - 248 с.
10. Брилинг Р. Е. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и материалов / Р. Е. Брилинг. - Москва: Стройиздат, 1948. - 90 с.
11. Веселовацкая Е. В. Особенности теплопередачи через воздухопроницаемую теплоизоляцию. трехслойных ограждающих конструкций : дис. канд. техн. наук / Е. В. Веселовацкая. - Москва, 1985.-223 с. 98

12. Валов В. М. Животноводческие здания с воздухопроницаемыми ограждающими конструкциями : учеб. пособие / В. М. Валов. - Омск, 1986.-92 с.
13. Валов В. М. К вопросу тепловлажностного режима ограждающих конструкций в условиях знакопеременной фильтрации воздуха / В. М. Валов, Г. А. Пахотин // Строительные материалы и конструкции : тр. СибАДИ. - Омск : Изд-во СибАДИ, 2001. -Вып. 4, ч. 1. - С. 16-27.
14. Валов В. М. Пути использования воздухопроницаемых ограждающих конструкций в животноводческих зданиях / В. М. Валов // Вопросы механизации животноводства в Западной Сибири : сб. тр. ОмСХИ. Омск, 1983.- С. 37-43.
15. Валов В. М. Температурно-влажностный режим ограждающих конструкций зданий при фильтрации воздуха : учеб. пособие / В. М. Ч:УВалов; Г; А: Пахотам - Омск : СибАДИ, 1982.-95с.
16. Валов В. М. Теплофизические основы проектирования тонкостенных оболочек с воздухопроницаемым слоем утеплителя / В. М. Валов, А. Д. Кривошей //Изв. вузов. Строительство.-1994.-№12.-С.102-113.
17. Васильев Б. Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий / Б. Ф. Васильев. - Москва : Гостройиздат, 1957. 210 с.
18. Власов О. Е. Основы строительной теплотехники : к курсу отопления и вентиляции / О. Е. Власов. - Москва : Изд-во ВИА РККА, 1938. - 94 с.
19. Гагарин В. Г. Учет продольной фильтрации воздуха при оценке теплозащиты стены с вентилируемым фасадом / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, А. В. Садчиков // Промышленное и гражданское строительство. -2005.-№6.-С. 42-45.
20. Гагарин В. Г. О влиянии продольной фильтрации воздуха на теплозащиту стен с вентилируемым, фасадом /В. Г. Гагарин, В., В., Козлов, А. В. Садчиков // Строй-Профиль. - 2005. - № 6(44). - С. 34-36.

21. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. - Введ. 1985-01-01. - Москва: Изд-во стандартов, 1985. - 24 с.
22. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. - Введ. 1999-03-01. - Москва: Изд-во стандартов, 1999. - 14 с. 22.
23. ГОСТ 12.3.018-79. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. - Введ. 1981-01-01. - Москва: Изд-во стандартов, 1979. - 11 с.
24. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. - Взамен ГОСТ 12.1.005-76; введ. 01.01.89. Москва: Изд-во стандартов, 1991. - 75 с.
25. ГОСТ 31167-2009. Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных - условиях. - Введ. 2011-03-01 – Москва Стандартинформ. 2011.
26. ГОСТ 26629-85. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля, качества теплоизоляции ограждающих конструкций. - Введ. 1986-07-01.- Москва : Изд-во стандартов, 1986. - 14 с.
27. Дружинин Н. И. Метод электродинамических аналогий и его приложение при исследовании фильтрации / Н. И. Дружинин. - Москва: Госэнергоиздат, 1956. - 346 с.
28. Жмарин Е. Н. Технология будущего - строительство облегчённых зданий и сооружений с применением термопрофилей и лёгких балок / Е. Н. Жмарин // Стройпрофиль. - 2004. - № 5(35). - С. 83.
29. Избаш С. В. Основы гидравлики / С. В. Избаш. - Москва: Стройиздат, 1952.-424 с.
30. Илькевич К. Я. Строительные вяжущие вещества / К. Я. Илькевич. Москва, 1915.

31. Калядин Ю. А. Аналитический метод расчета температурного режима стен с учетом фильтрации воздуха / Ю. А. Калядин // Сборник науч. тр. / НИИМОССТРОЙ. - Москва, 1966. - Вып. 3. - С. 156-167.

32. Калядин Ю. А. Исследование влияния внутренней фильтрации воздуха на температурный режим наружных стеновых панелей, утепленных воздухопроницаемыми материалами: автореф. дис. канд. техн. наук / Ю. А. Калядин. - Москва, 1966. - 20 с.

33. Калядин Ю. А. Исследование воздухопроницаемости некоторых теплоизоляционных материалов / Ю. А. Калядин // Сборник науч. тр. / НИИМОССТРОЙ. - Москва, 1969.

34. Калядин Ю. А. Методы учета влияния внутренней фильтрации воздуха на теплотехнические свойства наружных стен, утепленных воздухопроницаемыми материалами / Ю. А. Калядин // Сборник науч. тр. / НИИМОССТРОЙ. - Москва, 1966. - Вып. 3. - С. 147-155.

35. Калядин Ю. А. Теплотехнический расчет наружных стен утепленных воздухопроницаемыми материалами / Ю. А. Калядин // Сборник науч. тр./НИИМОССТРОЙ.- Москва, 1969.

36. Козлов В. В. Метод инженерной оценки влажностного состояния современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты при учете паропроницаемости, влагопроводности и фильтрации воздуха: автореф. дис. канд. техн. наук / В. В. Козлов. Москва, 2004.

37. Кривошей А. Д. Производственные сельскохозяйственные здания с воздухопроницаемыми ограждающими конструкциями: теплотехнические основы проектирования: дис. канд. техн. наук / А. Д. Кривошей. - Омск, 1993. - 200 с.

38. Кузьменко Д. В. Ограждающая конструкция на базе легких стальных конструкций / Д. В. Кузьменко // Строительные материалы. - 2009. - № 4.-С. 2-4.

39. Кузьменко Д. В. Ограждающая термопанель с каркасом из термопрофилей / Д. В. Кузьменко // Жилищное строительство. - 2009. №4.-С 2-4.
40. Кузьменко Д. В. Ограждающие конструкции «нулевой» толщины для каркасных зданий / Д. В. Кузьменко, Н. И. Ватин // Инженерностроительный журнал. - 2008. - № 1. - С. 13-21.
41. Кузьменко Д. В. Новый тип ограждающий конструкции - термопанель / Д. В. Кузьменко, Н. И. Ватин // Стройпрофиль. - 2008. - № 6(68). - С. 56.
42. Лейбензон Л. С. Движения природных жидкостей и газов в пористой среде / Л. С. Лейбензон // Москва : ОГИЗ, 1947. - 244 с.
43. Лыков А. В. Теоретические основы строительной теплофизики / А. В. Лыков. - Минск : Изд-во АН БССР, 1961. - 519 с.
44. Лыков А. В. Теория переноса энергии и вещества / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. - Минск: Изд-во АН БССР, 1959. - 332 с.
45. Максимова М. В. Прогнозирование запыления воздухопроницаемых ограждающих конструкций зданий: дис. канд. техн. наук / М. В. Максимова. - Омск, 2000. - 141 с.
46. Мачинский В.Д. Теплотехнические основы строительства / В.Д. Мачинский. - Москва: Госстройиздат, 1949. - 325 с.
47. Медведева Е. В. К расчету нестационарного температурного поля в наружных ограждениях зданий с учетом фильтрации воздуха / Е. В. Медведева, Н. А. Парфентьева, В. Н. Титов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1977. - № 11. - С. 144-148.
48. Павловский Н. Н. Собрание сочинений : в 2 т. - Москва : Изд-во АН СССР, 1956. - Т. 2: Движение грунтовых вод. - 771 с.
49. Патрашев А. Н. Гидромеханика / А. Н. Патрашев. - Москва : Воениздат, 1953.-719с.
50. Петриченко М. Т. Среднеквадратичное приближение кривой свободной поверхности в призматическом русле / М. Р. Петриченко // Труды СПбГТУ. - 1998. -№ 475 : Гидротехника, энергетика. - С. 140-146.

51. Петриченко М. Р. Экстремальные задачи для фильтрационных потоков / М. Р. Петриченко, В. Н. Бухарцев. - Saarbruken: Palmarium Academic Publishing, 2012.-84 с.
52. Петрянина Л. Н. Конструкции наружных стен зданий / Л. Н. Петрянина, О. Л. Викторова, О. В. Карпова : учеб. пособие. - Москва : Изд-во Ассоциации строит, вузов, 2006. - 119 с.
53. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. - Москва: ГТТИ, 1977. - 676 с.
54. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях / В. Г. Гагарин [и др.] // АВОК. - 2005. - № 8. - С. 60-70.
55. Савин В. К. Метод и методика расчета воздухопроницаемости ограждающих конструкций / В. К. Савин // Окна и двери: информ. бюллетень. - 2000. - № 6(39). - С. 34-36.
56. Соковишин Ю. А. Свободно-конвективный теплообмен: справ. / Ю.А. Соковишин, О. Г. Мартыненко. - Минск: Наука и техника, 1982. - 402 с.
57. Смирнов В.И. Курс высшей I математики А В: И. Смирнов.- Москва: Наука/1969.-Т. 32.-672 с.
58. СП 20.13330.2010. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. - Взамен СНиП П-6-74 ; введ. 01.01.87. - Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 34 с.
59. СП 55.13330.2010 Дома жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2001. - Москва : Госстрой России, 2001.
60. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. - М.: Госстрой России ФГУП ЦПП, 2008. - 70 с.
61. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Госстрой России ФГУП ЦПП, 2006. – 26 с.
62. СП 60.13330.2010. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.; Москва, 2004.
63. Титов В. П. Теплотехнический расчет наружных ограждений зданий

учетом воздухопроницания: дис. канд. техн. наук / В. П. Титов. Москва, 1962.- 185 с.

64. Титов В. П. Теплотехнический расчет наружных стен с учетом инфильтрации воздуха / В. П. Титов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1962. - № 3. - С. 137-147.

65. Ушков Ф. В. Влияние воздухопроницаемости на теплозащиту стен / Ф. В. Ушков // Строительная промышленность. - 1951. - № 8. - С. 16-19.

66. Ушков Ф. В. Теплопередача ограждающих конструкций при фильтрации воздуха / Ф. В. Ушков. - Москва: Стройиздат, 1969. - 144 с.

67. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. - Москва : Стройиздат, 1973. - 156 с.

68. Христианович С. А. О движении грунтовых вод, не следующих закону Дарси // Механика сплошной среды / С. А. Христианович. - Москва : Наука, 1981.-С. 302-326.

69. Цвяк А. Н. Разработка ограждающих конструкций с регулируемой воздухопроницаемостью: дис. „канд. техн. Наук, А. Н. Цвяк, Омск: 2004.-136 с.  
ч

70. Бугаев Р. Р. Гидравлика / Р: Р. Чугаев. - Ленинград: Энергия, 1970-552с

Ссылка на сборник: [<http://nti.s-vfu.ru/naychno-issledovatel'skaya-deyatelnost/sborniki-i-materialy-konferentsij>]



Патентный обзор

№	Название изобретения	Страна выдачи, Вид и номер охранного документа, Классификационный Индекс. Дата публикации.	Заявление (Патенто-обладатель), Страна, номер заявки	Существенные признаки, задача, решаемая и изобретение(полезной моделью)
1.	СИСТЕМА ЭЖЕКТОРНОЙ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ	Россия, патент №2374567 МПК F24F 7/00(2006.01)  Заявка: 07.09.2007 Опубликовано: 27.11.2009	Автор(ы): Турулов Александр Владимирович (RU) Патентообладатель(и): Турулов Владимир Александрович (RU)	Система предназначена для естественной вытяжной вентиляции зданий, особенно повышенной этажности. Система состоит из основного и вспомогательного вентиляционных стволов. В основной ствол входят спутники (каналы) из помещений нижних этажей до нейтральной плоскости эпюр давлений. Вспомогательный ствол соединен с верхними этажами. В зоне соединения стволов образуется зона эжекции. В ней из-за разницы давления активизируется вытяжка из ствола, соединенного с верхними этажами. Технический результат - система имеет повышенную стабильность работы, особенно в теплый период года.
2.	СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ЗАМКНУТОГО ПРОСТРАНСТВА	Россия, патент № 2419077 МПК G01M 3/02 (2006.01)	Патентообладатель(и): АМРОНА АГ (СН)	Изобретение относится к области испытательной техники и направлено на обеспечение максимально возможной точности и без значительных расходов определения воздухопроницаемости замкнутого пространства. Этот результат обеспечивается за счет того, что при определении воздухопроницаемости замкнутых

	ОСТИ ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТ В	Дата подачи заявки: 06.08.2007 Опубликовано: 20.02.2010		пространств задают градиент концентрации между атмосферой внутренней среды замкнутого пространства и атмосферой воздушного пространства, окружающего упомянутое замкнутое пространство, путем регулирования значения молярной концентрации по меньшей мере одного составляющего компонента атмосферы внутренней среды замкнутого пространства, в частности кислорода, которое отличается от значения молярной концентрации по меньшей мере одного составляющего компонента атмосферы воздушного пространства, окружающего упомянутое замкнутое пространство. Затем определяют скорость изменения концентрации путем измерения в атмосфере внутренней среды замкнутого пространства изменения во времени молярной концентрации по меньшей мере одного составляющего компонента и вычисляют значение воздухопроницаемости для замкнутого пространства с учетом определенной на предыдущем этапе скорости изменения концентрации.
3.	СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИ Я КОЭФФИЦИЕН ТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПОМЕЩЕНИЯ	Россия, патент № 2655640 МПК G01K 17/20 (2006.01) F24D 10/00 (2006.01) СПК G01K 17/20 (2006.01) F24D 10/00	Автор(ы): ПАНДРО Гийом (FR), АЛЬЗЕТТО Флоран (FR) Патентообла тель(и): СЭН- ГОБЭН ИЗОВЕР (FR)	Изобретение относится к области термометрии и может быть использовано для определения коэффициента К тепловых потерь помещения. Заявленный способ определения коэффициента К тепловых потерь помещения, содержит этапы, на которых в помещении за два последовательных периода времени (Dk)k=1 или 2 применяют мощность обогрева Pk помещения и осуществляют работы по измерению по меньшей мере температуры T <sub>ik</sub> внутри помещения через короткие промежутки времени, а также определяют температуру T <sub>ek</sub> наружного воздуха через короткие промежутки времени. При этом мощность обогрева P1 за первый период D1 является такой, что

		(2006.01) Дата подачи заявки: 29.12.2014 Дата публикации заявки: 02.02.2018		следующий параметр ( $\alpha$ ) был меньше или равен 0,8, тогда как мощность обогрева P2 за второй период времени D2 является по существу нулевой. Для каждого периода времени Dk выбирают промежутки времени $\Delta t_k$ , при котором изменение Tik(t) является по существу линейным. За каждый промежуток времени $\Delta t_1$ и $\Delta t_2$ определяют наклон $\alpha_1$ или $\alpha_2$ касательной к кривой Tik(t). На основании наклонов $\alpha_1$ и $\alpha_2$ выводят значение Kcalc коэффициента тепловых потерь K помещения.
4.	ПАНЕЛЬ ДЛЯ НАРУЖНОЙ ОБШИВКИ СО ВСТРОЕННОЙ ВОЗДУХО/ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОЙ МЕМБРАНОЙ	Россия, патент № 2663040 МПК E04C 2/288 (2018.05) E04B 1/62 (2018.05) B32B 13/04 (2018.05) B32B 13/14 (2018.05) C04B 28/02 (2018.05) СПК E04C 2/288 (2018.05) E04B 1/62 (2018.05) B32B 13/04 (2018.05) B32B 13/14 (2018.05) C04B 28/02	Автор(ы): ШЕЙК, Майкл П. (US), НЕГРИ, Роберт Х. (US), МАКНАЙТ, Паула (US), ШИПП, Пол (US), УЛЛЕТТ, Джеймс М. (US), КЕННИ, Тимоти Дж. (US), ЛИНК, Бретт Р. (US), ЭРНАНДЕС, Памела (US), ШУЛЬТЕ, Кристин (US), МАРИМПЬЕТ	Изобретение относится к области строительных материалов и касается панели для наружной обшивки со встроенной воздухо/водонепроницаемой мембраной. Цементная панель с, по меньшей мере, одной наружной облицовочной поверхностью содержит цементную сердцевину, по меньшей мере, один обшивочный лист и встроенную воздухо/водонепроницаемую мембрану, при этом обшивочный лист расположен между цементной сердцевиной и встроенной воздухо/водонепроницаемой мембраной, а встроенная воздухо/водонепроницаемая мембрана нанесена на наружную облицовочную поверхность и содержит полимерное вяжущее и карбонат кальция. Изобретение обеспечивает создание обшивочной панели с покрытием в виде воздухо/водонепроницаемой, полученной при регулируемых условиях в процессе производства и минимизацию сложности монтажа.

		(2018.05) Дата подачи заявки: 17.04.2017 Опубликовано: 01.08.2018	РИ, Данте (US), СОВЭЙ, Кейси (US), МОХАММАД, Мунир (US), КРЕМОНА, Доминик (US), ЖЕРУХА, Эллен (US), СТИНСОН, Скотти Ли (US) Патентообла тель(и): ЮНАЙТЕД СТЕЙТС ДЖИПСЭМ КОМПАНИ (US), ТРЕМКО ИНКОРПОРЕ ЙТИД (US)	
5.	ЭНЕРГОСБЕР ЕГАЮЩИЙ ВЕНТИЛЯЦИ ОННЫЙ ПРИБОР	Россия, патент № 167 МПК F24F 7/00 (2006.01) F24F 12/00 (2006.01) F24F 13/00 (2006.01) Дата подачи	Автор(ы): Ланда Юрий Исакович (RU) Патентообла тель(и): Ланда Юрий	Полезная модель относится к области энергосберегающей вентиляции, преимущественно к небольшим приточно-вытяжным приборам с неподвижным регенератором и реверсивным потоком воздуха, предназначенным для вентиляции небольших помещений. В предлагаемом приборе для повышения эффективности, уменьшения габаритов и генерируемого шума

		заявки: 16.07.2015 Дата публикации заявки: 10.01.2017	Исакович (RU)	входящий в состав прибора реверсивный нагнетатель воздуха выполнен в виде установленной в картере поворотной платформы, на которой смонтирован нереверсивный высоконапорный вентилятор.
6.	ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ УСТАНОВКА С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ ВОЗДУХА	Россия, патент № 189260 МПК F24F 12/00 (2006.01) F24F 7/00 (2006.01) СПК F24F 12/00 (2019.02) F24F 7/00 (2019.02) Подача заявки: 25.02.2019 Дата публикации заявки: 17.05.2019	Автор(ы): Костуганов Арман Берекович (RU) Патентообладатель(и): Костуганов Арман Берекович (RU)	Полезная модель относится к области вентиляции и может применяться в помещениях гражданских зданий для организации воздухообмена с утилизацией теплоты воздуха. Предлагаемое техническое решение позволяет: - повысить надёжность вентиляционной установки за счёт организации защиты рекуперативного теплоутилизатора от полного обмерзания, использование которой приводит к увеличению времени между циклами вынужденного прекращения вентилирования помещений для оттаивания рекуперативного теплоутилизатора, вплоть до обеспечения безостановочного процесса вентилирования помещений, а также к снижению продолжительности и энергозатратности циклов оттаивания рекуперативного теплоутилизатора; - повысить энергетическую эффективность вентиляционной установки за счёт сокращения потерь теплоты в окружающее пространство благодаря теплоизоляции корпуса вентиляционной установки, который одновременно является внешней стенкой замкнутого теплоизолированного и шумоизолированного рециркуляционного канала; - повысить степень обеспеченности параметров микроклимата помещения за счёт обеспечения более продолжительного или постоянного вентилирования с утилизацией теплоты воздуха; - обеспечить приемлемый уровень шума при работе вентиляционной установки.



# СПРАВКА

## о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

### Проверка выполнена в системе Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Харюзов Дмитрий Владимирович
Подразделение	
Тип работы	Магистерская диссертация
Название работы	Харюзов Д.В,
Название файла	Харюзов Д.В, РАБОТА на антиплагиат.docx
Процент заимствования	<b>8.69 %</b>
Процент самоцитирования	<b>0.00 %</b>
Процент цитирования	<b>10.70 %</b>
Процент оригинальности	<b>80.61 %</b>
Дата проверки	<b>06:26:46 21 июня 2020г.</b>
Модули поиска	Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по elibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Коллекция Медицина; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Модуль поиска перефразирований Интернет; Коллекция Патенты; Модуль поиска общеупотребительных выражений; Модуль поиска "СВФУ"; Кольцо вузов
Работу проверил	Иванов Виктор Наумович ФИО проверяющего
Дата подписи	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"><div style="width: 60%;"></div><div style="width: 35%; text-align: right;">Подпись проверяющего</div></div>

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.