

Расчёт эффективности применения тамбура для снижения теплопотерь здания

Болтовский Лев Александрович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Приходько Себастьян Николаевич

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является описание методики расчёта и оценка эффективности применения тамбура как входного буферного помещения для снижения теплопотерь здания. В ходе работы использованы поисковые, аналитические и вычислительные методы исследования, позволившие определить теплопотери от инфильтрации воздуха и теплопередачи через входную дверь до и после устройства тамбура. В результате установлено, что применение тамбура снижает расчётную тепловую нагрузку входной зоны с 3,24 до 1,16 кВт, а суммарная годовая экономия составляет около 4,75 МВт·ч, или 4,09 Гкал.

Ключевые слова: тамбур, теплопотери, инфильтрация, энергоэффективность, входная зона.

Calculation of the vestibule application efficiency for reducing building heat losses

Boltovskiy Lev Alexandrovich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Prihodko Sebastian Nikolayevich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this study is to describe a calculation methodology and evaluate the efficiency of a vestibule as an entrance buffer room for reducing heat losses in a building. The work uses exploratory, analytical and computational research methods to determine heat losses from air infiltration and heat transfer through the entrance door before and after the vestibule installation. As a result, it was found that the vestibule reduces the calculated heat load of the entrance area from 3.24 to 1.16 kW, while the total annual energy saving is about 4.75 MWh, or 4.09 Gcal.

Keywords: vestibule, heat losses, air infiltration, energy efficiency, entrance area.

1 Введение

1.1 Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена тем, что входная зона здания является одним из наиболее уязвимых участков с точки зрения теплового режима. При открывании наружной двери в помещение поступает холодный воздух, а нагретый внутренний воздух вытесняется наружу. Такие потери особенно заметны в общественных и административных зданиях, где вход используется регулярно в течение рабочего дня.

Тамбур выполняет функцию промежуточного буферного пространства между улицей и внутренним помещением. При правильном устройстве две двери тамбура не открываются одновременно, поэтому прямой поток холодного воздуха в основное помещение уменьшается. Это позволяет снизить инфильтрационные теплопотери, повысить комфорт в зоне входа и уменьшить нагрузку на систему отопления.

1.2 Обзор исследований

В статье О. Г. Чесноковой [1] рассмотрены вопросы проектирования утепления входных узлов гражданских зданий, включая тамбуры и примыкающие к ним зоны. В исследовании В. И. Веснина [2] показано влияние инфильтрации воздуха на тепловые потери помещений и предложены подходы к расчёту воздухообмена через проёмы. В работе В. П. Грахова [3] проведён анализ энергосберегающих мероприятий в жилищном строительстве; отдельно отмечается, что входные двери с учётом инфильтрации могут давать заметную долю общих теплопотерь здания. В статье И. В. Денисова [4] энергоэффективность рассматривается как совокупность проектных, эксплуатационных и организационных решений; среди практических мер называется устройство тёплого тамбура. В работе А. Ю. Жигулиной [5] анализируются ключевые принципы проектирования энергоэффективных зданий, включая снижение эксплуатационных затрат и улучшение микроклимата.

1.3 Цель исследования

Целью исследования является описание методики расчёта и непосредственный расчёт эффективности применения тамбура для снижения теплопотерь здания.

2 Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается условное общественное здание с одним основным входом. Сравниваются два варианта: входная дверь без тамбура и входная зона с неотапливаемым тамбуром, имеющим наружную и внутреннюю дверь. Расчёт выполнен для отопительного периода и учитывает два вида потерь: теплопотери на

нагревание инфильтрующегося наружного воздуха и теплопередачу через дверное заполнение.

Методика основана на расчёте воздухообмена через открываемую дверь и определении тепловой мощности, необходимой для нагрева поступающего воздуха. Для оценки годовой экономии расчётная мощность умножается на продолжительность работы входной зоны в отопительный период. Для передачи теплоты через дверь используется формула теплопередачи через ограждающую конструкцию.

3 Результаты и обсуждение

Для расчёта принято условное здание с интенсивным, но не экстремальным использованием входа в течение рабочего дня. Исходные данные приведены в таблице (Табл. 1).

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта

Параметр	Обозначение	Значение
Площадь здания	S	300 м ²
Ширина входной двери	b	1,2 м
Высота входной двери	h	2,1 м
Площадь открытого проёма	A	2,52 м ²
Температура воздуха внутри здания	t _{вн}	+22 °C
Средняя наружная температура отопительного периода	t _{нар}	–8 °C
Расчётная разность температур	ΔT	30 °C
Температура воздуха в тамбуре	t _т	+5 °C
Коэффициент теплопередачи двери	U	1,8 Вт/(м ² ·°C)
Скорость потока воздуха через проём	v	0,35 м/с
Продолжительность одного открывания двери	τ	5 с
Количество открываний в час	n	70 раз/ч
Продолжительность отопительного периода	z	220 суток
Активное время работы входа	t	10 ч/сут

Площадь открытого дверного проёма определяется по формуле

$$A = b \cdot h$$

После подстановки значений получаем

$$A = 1,2 \cdot 2,1 = 2,52 \text{ м}^2$$

Расход воздуха через дверь без тамбура при периодическом открывании можно определить по выражению

$$L_0 = A \cdot v \cdot \tau \cdot n$$

где

L_0 – объём воздуха, поступающий через входной проём за один час $\text{м}^3/\text{ч}$.

A – площадь проёма, м^2 .

v – средняя скорость воздуха через проём, $\text{м}/\text{с}$.

τ – продолжительность открывания, с.

n – количество открываний за час.

$$L_0 = 2,52 \cdot 0,35 \cdot 5 \cdot 70 = 308,7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Тепловая мощность, необходимая для нагрева поступившего холодного воздуха, определяется по формуле

$$Q_{\text{инф}} = 0,335 \cdot L \cdot \Delta T$$

где

0,335 – удельная теплоёмкость воздуха в расчётной форме, $\text{Вт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

L – расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$.

ΔT – разность температур внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

Для входа без тамбура теплопотери от инфильтрации составят

$$Q_{\text{инф}0} = 0,335 \cdot 308,7 \cdot 30 = 3102 \text{ Вт} \approx 3,10 \text{ кВт}$$

При наличии тамбура прямой воздухообмен между улицей и основным помещением уменьшается. В расчёте это учитывается коэффициентом снижения воздухообмена $k_T = 0,35$.

$$L_T = k_T \cdot L_0$$

$$L_T = 0,35 \cdot 308,7 = 108,0 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_{\text{инфт}} = 0,335 \cdot 108,0 \cdot 30 = 1086 \text{ Вт} \approx 1,09 \text{ кВт}$$

Снижение теплопотерь на инфильтрацию определяется как разность теплопотерь до и после устройства тамбура.

$$\Delta Q_{\text{инф}} = Q_{\text{инф}0} - Q_{\text{инфт}}$$

$$\Delta Q_{\text{инф}} = 3,10 - 1,09 = 2,01 \text{ кВт}$$

$$\eta_{\text{инф}} = \left(\frac{2,01}{3,10} \right) \cdot 100\% \approx 65\%$$

Дополнительно рассмотрим теплопередачу через дверное заполнение. Без тамбура наружная дверь отделяет отапливаемое помещение от наружного воздуха.

$$Q_d = U \cdot A_d \cdot \Delta T$$

$$Q_{d0} = 1,8 \cdot 2,52 \cdot 30 = 136 \text{ Вт} \approx 0,136 \text{ кВт}$$

При устройстве тамбура внутренняя дверь отделяет основное помещение уже не от наружного воздуха, а от более тёплого буферного пространства. В расчёте температура тамбура принята равной +5 °С.

$$Q_{dT} = 1,8 \cdot 2,52 \cdot (22 - 5) = 77 \text{ Вт} \approx 0,077 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_d = 0,136 - 0,077 = 0,059 \text{ кВт}$$

Годовая экономия тепловой энергии от снижения инфильтрационных теплопотерь определяется по формуле

$$E_{\text{инф}} = \Delta Q_{\text{инф}} \cdot t \cdot z$$

$$E_{\text{инф}} = 2,016 \cdot 10 \cdot 220 = 4436 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Годовая экономия за счёт уменьшения теплопередачи через внутреннюю дверь рассчитывается для всего отопительного периода, так как теплопередача через дверь происходит постоянно.

$$E_d = \Delta Q_d \cdot 24 \cdot z$$

$$E_d = 0,059 \cdot 24 \cdot 220 = 311 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Тогда общая годовая экономия тепловой энергии составит

$$E_{\text{общ}} = 4436 + 311 = 4747 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \approx 4,75 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

$$E_{\text{общ}} = 4747 / 1162,2 \approx 4,09 \text{ Гкал}$$

Из таблицы (Табл. 2) видно, что основной эффект тамбура связан со снижением инфильтрации воздуха при открывании двери. Передача теплоты через саму дверь также уменьшается, но её вклад в данном примере значительно меньше, чем вклад воздухообмена. Это объясняется тем, что при частом открывании двери через проём за отопительный период проходит большой объём холодного воздуха.

Таблица 2 – Сравнение теплопотерь входной зоны

Показатель	Без тамбура	С тамбуром	Изменение
Расход инфильтрующегося воздуха, м³/ч	308,7	108,0	–200,7
Теплопотери на инфильтрацию, кВт	3,10	1,09	–2,01
Теплопередача через дверь, кВт	0,136	0,077	–0,059
Суммарная тепловая нагрузка входной зоны, кВт	3,24	1,16	–2,08

Годовая экономия тепловой энергии	—	—	4,75 МВт·ч
Эквивалент годовой экономии	—	—	4,09 Гкал

Для ориентировочной экономической оценки можно принять условную стоимость тепловой энергии 2500 руб./Гкал. Тогда годовой денежный эффект составит

$$\mathcal{E} = 4,09 \cdot 2500 = 10\,225 \text{ руб./год}$$

Если ориентировочная стоимость устройства простого тамбура составляет 90 000 руб., то срок окупаемости будет равен

$$T_{\text{ок}} = \frac{90\,000}{10\,225} \approx 8,8 \text{ года}$$

Данный срок является условным, поскольку фактическая эффективность зависит от климата, количества открываний двери, герметичности притворов, площади входного проёма, наличия доводчиков, режима работы здания и тарифа на тепловую энергию. При более высокой проходимости здания эффект от тамбура будет возрастать.

4 Выводы

В ходе работы была рассмотрена методика расчёта эффективности применения тамбура для снижения теплопотерь здания. Расчёт показал, что устройство тамбура уменьшает поступление холодного воздуха во внутренние помещения и снижает тепловую нагрузку входной зоны.

Для принятого примера расход инфильтрующегося воздуха уменьшился с 308,7 до 108,0 м³/ч, а теплопотери на инфильтрацию снизились с 3,10 до 1,09 кВт. Суммарная расчётная тепловая нагрузка входной зоны уменьшилась примерно на 64%.

Годовая экономия тепловой энергии составила около 4,75 МВт·ч, или 4,09 Гкал. Следовательно, тамбур можно рассматривать как эффективное объёмно-планировочное решение, особенно для зданий с интенсивным использованием входа в холодный период года. Практическая значимость работы заключается в возможности применения приведённого алгоритма при предварительной оценке энергоэффективности входных групп общественных, административных и жилых зданий.

Библиографический список

1. Чеснокова О. Г. Чередниченко Т. Ф. Чеснокова В. Д. Чеснокова М. Д. Актуальные вопросы проектирования утепления входных узлов гражданских зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. №. 2(83). С. 221-228. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46326897> (Дата обращения: 23.06.2026).

2. Веснин В. И. Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проёмы // Градостроительство и архитектура. 2016. №. 3(24). С. 10-16. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27169577> (Дата обращения: 23.06.2026).
3. Грахов В. П. Мохначев С. А. Егорова В. Г. Эффективность энергосберегающих мероприятий в жилищном строительстве // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 2-1. С. 273. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24123106> (Дата обращения: 23.06.2026).
4. Денисов И. В. Петренко Е. С. Тогайбева Л. И. Энергоменеджмент, энергоэффективность и "зеленые" технологии в строительстве и функционировании объектов недвижимости в России // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10, №. 4. С. 1071-1084. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42900281> (Дата обращения: 23.06.2026).
5. Жигулина А. Ю., Юрченко Ю. И. Энергоэффективные здания: ключевые принципы и практика проектирования и строительства // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, №. 4(57). С. 118-124. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80457048> (Дата обращения: 23.06.2026).