

УДК 697.1:536

РЕЖИМ ИНФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА И РАЗМЕРОВ НЕПЛОТНОСТЕЙ

В.А. Зафатаев

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь
e-mail: v.zafataev@psu.by

Проанализирован нормативный метод расчёта количества теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха, предполагающий определение затрат теплоты пропорционально расчётным расходам инфильтрующегося воздуха и пропорционально нормативному расходу удаляемого воздуха. Показано, что в ряде случаев для многоэтажных зданий простых архитектурных форм и с повторяющимся функциональным назначением помещений каждого этажа, – жилых, общественных и административных, – изменения параметров наружного воздуха и размеров неплотностей в наружных ограждающих конструкциях незначительно влияют на режим инфильтрации, и в таких случаях допустимо ограничиться расчётом инфильтрации по нормативному расходу удаляемого воздуха.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, инфильтрация, неплотности, расход теплоты.

INFILTRATION MODE THROUGH EXTERNAL BUILDING CONSTRUCTIONS DEPENDING ON OUTDOOR AIR PARAMETERS AND LEAKS SIZES

V. Zafatayeu

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus
e-mail: v.zafataev@psu.by

This paper analyzes the standard method for calculating the amount of heat required for heating the infiltrating outdoor air. This method assumes heat consumption is proportional to the estimated infiltrating air flow rate and the standard exhaust air flow rate. It is shown that in some cases of multi-story buildings with simple architectural forms and repetitive functional purposes for each floor, – residential, public and administrative, – changes in outdoor air parameters and leaks sizes in the external building constructions have little effect on the infiltration mode. In such cases, it is acceptable to limit the calculation of infiltration by second method – based on the standard exhaust air flow rate.

Keywords: building constructions, infiltration, leaks, heat consumption.

Введение. Строительные материалы являются, как правило, материалами пористыми, следовательно, обладают воздухопроницаемостью. Если фильтрация воздуха через ограждение идёт в направлении от наружного воздуха в помещение, её называют *инфильтрацией*, если наоборот – *эксфильтрацией*.

В зимних условиях, когда холодный воздух фильтруется через ограждение, увеличиваются теплопотери здания и снижается температура внутренних поверхностей ограждений. Фильтрация влажного внутреннего воздуха увлажняет материал и снижает теплозащитные качества ограждений [1]. Поэтому для определения долговечности наружных ограждающих конструкций под воздействием инфильтрации, устойчивости температурно-влажностного режима помещений исследование режима инфильтрации зданий в зависимости от установившихся параметров наружного воздуха и размеров неплотностей является актуальной задачей.

Исследовательская часть. Так как проникновение воздуха через стены и покрытие невелико, то при определении тепловых балансов помещений выполняется только расчёт максимально возможной инфильтрации через окна и двери. При этом в расчётах условно принимается, что окна и двери находятся на наветренной стороне здания [2].

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха Q_i , Вт, определяется нормативным методом – согласно приложению Л СП 4.02.06-2024:

$$Q_i = 0,28 \sum G_i c \cdot (t_p - t_i) \cdot k, \quad (1)$$

где G_i – расход инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещения, кг/ч, определяемый по формуле (2);

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°C);

t_p – расчетная температура воздуха, °C, в помещении (средняя с учетом повышения для помещений высотой более 4 м);

t_i – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года (параметры Б); численно равна температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный:

0,7 – для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами;

0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами;

1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

Расход инфильтрующегося воздуха в помещении G_i , кг/ч, через неплотности наружных ограждающих конструкций:

$$G_i = 0,216 \sum A_1 \frac{\Delta p_i^{0,67}}{R_B} + \sum A_2 G_H \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + \\ + 3456 \sum A_3 \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \sum l \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1}, \quad (2)$$

где A_1, A_2 – площади наружных ограждающих конструкций, м², соответственно световых проемов (окон, балконных дверей, фонарей) и других ограждающих конструкций (например, наружных стен);

A_3 – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях, м²;

$\Delta p_i, \Delta p_1$ – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на расчетном этаже при $\Delta p_1 = 10$ Па;

R_B – сопротивление воздухопроницанию заполнения оконного проёма, м²·ч·Па/кг, согласно приложению М СП 2.04.01-2020;

G_H – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, кг/(м²·ч); принимают по таблице 9.1 СП 2.04.01-2020;

l – длины горизонтальных и вертикальных стыков стеновых панелей, м.

Расчетная разность давлений Δp_i , Па:

$$\Delta p_i = (H - h_i) \cdot (\gamma_H - \gamma_B) + 0,5 \rho_H v^2 \cdot (c_{en} - c_{ep}) \cdot k_h - p_{int}, \quad (3)$$

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

h_i – расчетная высота от уровня земли до верха окон, балконных дверей, дверей, ворот, проёмов или до оси горизонтальных и середины вертикальных стыков стеновых панелей, м;
 γ_n, γ_b – удельный вес соответственно наружного (при средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92) и внутреннего воздуха, Н/м³;

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (4)$$

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³; определяют по формуле:

$$\rho_n = \frac{\gamma_n}{9,8}. \quad (5)$$

Здесь v_{cp} – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе, повторяемость которых составляет 16% и более, м/с; для г. Полоцка равна 4,2 м/с согласно таблице 3.1 изменения № 1 к СНБ 2.04.02-2000. Для типовых проектов v_{cp} принимают равной 5 м/с;

c_{en}, c_{ep} – аэродинамические коэффициенты соответственно наветренной и подветренной поверхностей ограждающих конструкций здания; принимают в соответствии с рисунком 7.5 и таблицей 7.1 СН 2.01.05-2019;

k_h – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания; принимают в соответствии с примечанием к таблице 7.1 СН 2.01.05-2019;

p_{int} – условно-постоянное давление воздуха в здании, Па. Для помещений со сбалансированной вентиляцией (вытяжка полностью компенсируется подогретым притоком) или при отсутствии организованной вентиляции условно-постоянное давление воздуха p_{int} принимается равным наибольшему избыточному давлению в верхней точке заветренной стороны здания, обусловленному действием гравитационного и ветрового давлений и может быть определено по формуле:

$$p_{int} = 0,5H \cdot (\gamma_n - \gamma_b) + 0,25\rho_n v^2 \cdot (c_{en} - c_{ep}) \cdot k_h. \quad (6)$$

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха Q_i , Вт, в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, согласно приложению Л СП 4.02.06-2024 следует принимать равным большей из величин, полученных в результате расчета по формулам (1) или (7):

$$Q_i = 0,28L_n \rho c \cdot (t_p - t_i) \cdot k, \quad (7)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч; для жилых зданий нормативный расход удаляемого воздуха принимается в соответствии с прил. Г СН 3.02.01-2019 в зависимости от назначения расчётного помещения;

$\rho = \gamma_b/9,8$ – плотность воздуха в помещении, кг/м³;

γ_b – то же, что в формуле (3);

c, t_p, t_i, k – те же, что в формуле (1).

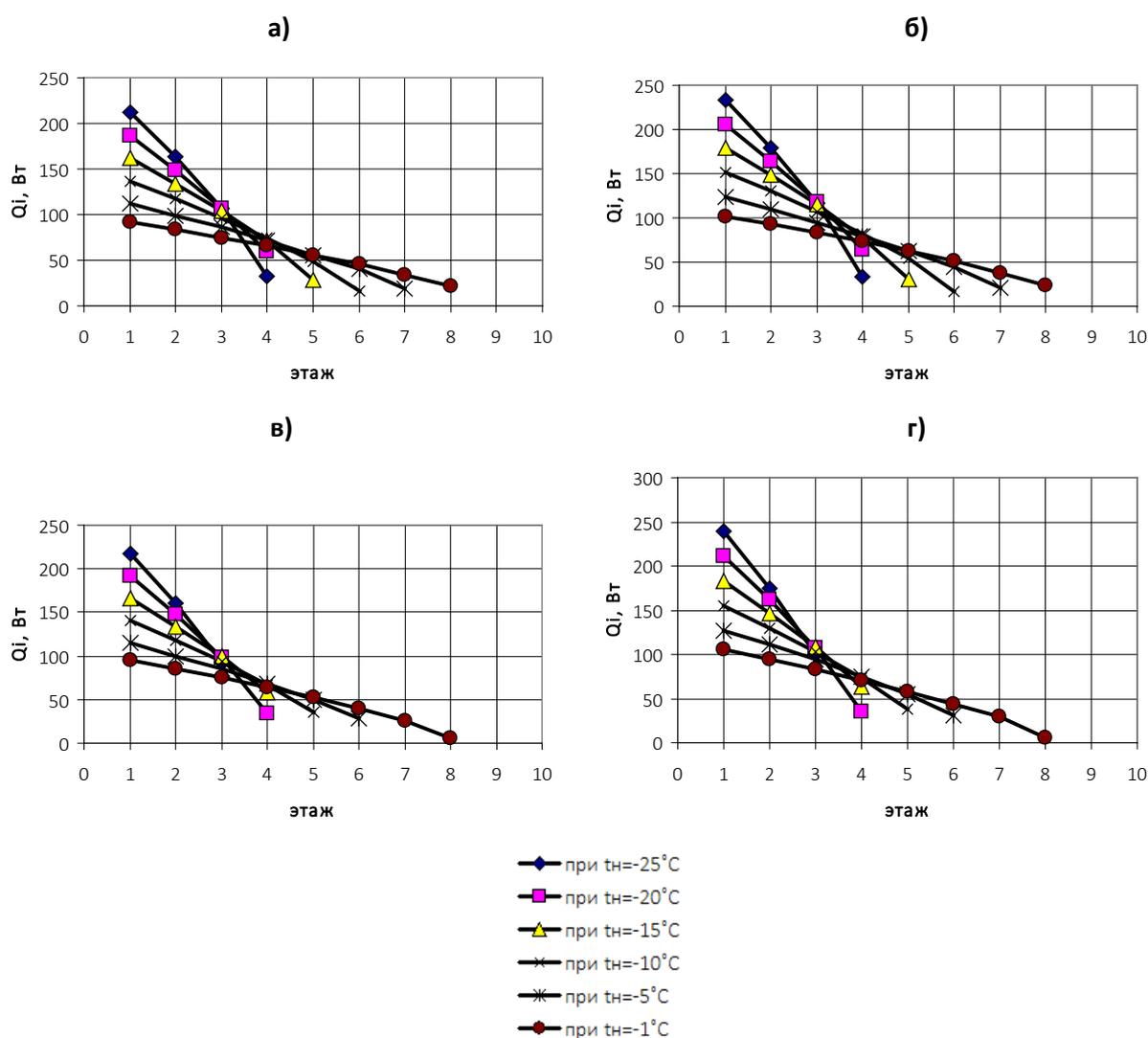
Согласно вышеприведённой методике выполнено математическое моделирование режима инфильтрации многоэтажного здания с наружным фасадом в виде панелей и с повторяющимся функциональным назначением помещений каждого этажа. К таковым относятся многоэтажные жилые, общественные и административные здания простых архитектурных

форм – в виде параллелепипеда. В качестве независимых переменных приняты конструктивные характеристики наружных стен фасадов и параметры наружного воздуха:

- количество этажей (1–10);
- высота этажа по внутреннему обмеру (2,5 м и 2,8 м);
- высота оконных проёмов (1,5 м и 1,8 м);
- температура наружного воздуха (в диапазоне от расчётной в холодный период по параметрам Б для г. Полоцка и до средней температуры наружного воздуха за отопительный период);
- скорость ветра (максимальная в январе для г. Полоцка, и выше).

Размеры неплотностей (длины стыков и швов) в наружной ограждающей конструкции здания определялись в зависимости от задаваемых размеров оконных проёмов и высоты этажа.

Результаты исследования представлены на рисунках 1–3.



- а) высота оконного проёма 1,5 м, высота этажа по внутреннему обмеру 2,5 м;
- б) высота оконного проёма 1,8 м, высота этажа по внутреннему обмеру 2,5 м;
- в) высота оконного проёма 1,5 м, высота этажа по внутреннему обмеру 2,8 м;
- г) высота оконного проёма 1,8 м, высота этажа по внутреннему обмеру 2,8 м.

Рисунок 1. – Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха в расчёте на одну панель по этажам при различных температурах наружного воздуха и скорости ветра 5 м/с

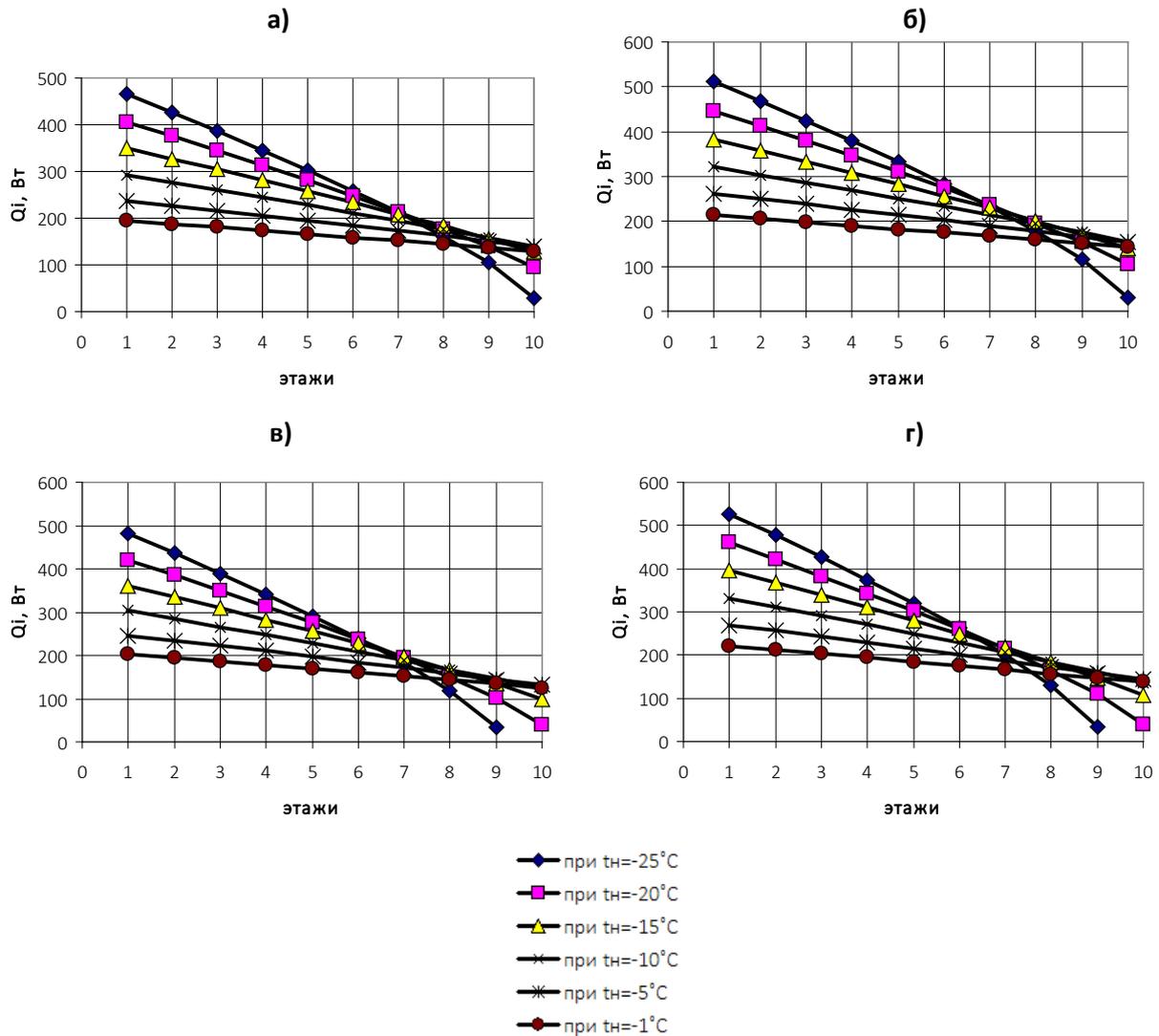


Рисунок 2. – Расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха в расчёте на одну панель по этажам при различных температурах наружного воздуха и скорости ветра 8 м/с

Исследованием установлены следующие характеристики инфильтрационного режима:

1. На верхнем горизонтальном стыке 3-го этажа наветренного фасада при нормативных параметрах наружного воздуха будет формироваться режим эксфильтрации вне зависимости от выбранных для исследования высоты этажа и высоты оконного проёма.

2. Увеличение высоты окна с 1,5 м до 1,8 м не изменяет режим инфильтрации по этажам, описанный в п.1, но приводит к увеличению расхода теплоты на подогрев инфильтрующегося воздуха Q_i на 8%.

3. Увеличение высоты этажа по внутреннему обмеру с 2,5 м до 2,8 м не изменяет режим инфильтрации по этажам, описанный в п.1, но приводит к увеличению расхода теплоты на подогрев инфильтрующегося воздуха Q_i на первом этаже на 2% и его уменьшению на 1–2% на втором этаже. В указанных условиях при увеличении скорости ветра свыше 5 м/с режим эксфильтрации формируется на один этаж ниже.

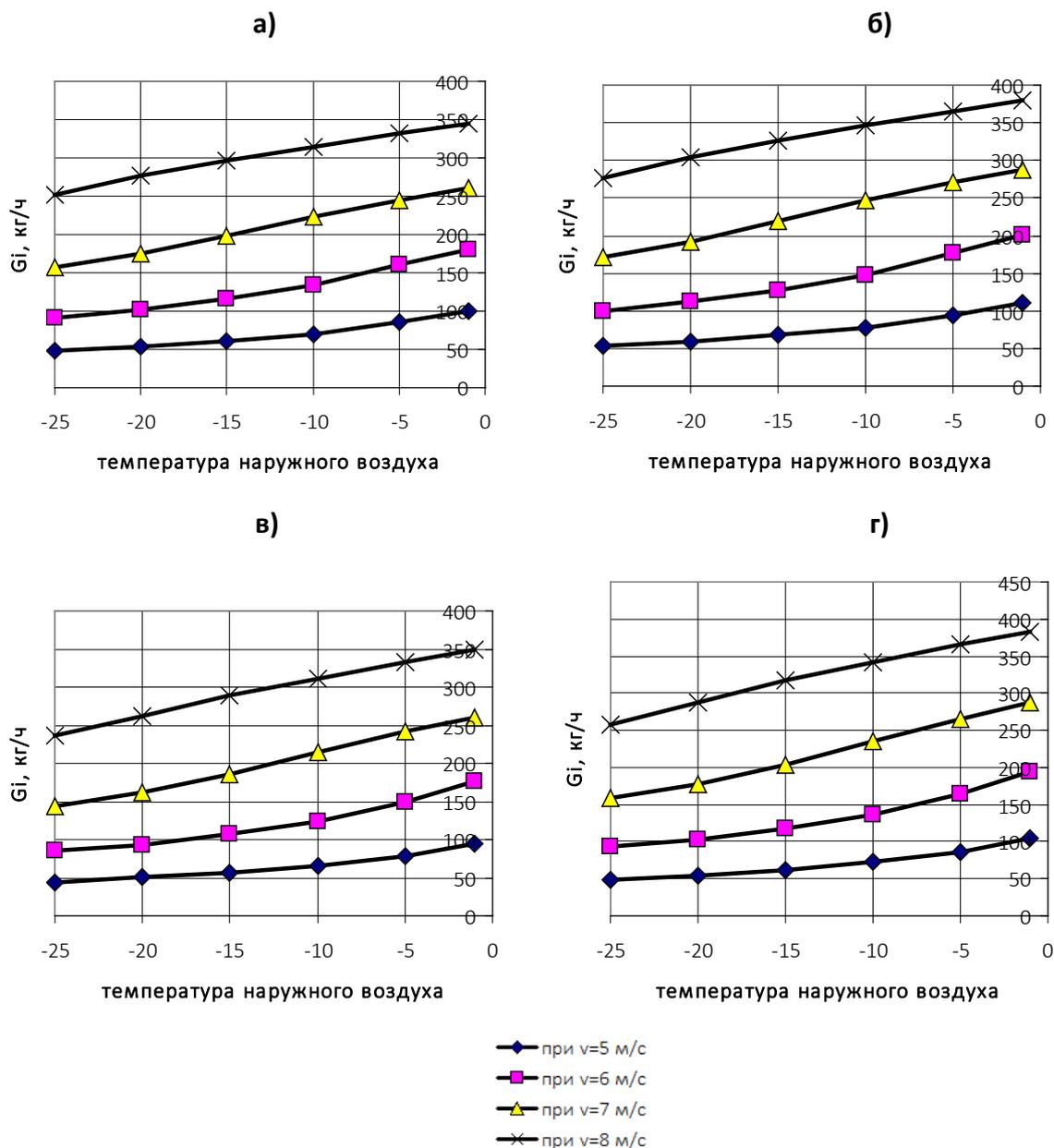


Рисунок 3. – Общий расход инфильтрующегося воздуха по этажам через элементы наружной ограждающей конструкции в расчёте на одну панель в зависимости от температуры наружного воздуха

4. При увеличении температуры наружного воздуха t_i расчётная разность давлений Δp_i и расход инфильтрующегося воздуха G_i возрастают, а Q_i снижается. Если при этом также возрастает скорость ветра v , то зона эксфильтрации перемещается на этажи выше. Например, при $t_i = -25^\circ\text{C}$ и $v = 5$ м/с зона эксфильтрации формируется на 4 этаже, а при $t_i = -1^\circ\text{C}$ и $v = 5$ м/с – на 9 этаже. При $t_i = -25^\circ\text{C}$ и $v = 6$ м/с зона эксфильтрации формируется на 6 этаже, а при $t_i \geq -5^\circ\text{C}$ и $v = 6$ м/с – всё здание находится в режиме инфильтрации. При $t_i = -25^\circ\text{C}$

и $v = 7$ м/с зона эксфильтрации формируется на 8 этаже, а при $t_i \geq -10^\circ\text{C}$ и $v = 7$ м/с – всё здание находится в режиме инфильтрации. При $t_i = -25^\circ\text{C}$ и $v = 8$ м/с зона эксфильтрации формируется только на верхнем горизонтальном стыке 10 этажа. Описанная ситуация аналогична для обоих вариантов выбранных для исследования высот оконных проёмов.

5. При увеличении скорости ветра v на каждый 1 м/с расход теплоты на подогрев инфильтрующегося воздуха Q_i увеличивается на 19–27% (чем выше v , тем меньше прирост Q_i). Указанное обстоятельство характерно для обоих вариантов выбранных для исследования высот оконного проёма и этажа.

6. При увеличении высоты окна с 1,5 м до 1,8 м расход инфильтрующегося воздуха G_i возрастает на 9–10% и практически не зависит от скорости ветра.

7. При увеличении высоты этажа с 2,5 м до 2,8 м расход инфильтрующегося воздуха G_i уменьшается: при скоростях ветра, близких к нормативным для января – на 6–7%, при увеличении скорости ветра на каждый 1 м/с – уменьшается наполовину от предыдущего значения, а при $v \geq 8$ м/с G_i возрастает на 1%.

8. При скорости ветра $v = 7$ м/с расход инфильтрующегося воздуха G_i возрастает почти линейно росту температуры наружного воздуха.

9. Чем выше температура наружного воздуха, меньше высота окна и этажа, тем более линейно по высоте здания снижается расход теплоты на подогрев инфильтрующегося воздуха Q_i .

10. Для жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции и количестве типовых этажей от 4 и более расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха Q_i , определённый по формуле (7), будет иметь бóльшую величину, чем определённый по формуле (1).

Заключение. Результаты проведённого анализа режима инфильтрации позволят сократить время, затрачиваемое проектировщиками в целях расчётов расхода теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха. В большей степени выводы и рекомендации, приведённые в настоящей статье, пригодны для многоэтажных зданий простых архитектурных форм и с повторяющимся функциональным назначением помещений каждого этажа – жилых, общественных и административных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасевич, А. М. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений : учеб. пособие / А. М. Протасевич. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 239 с.
2. Куприянов, В. Н. Проектирование теплозащиты ограждающих конструкций : учеб. пособие / В. Н. Куприянов. – Казань: КГАСУ, 2011. – 161 с.