PolotskSU

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА

БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)

АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)

ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

Электронный сборник статей
международной научной конференции,
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2018

PolotskSU

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:
А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

ISBN 978-985-531-608-5 © Полоцкий государственный университет, 2018

PolotskSU

УДК 697.911, 697.921.22

МЕТОДИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РЕГУЛИРУЕМОЙ ИНФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ НАВЕСНЫЕ ВЕНТИЛИРУЕМЫЕ ФАСАДЫ И РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ПРИТОЧНЫЕ ВЕНТБЛОКИ РПВЭ КОНСТРУКЦИИ ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

В.И. Липко, Н.В. Кундро, А.С. Лапезо
Полоцкий государственный университет, Беларусь
email: kafedratgsv@mail.ru

Представлена методика аэродинамического расчета инфильтрующегося воздуха многоэтажных зданий с вентилируемыми навесными фасадами. Расчет предполагает определение аэродинамического сопротивления представленной конструкции и последующего подбора рекуперативных приточных вентиляционных блоков типа РП ВЭ, разработанных на базе «Полоцкого государственного университета»

Ключевые слова: аэродинамический расчет, инфильтрация, рекуперация, воздухоснабжение, наружный приточный воздух, комфорт, микроклимат.

TECHNIQUE OF AERODYNAMIC CALCULATION REGULATED INFILTRATION THROUGH THE VENTILATED FACADES AND RECUPERATIVE AIR VENT BLOCKS CONSTRUCTION OF POLOTSK STATE UNIVERSITY

V. Lipko, N. Kundra, A. Lapezo
Polotsk State University, Belarus
email: kafedratgsv@mail.ru

In the articlethere isthe technique of aerodynamic calculation of infiltration air multi-storey buildings with curtain ventilated facades. The calculation involves the determination of aerodynamic resistance provided by the construction and subsequent selection of the turndown inlet vent blocks, developed on the basis of the «Polotsk State University»

Keywords: aerodynamic calculation, infiltration, recovery, outdoor air supply, comfort, microclimate.

Строительство энергоэффективных зданий с использованием материалов, обладающих высокими теплозащитными характеристиками. Однако данные конструкции зачастую предполагают снижение воздухопроницаемости здания в целом. Поддержание требуемого воздухообмена в таких зданиях для соответствия нормативным значениям возможно только при организованном притоке наружного воздуха. При строительстве здания использование блоков РПВЭ, разработанных на базе «Полоцкого государственного университета», помогает решить данный вопрос.

Рассмотрим жилое девятиэтажное здание с навесными вентилируемыми фасадами и рекуперативными вентблоками с инновационной технологией управляемой инфильтрации по схеме (рис. 1 а, б, в) [1]. Для расчета принимаем помещение жилой комнаты, ориентированной на восток, с размерами 4,6×4,5 м, высота этажа 3,0 м, размер оконного проема 1,5× 1,5 м. Значения приведенного сопротивления теплопередаче для наружных стен –

PolotskSU

3,2 м²×°С/Вт. Количество воздуха, подаваемого в помещение жилой комнаты по нормативам 3м³/(ч·м²):

$$L_{ж.к.} = F_{ж.к.} \times L^{норм}_{ж.к.} = (4,6 \times 4,5) \times 3 = 62 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

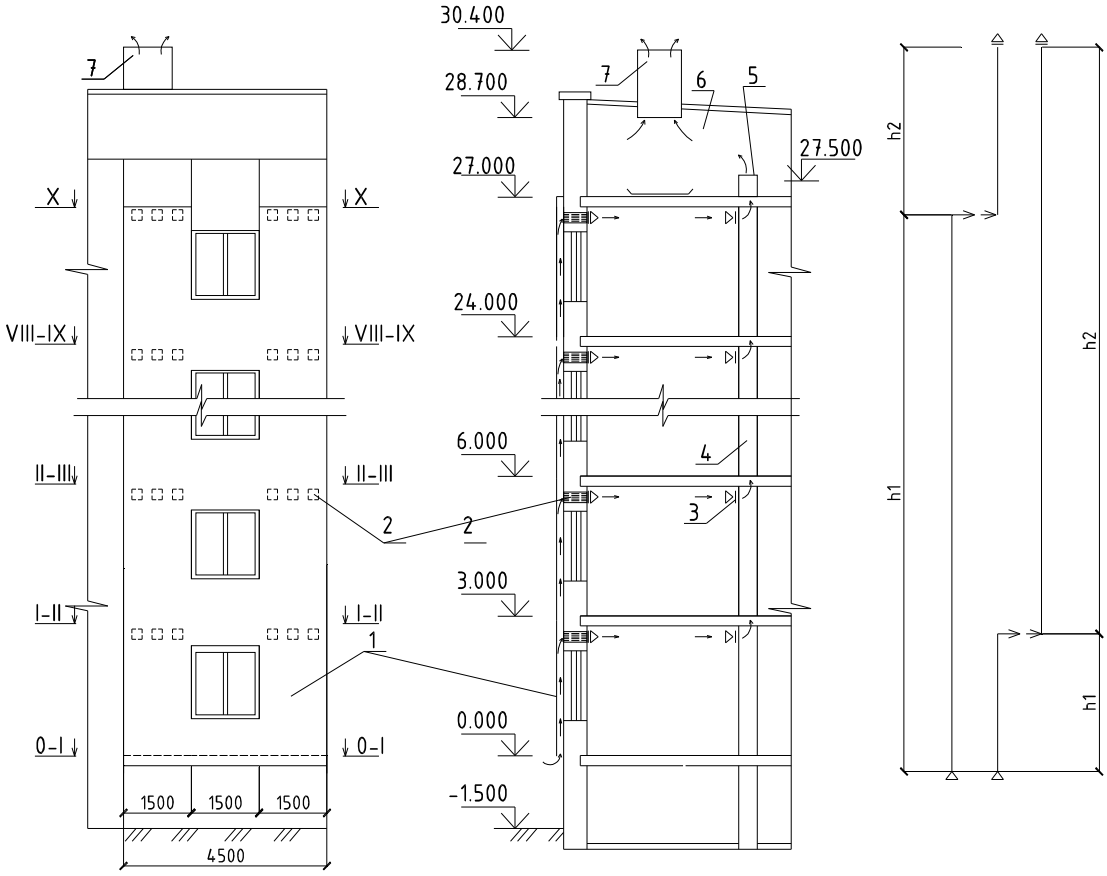

Рисунок 1. – Схема многоэтажного здания с энергоэффективным навесным фасадом и рекуперативными приточными блоками РПВЭ:

1 – навесной светопрозрачный фасад; 2 – рекуперативный вентиляционный приточный блок; 3 – вытяжная решетка; 4- вытяжной вентиляционный блок; 5 – оголовок шахты вытяжной системы; 6 – объем теплого чердака; 7 – вытяжная шахта

Потери теплоты через ограждающие конструкции можно определить по формуле:

$$Q_{нс} = \frac{F_{нс}}{R_{нс}} \cdot (t_в - t_н) \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot n \qquad (1)$$

где $F_{нс}$ – площадь наружной стены, м²;

$R_{нс}$ – приведенного сопротивления теплопередаче, м²×°С/Вт;

$t_в$, $t_н$ – температуры соответственно внутреннего и наружного воздуха, °С;

$\Sigma\beta$ – сумма поправок, учитывающих дополнительные потери теплоты на ориентацию ограждения;

n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху.

PolotskSU

При определении теплопотерьчерез ограждения стен помещением кухни было полученозначение:

$$Q^{1}_{н.с.} = \frac{4,5 \cdot 3,0 - 1,5 \cdot 1,5}{3,2} \cdot (18 + 25) \cdot (1 + 0,1) = 166 \text{ Вт.}$$

Расход теплоты на нагрев воздуха от температуры $t_н$ до $t_к$ можно определить по формуле

$$Q = 0,28 \cdot L_{н.ф.} \cdot c \cdot \rho_н \cdot (t_к - t_н), \quad (2)$$

тогда с учетом полной ассимиляции теплоты, поступающей в объем навесного фасада, можно определить температуру воздуха в сечении I-II.

$$t_к = \frac{Q}{0,28 \cdot L_{н.ф.} \cdot c \cdot \rho_н} + t_н \quad (3)$$

Подставив значения в уравнение определения температуры получим температуру наружноговоздуха со стороны фасада -23,91°С.

$$t_к^{I-II} = \frac{166}{0,28 \cdot 558 \cdot 1,0 \cdot 1,423} - 25 = -24,25^o C$$

Следовательно, теплопотери наружной стеной, определяемой по формуле (1) в пределах второго этажа составят:

$$Q^{2}_{н.с.} = \frac{4,5 \cdot 3,0 - 1,5 \cdot 1,5}{3,2} \cdot (18 + 24,25) \cdot (1 + 0,1) = 163 \text{ Вт,}$$

а температура в сечении II–III:

$$t_к^{II-III} = \frac{163}{0,28 \cdot 496 \cdot 1,0 \cdot 1,419} - 24,25 = -23,43^o C .$$

Аналогично производятся расчеты для всего фасада. Результаты сведены в таблицу 1. Общее снижение потерь теплоты через ограждающие конструкции по всем этажам составит 149 Вт.Средняя температура воздуха в навесном фасаде -18,95 °С.

По данным теплотехнического расчета (см. табл. 1) под навесным фасадом вдоль стены первого этажа температура наружного воздуха изменяется от $t_{нач} = -25°С$ до $t_{кон} = -24,25°С$, тогда при движении наружного воздуха в щелевом канале навесного фасада создается естественное гравитационное давление

$$P_{гр.}^{н.ф} = h_1 \cdot g \cdot (\rho_{нач} - \rho_{кон}) = 2,5 \cdot 9,8 \cdot (1,423 - 1,419) = 0,105 \text{ Па.} \quad (4)$$

Естественное гравитационное давление, создаваемое вытяжным каналом из помещения 1 этажа

$$P_{гр.}^{выт} = h_2 \cdot g \cdot (\rho_н - \rho_в) = 27,9 \cdot 9,8 \cdot (1,423 - 1,213) = 57,567 \text{ Па.} \quad (5)$$

PolotskSU

Таблица 1. – Расчет теплопотерь и температуры воздуха в навесном фасаде

Номер этажа	Потери теплоты ограждением, Вт	Температура наружного воздуха в сечении навесного фасада, $t_{н.ф.}$, °С		Плотность наружного воздуха ρ, кг/м^3	Расход воздуха в вентилируемом фасаде Lн.ф.	Перепад температур в сечении навесного фасада Δt, °С	Снижение потерь теплоты через наружную стену ΔQ, Вт
		на входе	на выходе				
1	166	-25	-24,25	1,423	558	0,75	0
2	163	-24,25	-23,43	1,419	496	0,83	3
3	160	-23,43	-22,50	1,414	434	0,93	6
4	157	-22,50	-21,43	1,409	372	1,07	9
5	152	-21,43	-20,18	1,403	310	1,25	14
6	148	-20,18	-18,65	1,396	248	1,53	18
7	142	-18,65	-16,69	1,388	186	1,96	24
8	134	-16,69	-13,88	1,377	124	2,80	32
9	123	-13,88	-8,68	1,362	62	5,20	43

Суммарное естественное гравитационное давление для помещения 1-го этажа составляет

$$P_{гр}^{\Sigma} = P_{гр}^{н.ф} + P_{гр}^{выт.} = 0{,}105 + 57{,}567 = 57{,}672 \text{ Па}. \quad (6)$$

Естественное гравитационное давление является движущей силой циркуляции воздуха при естественной вентиляции, а силой торможения является аэродинамическое сопротивление этому движению, которое состоит из потерь давления на трение и местные сопротивления воздуховодов или каналов, по которым осуществляется перемещение воздуха.

При аэродинамическом расчете инфильтрации через вентилируемые навесные светопрозрачные фасады и рекуперативные вентиляционные блоки РПВЭ необходимо учитывать аэродинамическое сопротивление при проходе воздуха через щелевые каналы $P_{н.ф}$навесного фасада, сопротивление вентблоков$P_{бл}$ и сопротивление вытяжных каналов вентиляционной системы $P_{в.к.}$в суммарном выражении

$$P_{\Sigma} = P_{н.ф} + P_{бл} + P_{в.к.}, \text{Па}. \quad (7)$$

Конструктивно щелевой канал навесного фасада имеет размеры $f = 5 \cdot 0{,}1 = 0{,}5 \text{ м}^2$.

Расход воздуха меняется поэтажно от$L_{пр} = 558 \text{ м}^3/\text{ч}$ на уровне 1-го этажа до $L_{пр} = 62 \text{ м}^3/\text{ч}$ на уровне 9-го этажа. Скорость воздуха на начальном участке на уровне 1-го этажа равна

$$v_{к}^{I} = \frac{558}{3600 \cdot 5{,}0 \cdot 0{,}1} = 0{,}31 \frac{м}{с};$$

$$d = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 0{,}1}{5+0{,}1} = 0{,}196 \text{ м}. \quad (8)$$

PolotskSU

Критерий Re определится из выражения

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu} = \frac{0{,}31 \cdot 0{,}196}{11{,}21 \cdot 10^{-6}} = 5422. \quad (9)$$

Коэффициент сопротивления трения по формуле Альтшуля

$$\lambda_{\text{тр}} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{68}{\mathrm{Re}} + \frac{k}{d}\right)^{0{,}25} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{68}{5422} + \frac{0{,}1}{0{,}196}\right)^{0{,}25} = 0{,}0935. \quad (10)$$

Потери давления на трение

$$P_{\text{тр}} = \frac{\lambda_{\text{тр}}}{d} \cdot \frac{\upsilon^2 \cdot \rho}{2} \cdot l = \frac{0{,}0935}{0{,}196} \cdot \frac{0{,}31^2 \cdot 1{,}421}{2} \cdot 2{,}5 = 0{,}081 \text{ Па}. \quad (11)$$

При входе воздух в конструкцию навесного фасада имеет местное сопротивление в виде внезапного сужения, коэффициент сопротивления составляет 0,5, тогда потери давления составят

$$Z = \zeta \cdot \frac{\upsilon^2 \cdot \rho}{2} = 0{,}5 \cdot \frac{0{,}31^2 \cdot 1{,}423}{2} = 0{,}034 \text{ Па}. \quad (12)$$

$$P_{\Sigma} = \mathrm{P}_{\text{тр}} + Z = 0{,}081 + 0{,}034 = 0{,}116 \text{ Па}. \quad (13)$$

При движении наружного воздуха вверх по щелевому каналу навесного фасада сечение остается постоянным, а расход воздуха уменьшается и потери давления снижаются до минимума.

Потери давления в рекуперативных вентблоках РПВЭ зависят от скорости в проходных каналах и при $d_{\text{к}} = 0{,}009$ ми скорости $\upsilon_{\text{к}} = 2{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$:

$$Re = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}009}{13{,}28 \cdot 10^{-6}} = 1938;$$

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{64}{\mathrm{Re}} = \frac{64}{1938} = 0{,}033;$$

$$P_{\text{бл}} = \sum \zeta \cdot \frac{\upsilon^2 \cdot \rho}{2} + \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{d} \cdot \frac{\upsilon^2 \cdot \rho}{2} = \left(\sum \zeta + \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{d}\right) \cdot \frac{\upsilon^2 \cdot \rho}{2}; \quad (14)$$

$$P_{\text{бл}} = \left(2{,}7 + 0{,}033 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}009}\right) \cdot \frac{2{,}5^2 \cdot 1{,}419}{2} = 16{,}856 \text{ Па}.$$

Потери давления в вытяжных каналах вентиляционных систем с $d_{\text{к,}} = 0{,}18$ ми скорости $\upsilon_{\text{к}} = 0{,}5$ м/с. $Re = \upsilon \cdot d / \nu = 0{,}5 \cdot 0{,}18 / 15{,}06 \cdot 10^{-6} = 5976$, а потери давления зависят от высоты канала в зависимости от этажности и максимальные значения составляет потеря давления в вытяжных каналах из помещения 1-го этажа

$$\lambda_{\text{тр}} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{68}{\mathrm{Re}} + \frac{k}{d}\right)^{0{,}25} = 0{,}11 \cdot \left(\frac{68}{5976} + \frac{0{,}1}{0{,}18}\right)^{0{,}25} = 0{,}0954;$$

$$P_{\text{в.к.}} = \left(2{,}9 + 0{,}0954 \cdot \frac{27{,}9}{0{,}18}\right) \cdot \frac{0{,}5^2 \cdot 1{,}213}{2} = 2{,}682 \text{Па}.$$

Суммарные потери давления составят

$$P_{\Sigma} = P_{\text{н.ф}} + P_{\text{бл}} + P_{\text{в.к.}} = 0{,}116 + 16{,}856 + 2{,}682 = 19{,}654 \text{ Па}.$$

PolotskSU

Поскольку на 1-ом этаже $P_{\text{гр}}^{I} = 57{,}672$ Па, а потери давления составляют $P_{\Sigma} = 19{,}654$ Па, то обеспечивается превышение $P_{\text{гр}}$ сил движения против сил торможения P_{Σ} и перепад давлений составляет

$$\Delta \text{P}_{\text{расп}} = P_{\text{гр}} - P_{\Sigma} \quad = 57{,}672 - 19{,}654 = 38{,}017 \text{ Па}$$

и обеспечивает стабильный режим естественной циркуляции воздуха, исключающий опрокидывание вентиляции.

Аналогичны расчеты для остальных этажей. Результаты выполненных расчетов при подборе вентблоков РПВЭ сведены в таблицу 2.

Таблица 2. – Результаты подбора вентблоков РПВЭ в зависимости от этажности помещений

$N_{\text{эт}}$	$P_{\text{гр}}^{\Sigma}$, Па	$P_{\text{н.ф}}$, Па	$P_{\text{бл}}$, Па	$P_{\text{в.к.}}$, Па	P_{Σ}, Па	$\Delta \text{P}_{\text{расп}}$, Па	$\upsilon_{\text{к}}$, м/с	$l_{\text{к}}$, м^3/ч	$n_{\text{к}}$, шт	$n_{\text{б}}$, шт
1	57,672	57,672	16,856	2,683	19,654	38,017	7,309	1,673	37,1	3
2	51,861	51,861	16,800	2,442	19,448	32,413	6,749	1,545	40,1	3
3	46,373	46,373	16,737	2,201	19,236	27,138	6,175	1,414	43,9	3
4	41,278	41,278	16,666	1,959	19,016	22,262	5,593	1,280	48,4	3
5	36,669	36,669	16,584	1,718	18,786	17,883	5,013	1,147	54,0	4
6	32,716	32,716	16,484	1,477	18,539	14,177	4,463	1,022	60,7	4
7	29,711	29,711	16,358	1,236	18,266	11,445	4,010	0,918	67,5	5
8	28,313	28,313	16,181	0,995	17,944	10,370	3,817	0,874	71,0	5
9	30,889	30,889	15,863	0,753	17,481	13,408	4,340	0,994	62,4	4

Предлагаемая инновационная технология управляемой инфильтрации обеспечивает нормативный воздухообмен для всех помещений здания, что подтверждается графически на представленном рис. 2, где на графике показана зависимость величины остаточного гравитационного давления $\Delta P_{\text{гр}}$ для вентилируемых помещений, расположенных на разных этажах, при расчетах по действующей нормативной базе и по предлагаемой инновационной технологии с навесными вентилируемыми светопрозрачными фасадами и рекуперативными приточными вентблоками РПВЭ, при которой обеспечивается минимальный перепад давлений $\Delta P_{\text{расп}} = 10{,}37$ Па при инфильтрации, что создает стабильный аэродинамический режим естественной циркуляции воздуха, исключающий опрокидывание вентиляции.

Из графика (см. рис. 2) видно, что максимальное значение остаточного естественного гравитационного $\Delta P_{\text{гр}} = 33{,}340$ Па для помещения первого этажа, рассчитанного по действующим нормативам меньше минимального значения остаточного естественного давления $\Delta P_{\text{гр}} = 38{,}017$ Па, рассчитанного по предлагаемой инновационной технологии управляемой инфильтрации наружного воздуха.

По величине нормативного воздухообмена вентилируемого помещения $L_i = 3 \cdot F_{\text{п}}, \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ определяется общее количество каналов $n_{\text{к}} = \frac{L_i}{l_{\text{к}}}, \text{шт.}$ После определения количества каналов в каждом вентблоке РПВЭ определяется их количество для установки в помещении. Данные выполненных расчетов сведены в таблице 2.

Так как в методике подбора ветблоков РПВЭ заложен принцип нейтрализации избыточного давления, аналогичный по действию установке диафрагм или других устройств, применяемых при наладке и регулировке систем вентиляции, то такая технология обеспечивает стабильный аэродинамический режим при эксплуатации герметизированных помещений вне зависимости от этажности и внешних воздействий.

PolotskSU

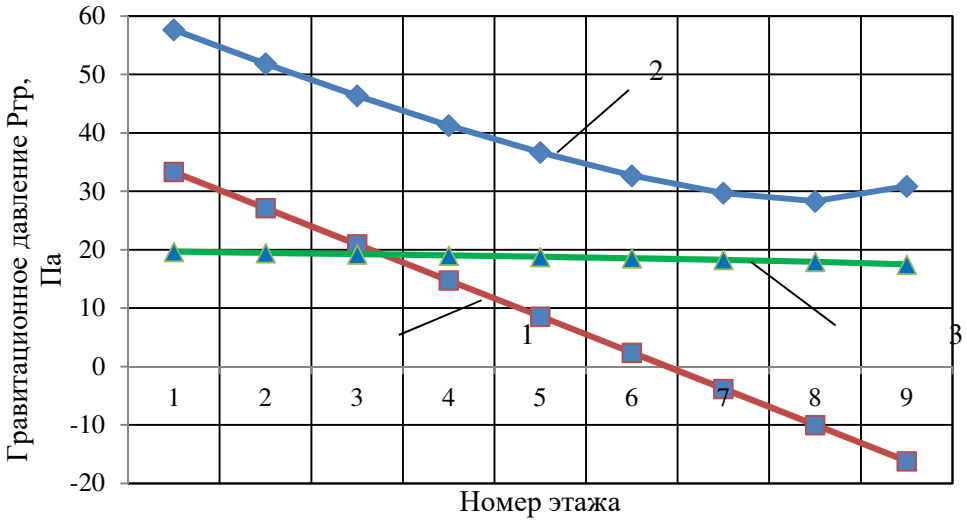

Рисунок 2. – График зависимости изменения остаточного естественного гравитационного давления $\Delta P_{гр}$ от этажности естественно вентилируемых помещений:

1 – изменение$\Delta P_{гр}$ по действующей нормативной базе от этажности помещений; 2 – изменение$\Delta P_{гр}$ по предлагаемой технологии; 3 – потери давления в предлагаемой конструкции

За счет снижения энергоресурсопотребления предлагаемая инновационная технология тепловоздухоснабжения зданий с использованием навесных вентилируемых светопрозрачных фасадов и рекуперативных вентблоков РПВЭ позволяет обеспечить регулируемый аэродинамический режим воздухоснабжения естественно вентилируемых помещений за счет инфильтрации со значительным снижением теплопотребления на отопление и вентиляцию благодаря использованию вторичных и природных энергоисточников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования = Будаўнічаяцеплатэхніка. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45-2.04-43-2006. – Введ. 29.12.2006 (с отменой на территории РБ СНБ 2.04.01-97). – Минск : Минскстройархитектура, 2006. – 36 с.

2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха = Ацяпленне, вентыляцыя і кандыцыяніраваннепаветра : СНБ 4.02.01-03. – Введ. 30.12.2003 (с отменой на территории РБ СНиП 2.04.05-91). – Минск : Минскстройархитектура, 2004. – 78 с.

3. Липко В.И. Вентиляция герметизированных зданий : в 2 т. / Липко, В.И. – Т. 1. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – 300 с.

4. Липко В.И. Вентиляция герметизированных зданий : в 2 т. / Липко, В.И. – Т. 2. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2000. – 246 с.

5. Липко, В.И. Теория исследования работы рекуперативных приточных вентиляционных элементов в инновационной технологии поддержания микроклимата герметизированных зданий [Электронный ресурс] / В.И. Липко, Н.В. Кундро // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1, № 1.

6. Липко, В.И. Методология построения математической модели инновационной технологии тепловоздухоснабжения герметизированныхзданий. / В.И. Липко, Н.В. Кундро // Материалы 4-й международной научно-практическойконференции, посвященной 55-летию строительного факультета и 85-летию БГИТУ. – Т. 2. – Брянск, 2015.

7. Рекуперативный приточный вентиляционный элемент : пат. 4651А. МПК F24F 13/08. 1С1 BY / В.И. Липко, В.А. Борвонов ; дата публ.: 30.09.2002.

8. Вентиляционное приточное устройство : пат. 4410С1 / В.И. Липко, В.А. Борвонов ; дата публ.: 30.03.02.