

А. Б. КОСТУГАНОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИИ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ВЕЛИЧИНУ ВОЗДУХООБМЕНА ПОМЕЩЕНИЙ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

THE RESEARCH THE INFILTRATION EFFECT OF OUTSIDE AIR ON THE VALUE  
OF AIR EXCHANGE IN LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

Приведены результаты теоретического исследования влияния инфильтрации наружного воздуха через ограждающие конструкции на величину воздухообмена помещений малоэтажных жилых зданий. На основе анализа информации официальных документов государственных органов статистики и аналитики определены наиболее часто применяемые в современном малоэтажном жилом строительстве типы наружных ограждающих конструкций. На основе анализа положений современных нормативных документов в области строительства определены минимальные величины требуемого воздухообмена и произведены расчёты величин расходов инфильтрационного воздуха через наружные ограждения для различных помещений малоэтажных жилых зданий. По результатам проведённого анализа и расчётов сделан обобщающий вывод о том, что для рассмотренных помещений современных малоэтажных жилых зданий за счёт инфильтрации наружного воздуха через ограждающие конструкции невозможно обеспечить даже 20 % величины минимального воздухообмена.

**Ключевые слова:** малоэтажные жилые здания, вентиляция, инфильтрация наружного воздуха, ограждающие конструкции и воздухообмен помещений

### Введение

Одной из существенных проблем современного жилищного строительства в РФ является проблема организации энергоэффективного воздухообмена в жилых зданиях с учётом сегодняшней специфики строительства и требований нормативных документов. Обеспечение воздухообмена является задачей систем вентиляции помещений. Анализ требований нормативной (СП 50.13330, СП 60 13330, СП 54.13330), специализированной (Р НП «АВОК» 5.2-2012 «Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий») [1–5] и периодической литературы [6, 7] показал, что на данный момент существуют лишь общие указания и рекомендации по организации вентиляции жилых зданий, но,

This article presents the results of a theoretical study of the influence the outside air infiltration through the enclosing structures of the walls on the amount the air's exchange in low-rise residential buildings. Based on the information analysis from official documents of state statistical and analytical bodies, the most frequently used external wall structures in modern low-rise residential construction have been determined. Based on the provisions analysis of modern regulatory documents in the construction's field, the minimum values the required air exchange were determined and the calculations of the values the infiltration air flow through the outer walls for various premises of low-rise residential buildings were made. Based on the results of the analysis and calculations was made a generalizing conclusion that for the considered premises of modern low-rise residential buildings, at the expense of the infiltration of outside air through the enclosing structures of the walls, it is impossible to provide even 20 % of the minimum air exchange.

**Keywords:** low-rise residential buildings, ventilation, outside air's infiltration, enclosing structures and air exchange of premises

за исключением систем естественной вентиляции, достаточно апробированных и широко применяемых на практике решений данной проблемы на сегодняшний день нет. В настоящее время на государственном уровне ведутся работы по конкретизации общих требований нормативных документов к устройству вентиляции жилых зданий. Например, в программе прикладных научных исследований Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ на 2020 год (утверждена приказом министра № 163/пр от 27.03.2020 г.) была утверждена разработка методических рекомендаций по проектированию поквартирных систем вентиляции, а также пособия по проектированию регулируемой естественной вентиляции в многоэтажных жилых зданиях. Имеющиеся планы

по разработке таких методических документов, несомненно, ещё раз подчёркивают актуальность рассматриваемой проблемы. При этом необходимо отметить, что в планах стоит разработка решений проблемы преимущественно для многоэтажных зданий, в то время как достаточно масштабный сектор малоэтажных жилых зданий пока остаётся вне рассмотрения. Для понимания масштаба сектора малоэтажных жилых зданий следует отметить, что по данным, приведенным в [8, 9], в 2018 г. 32,4 млн. м<sup>2</sup> (т. е. 42,9 % площади построенного жилья) приходилось на индивидуальные жилые дома (ИЖД), причём 67,5 % ИЖД было построено в аграрно-промышленных регионах страны.

Малоизученным на сегодняшний день является и вопрос влияния инфильтрации наружного воздуха на величину воздухообмена в малоэтажных жилых зданиях. Принимая во внимание тот факт, что подавляющее большинство малоэтажных жилых зданий оборудовано системой естественной вентиляции, современными герметичными окнами, которые эксплуатируются в режиме проветривания, как правило только при нахождении человека в помещении, в настоящей статье поставлена цель определить величины воздухообмена за счёт инфильтрации наружного воздуха через наружные ограждения, сопоставить их с минимальными нормативными величинами воздухообмена помещений и сделать вывод о возможности вентилирования помещения хотя бы в дежурном режиме (0,2–0,4 величины минимального нормативного воздухообмена) за счёт инфильтрации наружного воздуха.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить наиболее часто применяемые в современном малоэтажном жилом строительстве конструкции наружных ограждений.

2. Определить минимальные величины требуемого воздухообмена для помещений малоэтажных жилых зданий.

3. Выполнить расчёты величин расходов инфильтрационного воздуха через наружные ограждения для различных помещений малоэтажных жилых зданий и проанализировать полученные результаты.

### Материалы и методы исследования

Для решения первой задачи сначала выберем объекты для анализа:

- индивидуальный жилой дом в Самаре (рис. 1);
- многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Самаре (рис. 2);

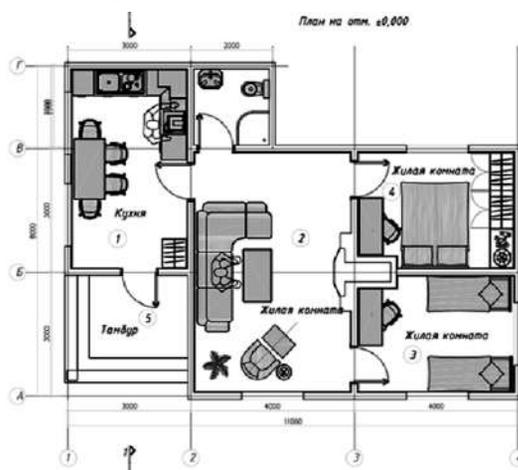


Рис. 1. Индивидуальный жилой дом в Самаре

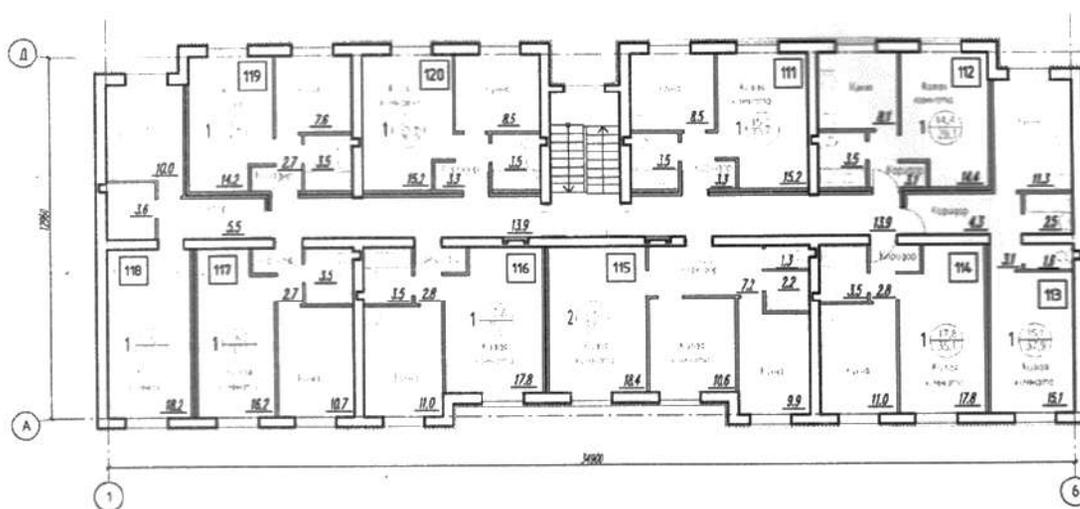


Рис. 2. Многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Самаре

– многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Оренбурге (рис. 3).

Отметим, что по данным [8, 9] основными видами вводимых ИЖД по преобладающим материалам стен в 2018 г. стали кирпичные, блочные и деревянные дома. Совокупно на их долю пришлось 73,2 % от общей площади ИЖД, вве-

дённых в эксплуатацию. При этом средние площади ИЖД составили: 167 м<sup>2</sup> – кирпичные дома, 149 м<sup>2</sup> – блочные дома, 99 м<sup>2</sup> – деревянные дома. На основании данных [8, 9] и обзора других литературных источников примем к дальнейшему рассмотрению следующие типы ограждающих конструкций стен, перечисленные в табл. 1–3.

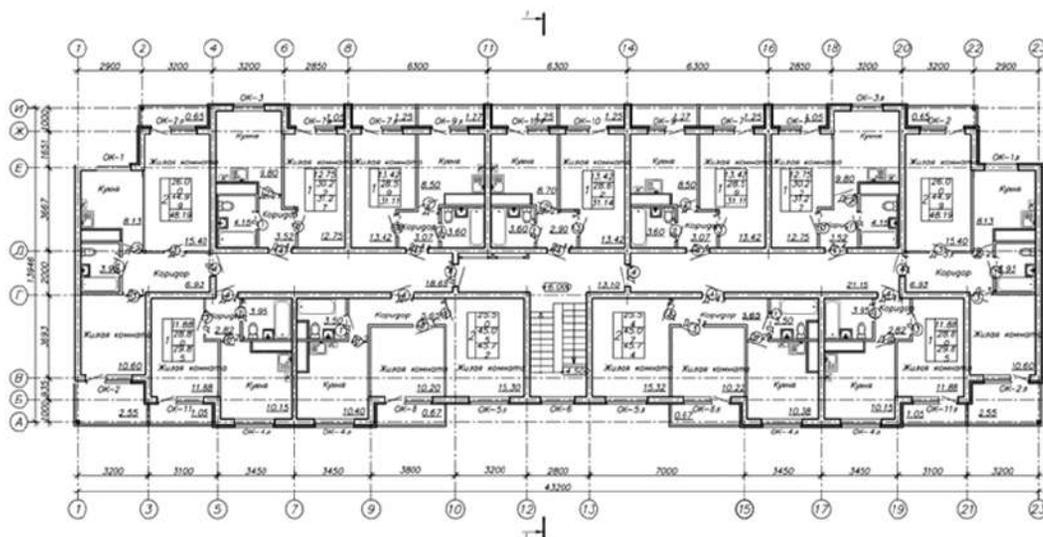


Рис. 3. Многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Оренбурге

Таблица 1

Варианты ограждающих конструкций стен для индивидуального жилого дома в Самаре

Конструкция № 1	Конструкция № 2	Конструкция № 3
<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из пустотелых керамзитобетонных блоков с двухрядной пустотностью                  3 – Кладка из кирпича керамического пустотного</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легобетонных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  5 – Пенополистирол                  6 – Ветрозащитная мембрана                  7 – Вентилируемая воздушная прослойка                  8 – Декоративная панель</p>	<p>1 – Сосновый брус                  2 – Обрешетка                  3 – Утеплитель (плиты из минеральной ваты жёсткие);                  4 – Ветролагодзацита                  5 – Вентилируемая воздушная прослойка                  6 – Блок-хаус</p>

Таблица 2

Варианты ограждающих конструкций стен для трёхэтажного жилого дома в Самаре

Конструкция № 1	Конструкция № 2	Конструкция № 3
<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Пенополистирол                  3 – Кирпичная кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе                  4 – Цементно-песчаный раствор</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  3 – Невентилируемая воздушная прослойка                  4 – Облицовочный керамический кирпич</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  5 – Пенополистирол                  10 – Фактурный слой фасадной системы</p>

Таблица 3

Варианты ограждающих конструкций стен для трёхэтажного жилого дома в Оренбурге

Конструкция № 1	Конструкция № 2	Конструкция № 3
<p>1 – Декоративно-защитная штукатурка                  2 – Пенополистирол                  3 – Кладка из пустотелых бетонных блоков                  4 – Цементно-песчаный раствор</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  3 – Пенополистирол                  4 – Фактурный слой фасадной системы</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из пустотелых керамзитобетонных блоков с двухрядной пустотностью                  3 – Кладка из кирпича керамического пустотного</p>

В качестве оконных конструкций примем к расчёту однокамерные стеклопакеты.

Для решения второй задачи примем во внимание положения СП 50.13330, СП 60.13330, СП 54.13330, ГОСТ 30494 – 2011, а также методические рекомендации по определению минимального воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий, опубликованные на сайте Федерального автономного учреждения «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве» Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ (<https://www.faufcc.ru/>). Результаты проведённого анализа нормативных документов представлены в табл. 4.

Отметим, что для помещения кухни величина воздухообмена приведена из расчёта расхода воздуха на горение. Однако, как указано в [10], для ассимиляции продуктов горения требуемый воздухообмен составляет 175–360 м<sup>3</sup>/ч. Также на основании анализа данных о динамике жилищного строительства в РФ следует сделать вывод о том, что

средняя площадь жилья на одного человека в РФ составляет 24 м<sup>2</sup>. Таким образом, общий минимальный воздухообмен на среднюю однокомнатную квартиру составляет 250–300 м<sup>3</sup>/ч, на двухкомнатную квартиру – 300–350 м<sup>3</sup>/ч, на трёхкомнатную квартиру – 350–400 м<sup>3</sup>/ч, на индивидуальный жилой дом средней площадью 130 м<sup>2</sup> – 450 м<sup>3</sup>/ч.

#### Результаты исследования

Для решения третьей задачи воспользуемся методиками расчёта количества инфильтрационного воздуха, приведёнными в СП 50.13330 и в [11], положениями СП 60.13330, данными рис. 1–3 и табл. 1–3. Расчёты произведены для выбранных трёх типов зданий и всех соответствующих вариантов ограждающих конструкций стен. Результаты выполненного расчёта для индивидуального жилого дома в Самаре с ограждающими конструкциями стен № 1 в качестве примера представлены в табл. 5.

Осреднённые результаты всех проведённых расчётов представлены в табл. 6. Для многоквартирных домов приведены результаты расчёта для первого этажа.

Таблица 4

Величины минимального нормативного воздухообмена жилых помещений

Помещение	Минимальный воздухообмен
Жилая комната	45 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел.
Кухня	60 м <sup>3</sup> /ч при установке электрической плиты и 100 м <sup>3</sup> /ч при установке газовой плиты (расход воздуха на горение)
Ванная комната и туалет (совмещённый санузел)	50 м <sup>3</sup> /ч
Теплогенераторная	Однократный воздухообмен
Прочие помещения	0,2-кратный воздухообмен

Таблица 5

Результаты расчёта расхода инфильтрационного воздуха

№ помещения	Наименование помещения	Температура внутреннего воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Ограждение	Размеры, м		Площадь F, м <sup>2</sup>	Удельный массовый расход инфильтрационного воздуха G, кг/м <sup>2</sup> -ч	Объёмный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
					a	b			
1	Кухня	19	-30	Наружная стена	5,1	2,7	13,8	0,0	8
		19	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	
		19	-30	Наружная стена	3,0	2,7	8,1	0,0	

Окончание табл. 5

№ помещения	Наименование помещения	Температура внутреннего воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Ограждение	Размеры, м		Площадь F, м <sup>2</sup>	Удельный массовый расход инфильтрационного воздуха, G, кг/м <sup>2</sup> ·ч	Объёмный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
					a	b			
2	Жилая комната	21	-30	Окно	1,8	1,6	2,9	11,6	10
		21	-30	Наружная стена	4,1	2,7	11,1	0,0	
		21	-30	Наружная стена	1,9	2,7	5,1	0,0	
3	Жилая комната	21	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	16
		21	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	
		21	-30	Наружная стена	3,1	2,7	8,4	0,0	
		21	-30	Наружная стена	4,1	2,7	11,1	0,0	
4	Жилая комната	21	-30	Наружная стена	4,1	2,7	11,1	0,0	8
		21	-30	Наружная стена	3,1	2,7	8,4	0,0	
		21	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	
5	Тамбур	16	-30	Наружная стена	2,7	2,7	7,3	0,0	8
		16	-30	Наружная стена	3,1	2,7	8,4	0,0	
		16	-30	Наружная стена	1,1	2,2	2,4	10,1	
Общий объёмный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч									50

Таблица 6

## Осреднённые результаты расчёта расходов инфильтрационного воздуха

Тип здания	Тип ограждающей конструкции	Осреднённые пределы величины воздухообмена по помещениям, м <sup>3</sup> /ч	Общий воздухообмен в расчёте на одну двухкомнатную квартиру (дом), м <sup>3</sup> /ч
Индивидуальный жилой дом	Конструкция № 1	8 ...16	50
Индивидуальный жилой дом	Конструкция № 2	8 ...20	55
Индивидуальный жилой дом	Конструкция № 3	10 ...20	60
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 1 – г. Самара	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 2 – г. Самара	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 3 – г. Самара	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 1 – г. Оренбург	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 2 – г. Оренбург	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 3 – г. Оренбург	10	30

**Выводы.** 1. Суммарная величина инфильтрации через современные ограждающие конструкции (монолитные бетонные стены, кирпичные стены с утеплителем, стены из керамзитобетонных блоков, деревянные стены, однокамерные стеклопакеты), как показывают расчёты, в среднем не превышает максимального значения 20 % (а для кухонь, например, и 10 %) для помещений первого этажа.

2. Для второго и третьего этажей расчётная величина инфильтрации уменьшается пропорционально высоте здания. На третьем этаже величина инфильтрации достигает значений, близких к нулю.

Таким образом, для помещений современных малоэтажных жилых зданий с рассмотренными наиболее распространёнными ограждающими конструкциями фактически невозможно обеспечить даже 20 % минимального воздухообмена за счёт только инфильтрации. Повышение расхода инфильтрационного воздуха через ограждающие конструкции в то же время приводит к существенному снижению их теплозащитных характеристик.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерное оборудование зданий и сооружений: энциклопедия / гл. ред. С.В. Яковлев. М.: Стройиздат, 1994. 512 с.: ил.

2. Кокорин О.Я. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: МГСУ, 2005. 99 с.: ил.

3. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Т. 1 // Теория, техника и проектирование на рубеже столетий: в 2 т. Т.1. СПб.: издательство «АТ-PUBLISHING», 2005. 504 с.: ил.

4. Кузин В.Ю. Методы круглогодичного обеспечения воздушно-теплого режима многоквартирных жилых домов: автореф. дис. ... кандидата технических наук. Пенза, 2016. 23 с.

5. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России [Электронный ресурс] // Вестник МГСУ: Vestnik MGSU. 2011. № 3. Т.1. (Строительная теплофизика и энергосбережение). URL: <http://www.vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/download/2011/3/pdf?part=1> (дата обращения: 21.12.2020).

6. Витчиков Ю.С., Сидорова А.В. Организация воздухообмена в современных энергоэффективных зданиях // Градостроительство и архитектура. 2013. № 4 (12). С. 87–94. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.04.15.

7. Исследование возможностей приточно-вытяжных устройств для обеспечения нормативного воздухообмена жилых помещений [Электронный ресурс] / В.Н. Куприянов, А.М. Сайфутдинова, А.М. Зиганшин, И.Ш. Сафин // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитек-

туры и строительных наук. 2013. С. 245–254. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25921050> (дата обращения: 21.12.2020).

8. Стратегия развития жилищной сферы Российской Федерации на период до 2025 года [Электронный ресурс] / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: официальный сайт. 2020. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/15909/> (дата обращения: 21.12.2020).

9. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики «Динамика индивидуального жилищного строительства в России и государственные меры, направленные на развитие сектора». М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2019 [Электронный ресурс]. № 54. 23 с.: ил.

10. Константинова В.Е. Воздушно-тепловой режим в жилых зданиях повышенной этажности. М.: Стройиздат, 1969. 135 с.: ил.

11. Мальявина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 144 с.

## REFERENCES

1. Yakovlev S.V. *Inzhenernoye oborudovaniye zdaniy i sooruzheniy* [Engineering equipment of buildings and structures]. Ed. Yakovlev S.V. Moscow, Stroyizdat, 1994, 512 p. ISBN 5-274-02094-1.

2. Kokorin O.YA. *Otechestvennoye oborudovaniye dlya sozdaniya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya* [Domestic equipment for the creation of ventilation and air conditioning systems]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet, 2005, 99 p. ISBN 5-93585-079-6.

3. Sotnikov A.G. *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukha i ventilyatsii. Tom 1. Teoriya, tekhnika i proyektirovaniye na rubezhe stoletiy* [Processes and systems of air conditioning and ventilation. Vol.1. Theory, technology and design at the turn of the century]. St. Petersburg, At-Publishing, 2005, 504 p.

4. Kuzin V.YU. *Metody kruglogodichnogo obespecheniya vozduшно-теплого режима mnogokvartirnykh zhilykh domov* [Methods of year-round provision of air-thermal conditions in multi-apartment residential buildings]. Abstract of Ph. D. thesis. Penza, 2016, 23 p.

5. Gagarin V.G. *Perspektivy povysheniya energeticheskoy effektivnosti zhilykh zdaniy v Rossii* [Prospects for increasing the energy efficiency of residential buildings in Russia]. Elektronnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta, 2011, no.3, available at: URL: <http://www.vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/download/2011/3/pdf?part=1> (accessed 21 December 2020).

6. Vytchikov, YU.S. *Organizatsiya vozdukhoobmena v sovremennykh energoeffektivnykh zdaniyakh* [Organization of air exchange in modern energy-efficient buildings]. Gradostroitel'stvo i arkhitektura, 2013, no. 4(12), pp. 87-94.

7. Kupriyanov V.N., Saifutdinova A.M., Ziganshin A.M., Safin I.Sh. *Issledovaniye vozmozhnostey pritochno-vytyazhnykh ustroystvo dlya obespecheniya normativnogo*

*vozdukhoobmena zhilykh pomeshcheniy* [Study of the capabilities of the supply and exhaust devices to ensure the regulatory air exchange of residential premises]. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*, 2013, no.16, pp. 245-254, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25921050> (accessed 21 December 2020).

8. *Strategiya razvitiya zhilishchnoy sfery Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda* [Strategy for the development the housing sphere of the Russian Federation for the period up to 2025]. available at: URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/15909/> (accessed 21 December 2020).

9. *Byulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiyskoy ekonomiki .Dinamika individual'nogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii i gosudarstvennyye mery, napravlenyye na razvitiye sektora* [Bulletin on the current trends of the Russian economy. Dynamics of individual housing construction in Russia and state measures aimed at developing the sector]. *Analiticheskiy tsentr pri Pravitel'stve Rossiyskoy Federatsii*, Moscow, 2019, no. 54, 23 p.

10. Konstantinova V.Ye. *Vozdushno-teplovoy rezhim v zhilykh zdaniyakh povyshennoy etazhnosti* [Air-thermal regime in residential buildings of high floors]. Moscow, Stroyizdat, 1969, 135 p.

11. Malyavina Ye. G. *Teplopoteri zdaniya* [Loss of heat building]. Moscow, Avok Press, 2007, 144 p.

Об авторе:

**КОСТУГАНОВ Арман Берекевич**

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики  
Оренбургский государственный университет  
460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, 13  
аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: kostuganovab@gmail.com

**KOSTUGANOV Arman B.**

Senior lecturer at the Heat and Gas Supply, Ventilation and Hydromechanics Chair Orenburg State University  
460018, Russia, Orenburg, Victory Avenue, 13  
Postgraduate Student at the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, ul. Molodogvardeyskaya, 244  
E-mail: kostuganovab@gmail.com

Для цитирования: *Костуганов А.Б.* Исследование влияния инфильтрации наружного воздуха на величину воздухообмена помещений малоэтажных жилых зданий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 15–22. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.03.

For citation: *Kostuganov A. B.* The research the infiltration effect of outside air on the value of air exchange in low-rise residential buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 15–22. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.03.