



Energy Efficiency of Closed Cavity Fasades

Nemova, Darya Viktorovna^{*,1} 

Kotov, Evgeny Vladimirovich¹ 

Daurov, Zaur Soslanovich¹ 

Olshevsky, Vyacheslav Ianushevich¹ 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

Correspondence: * email darya0690@mail.ru; contact phone [+79218900267](tel:+79218900267)

Keywords:

Heat-gravitational convection; Heat and mass transfer; Constructive energy saving; Energy efficiency; Ventilated air gap; Fluid mechanics of air flows; Sustainable building; Building envelop; Double-skin facade; Closed cavity facade.

Abstract:

The number of high-rise buildings with enclosing structures made of glass is growing rapidly every year. High transparency of buildings is becoming one of the reasons of high-energy consumption. The problem of energy saving in glass structures is becoming more and more urgent. The innovative double-skin glass facade system has proven to be energy efficient in European countries. In the future, this design will significantly reduce the energy load of the building. **The object of research** is a innovative systems Closed cavity facade (CCF). The purpose of this work is to analyze the energy efficiency of the innovative system Closed cavity facade. The energy consumption of a building with classic glazing (a) and Closed cavity facades are considered. **Method.** In the analytical study, to determine the unknown characteristics of the closed cavity facade systems, the ANSYS software package was used - a universal system of finite element analysis. The services Autodesk Insight and Autodesk Green Building Studio estimated building energy consumption, electricity consumption by month, carbon dioxide emissions, total energy costs for the year and for the life cycle, etc. **Results.** In the analytical study, the classification of double facades by the ventilation method and by the geometry of the inter-contour space is presented, the main advantages are revealed. As a result of mathematical modeling, the calculated heat transfer resistance was determined for the Facade with a closed cavity $R_{calc} = 1.93 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. The result for the Closed Cavity Facade system was 35.7% more efficient than classical glazing. The average energy consumption for a building with classic glazing was determined - $374 \text{ kW} / \text{m}^2 / \text{year}$ with classic glazing and the average energy consumption for a building with a closed cavity facade - $219 \text{ kW} / \text{m}^2 / \text{year}$. The difference in power consumption is 41.4%.

1 Introduction

Количество зданий со светопрозрачными фасадами начало увеличиваться еще в начале 21 века. В настоящее время не редкость увидеть в развитом мегаполисе здание с практически полным остеклением. Связано это со стремлением достичь выразительного эстетического облика, придающим зданию современный вид, подчеркивая его грани, либо сглаживая его углы, придавая цельную форму. В работе анализируется энергоэффективность фасадной системы, представляющей собой двойной сплошное остекление с воздушным зазором между и динамически открывающихся внешних и внутренних затворов. Одной из таких систем является инновационная система Closed cavity facade (CCF), которая относится к системам Double Skin Facade (DSF). На рис. 1. изображена конструкция энергоэффективной фасадной системы CCF, взятая из свободного доступа.

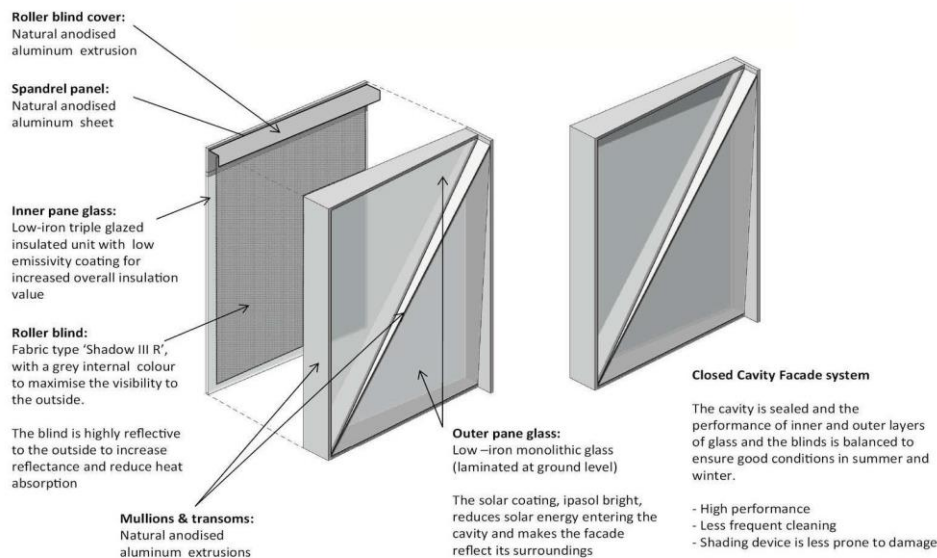


Рис. 1 - Фасадная система «Closed cavity facade»
Fig. 1 - Facade system "Closed cavity façade"

Эта конструкция уже используется преимущественно при строительстве зданий общественного назначения в мире.

В процессе эксплуатации, она зарекомендовала себя как энергоэффективная. К сожалению, в России зданий, использующих технологию систем Closed cavity facade совсем немного, в первую очередь это связано с отсутствием достаточной научной и опытной базы.

Таким образом перед учеными стоит задача найти конструкцию, которая сможет одновременно обеспечить комфортные условия нахождения в здании, будет экономически целесообразной, а также позволит сохранить эстетическую красоту. За последние несколько десятилетий в этой области был сделан качественный шаг вперед – переход от однослойной стеклянной стены к двойному стеклянному фасаду (в англоязычной литературе используется термин Double Skin Facade, DSF). Это перспективная система конструктивного энергосбережения.

Конструкция двойного фасада имеет европейские истоки. Первопроходцем в этой области является Германия. За последние десять лет инновационная конструкция вызвала интерес у исследователей по всему миру [1]–[18], [19]–[23].

Большое внимание данной теме уделили представители Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого, Российская Федерация [24]–[26].

В работе [27] приведена подробная классификация двойных фасадов.

Авторы статьи [28] вывели среднее значение экономии энергетических ресурсов при использовании инновационной фасадной системы, беря во внимание большое количество экспериментов, которые были проведены в различных климатических условиях.

Конструкция двойного фасада - это комплексная система, состоящая из внешней остекленной оболочки и традиционного стеклянного фасада здания, который представляет собой внутреннюю оболочку. Эти два слоя разделены воздушной полостью, которая имеет фиксированные или контролируемые вентиляционные отверстия, и может включать или не включать затеняющие устройства (рис. 1) [28].

Расстояние между стеклянными поверхностями может варьироваться от нескольких сантиметров до двух метров.

Снижение тепловых нагрузок – одно из преимуществ инновационной фасадной системы. Солнечное излучение попадает в замкнутую полость, проходя через внешнюю стеклянную оболочку, которая преобразует излучение в тепло. Тепло накапливается и нагревает воздух, создавая конвективные потоки внутри полости. Такой рабочий механизм уменьшает теплотери через внутреннюю обшивку здания. Кроме того, там, где нагретый воздух имеет удовлетворительные параметры, его можно подавать во внутренние помещения [28].

В зданиях с большой площадью наружного остекления велик риск появления неприемлемо высоких температур в помещениях в солнечные летние дни. При использовании конструкции двойного стеклянного фасада экономия на охлаждении происходит за счёт подачи свежего воздуха практически без помощи механических средств, либо из-за извлечения нагретого воздуха из помещений через эффект естественной тяги. Кроме того, даже когда внутренние помещения не имеют вентиляционных отверстий с замкнутой полостью, система двойного фасада все еще может работать как естественный вентилятор, охлаждая внутренний контур (рис. 2,б). Также конструкция фасада может быть оборудована затеняющими устройствами от лишней инсоляции – рольставни [27], [28].

Целью работы является определение энергоэффективности инновационной системы Closed cavity facade.

Задачи исследования:

1. Определение теплотехнических характеристик инновационной системы Closed cavity facade методом математического моделирования;
2. Разработка энергетической модели здания (ВЕМ) с классическим остеклением;
3. Разработка энергетической модели здания (ВЕМ) с энергоэффективной системой Closed cavity facade;
4. Анализ результатов энергетического моделирования, оценка эффективности выбранных систем.

2 Materials and Methods

На данный момент энергозатраты, используемые на кондиционирование и охлаждение воздуха в офисных помещениях в летнее время года нельзя назвать даже средними. Между тем, далеко не каждое здание имеет высокий класс энергоэффективности. Для расчетов методом математического моделирования были выбраны два варианта работы динамического фасада для летнего времени года. На рис. 2 представлены варианты работ Closed cavity facade при различных климатических параметрах.

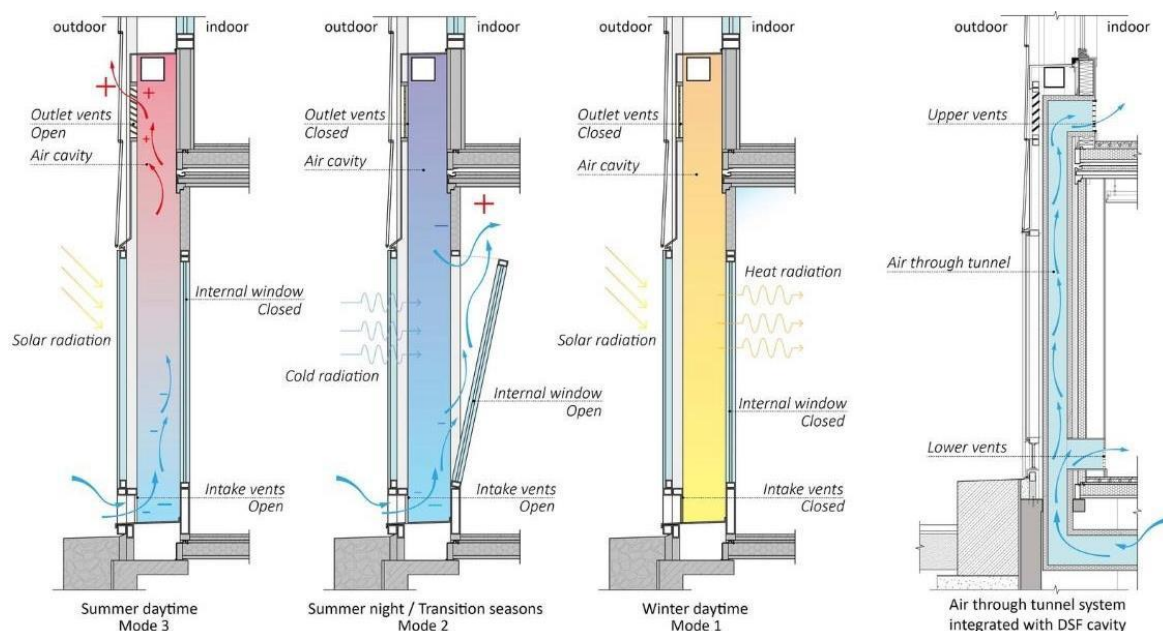


Рис. 2. Фасадная система Closed cavity facade

Fig. 2 - Facade system Closed cavity facade

Модель 3 описывает работу двойного фасада в летний день, створка внутренней части фасада закрыта, обе заслонки открыты, горячий воздух циркулирует во внутреннем пространстве и не попадает внутрь помещения. Модель 2 описывает работу двойного фасада в летнюю ночь, верхняя заслонка закрыта, нижняя заслонка и створка внутренней части фасада открыты, охлажденный воздух циркулирует во внутреннем пространстве и попадает внутрь помещения с большей температурой воздуха, происходит кондиционирование.

Nemova, D.; Kotov, E.; Daurov Z, Olshevsky, V.
Energy Efficiency of Closed Cavity Facades;

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 93 Article No 9305. doi: 10.18720/CUBS.93.5

2.1 Математическое моделирование в программном комплексе Ansys

Целью математического моделирования является определение скорости движения воздушного потока во внутреннем пространстве (буферной зоне) фасадной системы, температуры, а также сопротивление теплопередачи данной конструкции. Для определения неизвестных характеристик систем Closed cavity facade использовался программный комплекс ANSYS – универсальная система конечно-элементного анализа. Были приняты оптимальные габаритные характеристики для данной конструкции, а также приняты материалы и их теплопроводности.

В качестве температуры наружного воздуха использовалась максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца в Санкт-Петербурге – 22°C. Температура внутреннего воздуха 18°C, влажность – 55%, согласно [27]. Наружное остекление представляет собой одинарный стеклопакет с теплопроводностью $\lambda = 1.1$ Вт/м²·К, внутреннее – двойной стеклопакет с теплопроводностью $\lambda = 1.24$ Вт/м²·К. Пространство между ними шириной 600 мм заполнено воздухом. Внешние заслонки высотой 150 мм. Внутренняя открывающаяся створка динамического фасада размерами 2х1.5 м и с возможностью открываться до 15°. В качестве расчета было взято офисное помещение здания с высотой этажа 3.8 м.

На рис. 3 представлены расчетные схемы Closed cavity facade с принятыми характеристиками для расчета в ANSYS.

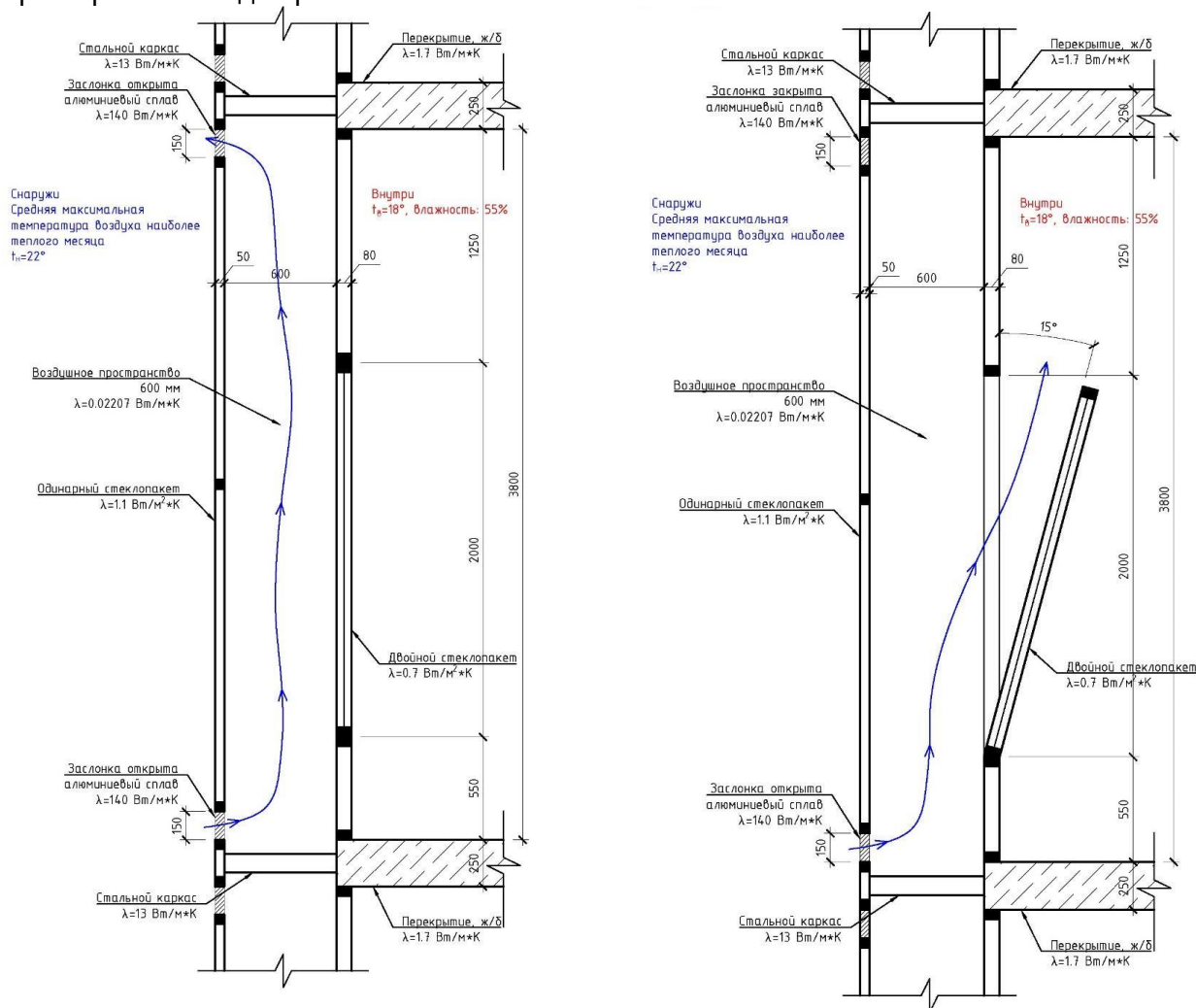


Рис. 3 - Расчетные схемы Closed cavity facade, модель 2 и 3
Fig. 3 - Design schemes Closed cavity facade, models 2 and 3

Результаты моделирования для летнего времени года представлены на рис. 4-5

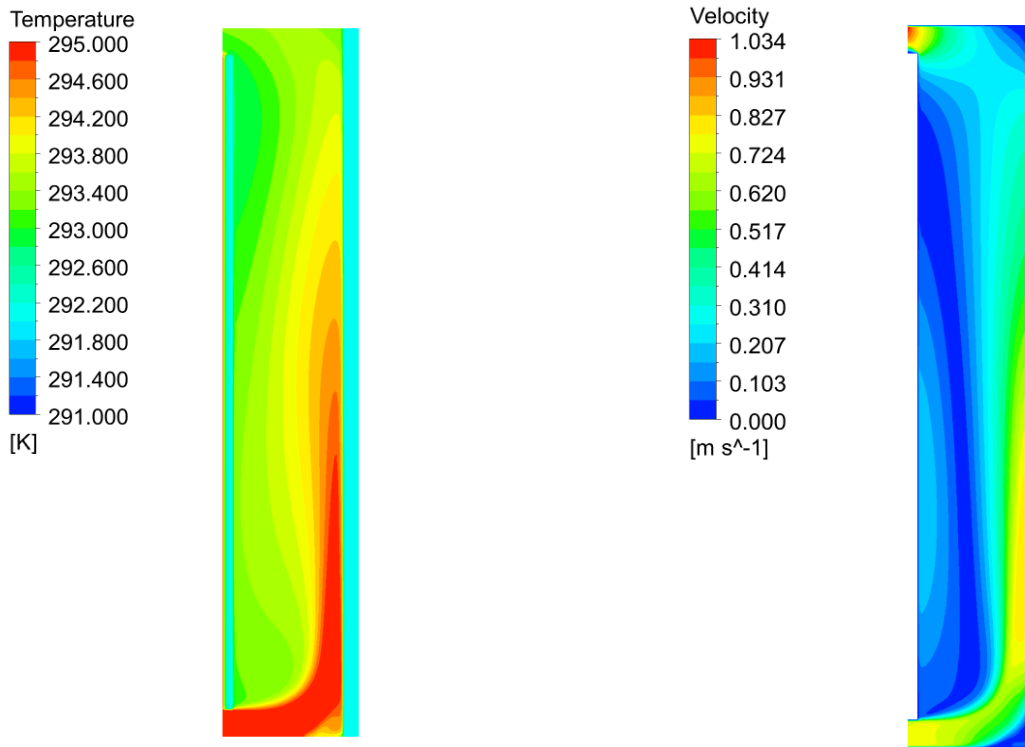


Рис. 4 - Температура и скорость воздушных потоков. Фасад закрыт (летнее время)
Fig. 4 - Temperature and air velocity. Facade closed (summer time)

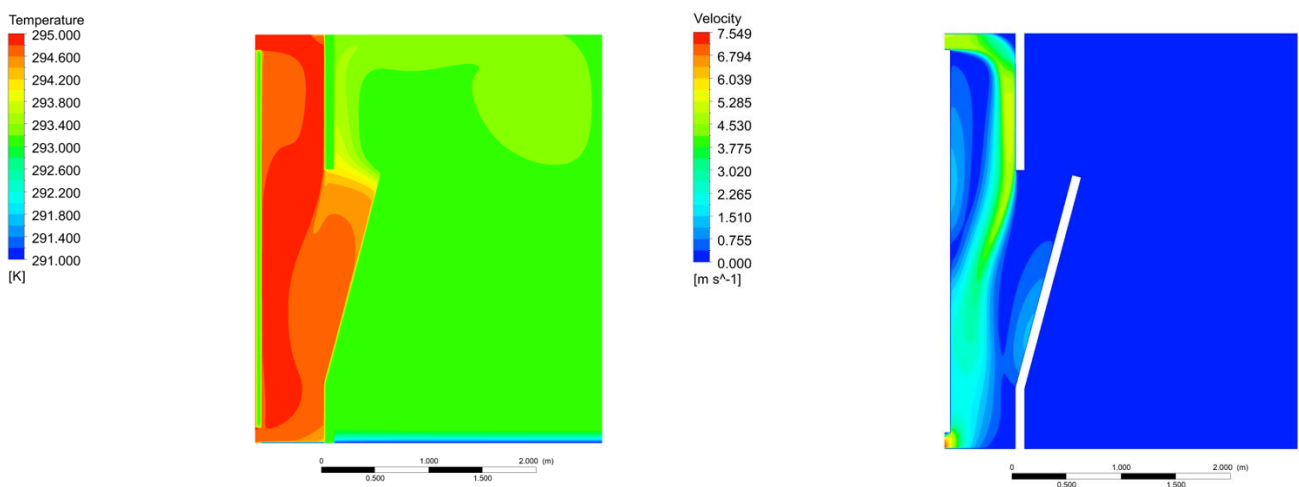


Рис. 5 - Температура и скорость воздушных потоков. Фасад открыт (летнее время)
Fig. 5 - Temperature and air velocity. The facade is open (summer time)

Проанализировав результаты математического моделирования, согласно температурным и скоростным полям получаем расчетное сопротивление теплопередачи Closed cavity facade $R_{расч} = 1.93 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Результат для системы Closed cavity facade оказался на 35.7% эффективнее чем классическое остекление.

Также был проведен расчет в ANSYS. для зимнего времени. На рис. 6 показаны результаты расчета.

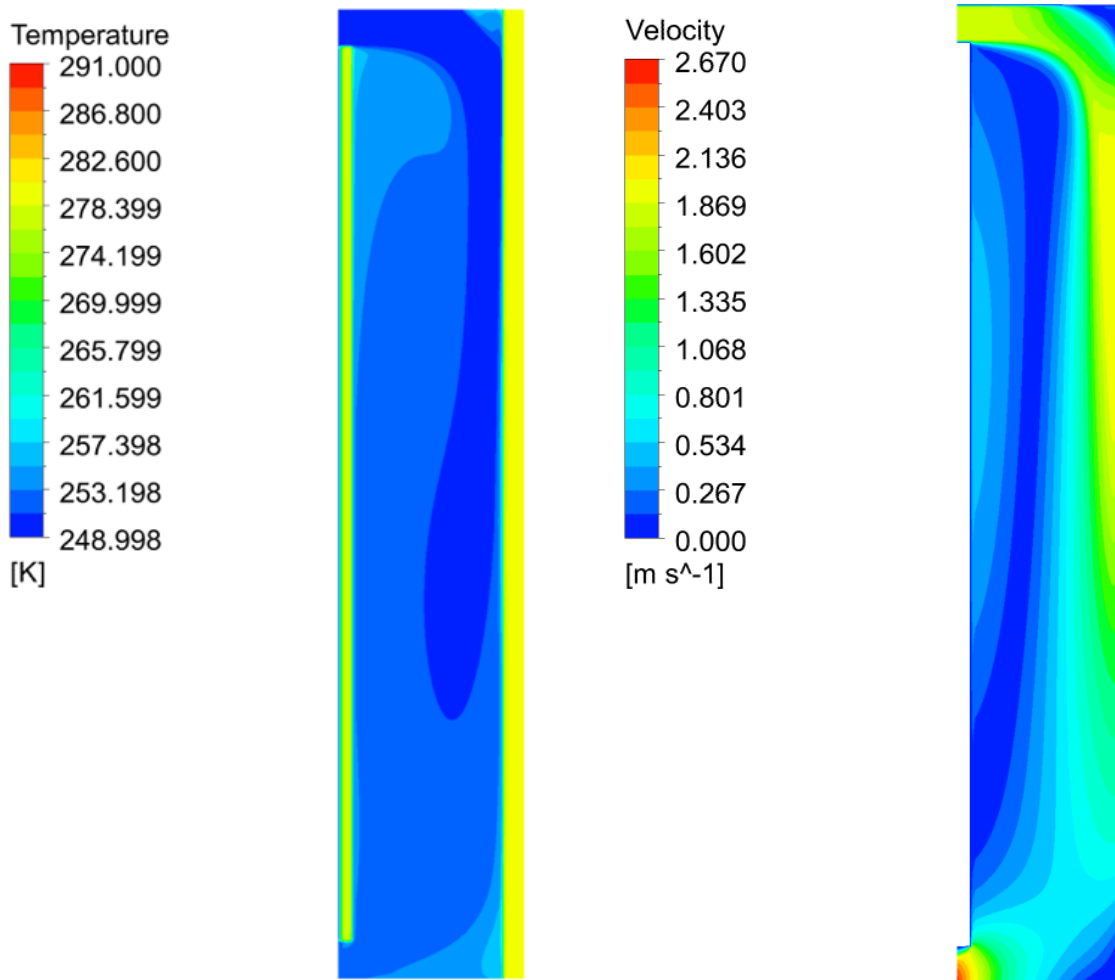


Рис. 6 - Температура и скорость воздушных потоков. Фасад закрыт (winter time)
 Рис. 6 - Temperature and air velocity. The facade closed (winter time)

Значение сопротивление теплопередачи динамического фасада для зимнего времени также удовлетворяет нормативным требованиям.

2.2 Энергетическое моделирование

Для создания и анализа энергетических моделей использовались программный комплекс Revit, а также сервисы Autodesk Insight и Autodesk Green Building Studio. Полученное при помощи математического моделирования сопротивление теплопередачи использовалось в данном модуле. Были получены значения потребления энергии на 1 м² в год для здания с двумя различными типами ограждающих конструкций - классическое остекление и Closed cavity facade.

В данной работе рассматривалось высотное офисное здание, высотой 62.8 м, 15 этажей, из них 2 технических. Размеры в осях 30 x 30 м, площадь типового этажа – 883м².

На данный момент на строительном рынке существует большое количество типов классического остекления, которые различаются количеством стекла в стеклопакете, материалом заполнения пространства в стеклопакете, методом крепления и т.д. На рис. 7 представлены энергетические модели здания с классическим остеклением и системами Closed cavity facades.

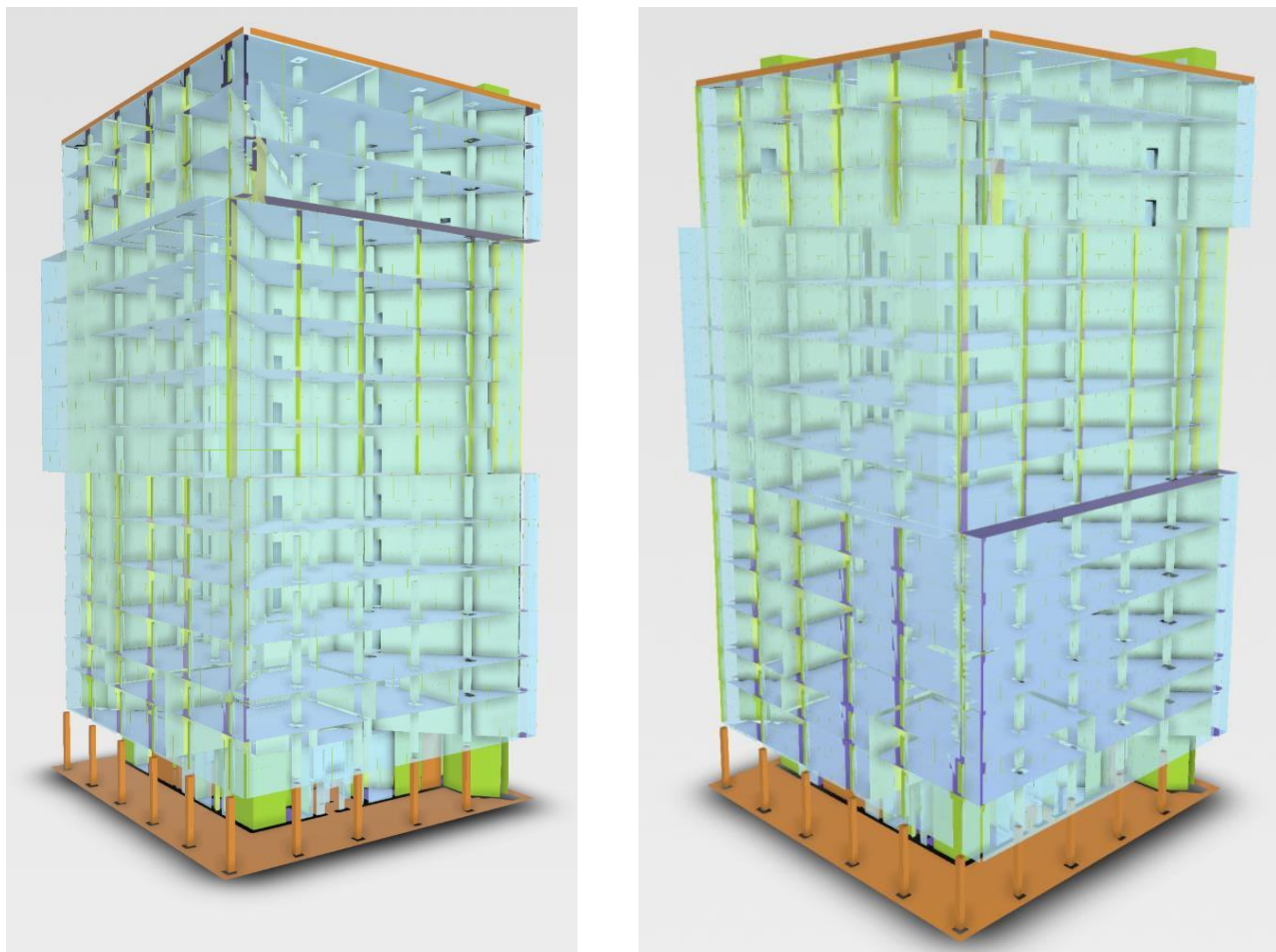


Рис. 7 - Энергетические модели здания с классическим остеклением и системой Closed cavity facade

Fig. 7 - Building Energy Models with classic glazing and Closed cavity facades

3 Results and Discussion

В сервисах Autodesk Insight и Autodesk Green Building Studio оценивались энергопотребление здания, расход электрической энергии по месяцам, эмиссия углекислого газа, сводные энергетические затраты за год и за жизненный цикл и др.

На рис. 8 показаны максимальное, среднее и минимальное энергопотребление в кВт/м²/год для здания с классическим остеклением (а) и системами Closed cavity facades (б).

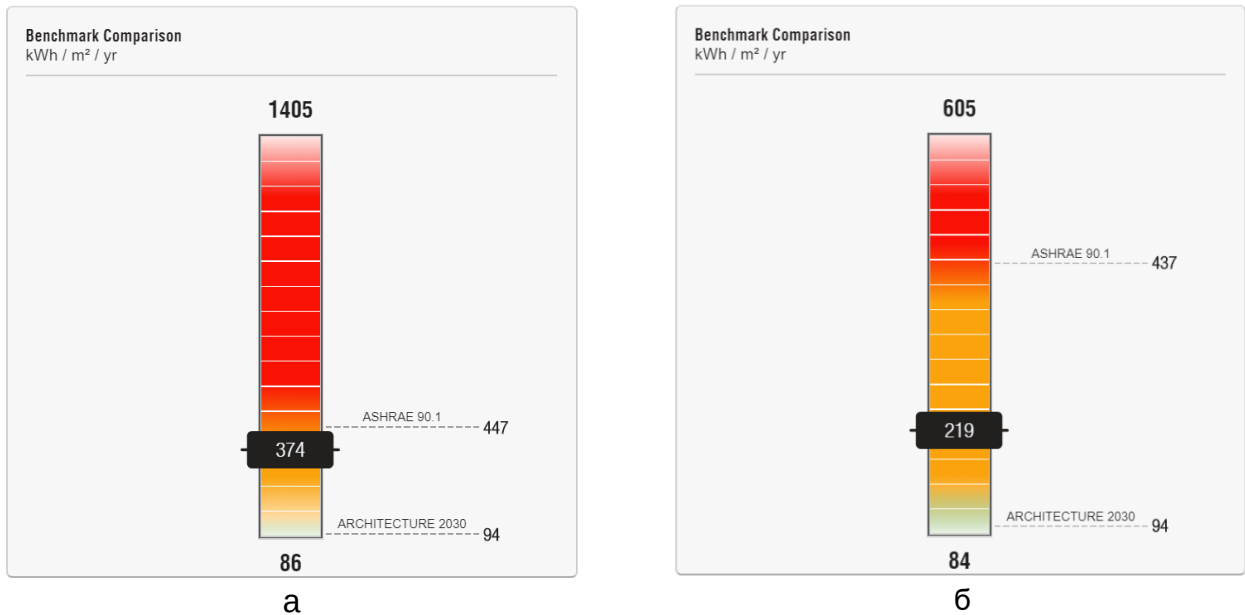


Рис. 8 - Энергопотребление здания с классическим остеклением (а) и системами Closed cavity facades (б)

Fig. 8 - Energy consumption of a building with classic glazing (a) and Closed cavity facades (b)

Получаем среднее энергопотребление для здания с классическим остеклением – 374 кВт/м2/год при классическом остеклении и среднее энергопотребление для здания с Closed cavity facade – 219 кВт/м2/год. Разница энергопотребления составляет 41.4%.

С помощью модуля Autodesk Green Building Studio были получены диаграммы и графики зависимостей электропотребления в месяц, год и полный цикл жизни здания, представленные на рис. 9-11.

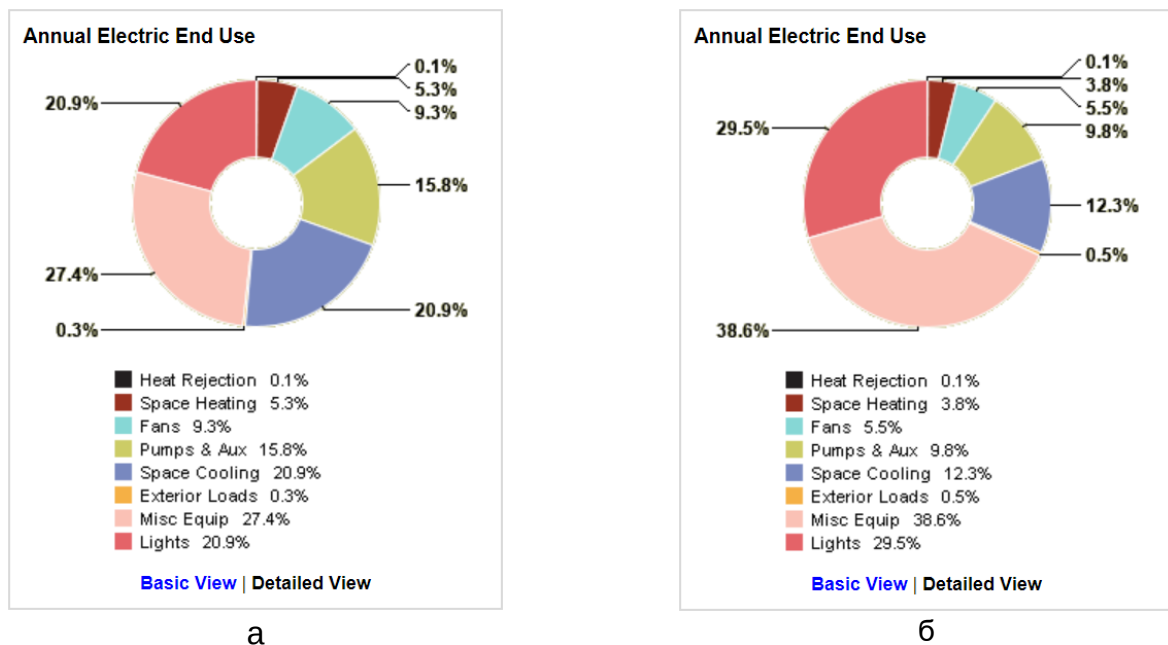


Рис. 9 - Диаграмма процентного соотношения расходов электроэнергии за год для здания с классическим остеклением (а) и системами Closed cavity facades (б)

Fig. 9 - Diagram of the percentage ratio of electricity consumption for the year for a building with classic glazing (a) and closed cavity facades(b)

Energy, Carbon and Cost Summary	
	Annual Energy Cost \$121,497
	Lifecycle Cost \$1,654,794
Annual CO ₂ Emissions	
	Electric 0.0 Mg
	Onsite Fuel 472.2 Mg
	Large SUV Equivalent 47.3 SUVs / Year
Annual Energy	
	Energy Use Intensity (EUI) 1,565 MJ / m ² / year
	Electric 1,980,512 kWh
	Fuel 9,468,164 MJ
	Annual Peak Demand 609.4 kW
Lifecycle Energy	
	Electric 59,415,360 kWh
	Fuel 284,044,920 MJ
Assumptions 	

Рис.10 - Сводные энергетические затраты за год и за жизненный цикл в GBS для здания с классическим остеклением

Fig. 10 - Annual and Life Cycle Energy Costs Summary in GBS for a building with classic glazing

Energy, Carbon and Cost Summary	
	Annual Energy Cost \$83,372
	Lifecycle Cost \$1,135,533
Annual CO ₂ Emissions	
	Electric 0.0 Mg
	Onsite Fuel 259.3 Mg
	Large SUV Equivalent 26.0 SUVs / Year
Annual Energy	
	Energy Use Intensity (EUI) 961 MJ / m ² / year
	Electric 1,420,654 kWh
	Fuel 5,199,195 MJ
	Annual Peak Demand 473.9 kW
Lifecycle Energy	
	Electric 42,619,620 kWh
	Fuel 155,975,850 MJ
Assumptions 	

Рис. 11 - Сводные энергетические затраты за год и за жизненный цикл в GBS для здания с системами Closed cavity facades

Fig. 11 - Annual and Life Cycle Energy Costs Summary in GBS for a building with Closed cavity facades

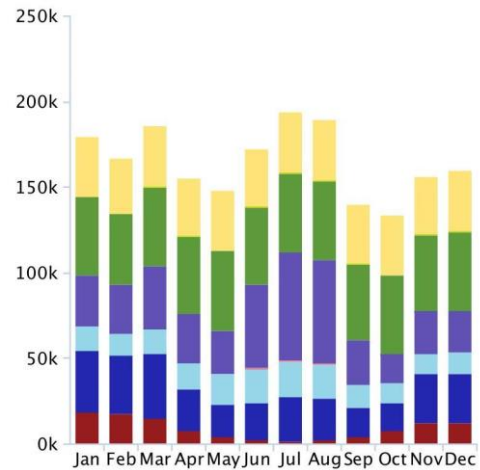
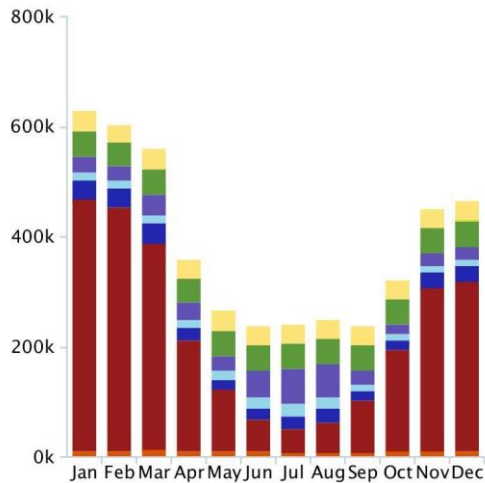


Рис. 12 - Графики потребления общей энергии и электричества для здания с классическим остеклением

Fig. 12 - Graphs of total energy and electricity consumption for a building with classic glazing

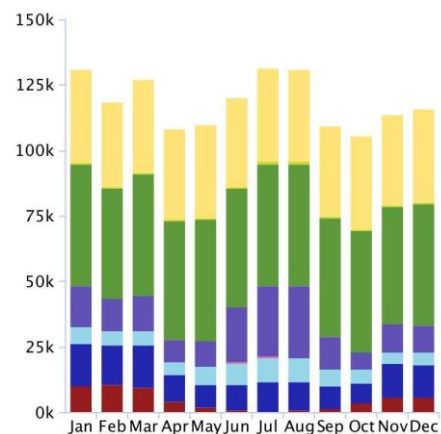
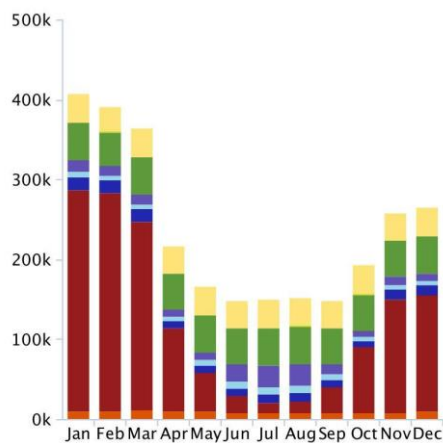


Рис.13 - Графики потребления общей энергии и электричества для здания с системами Closed cavity facades

Fig. 13 - Graphs of total energy and electricity consumption for a building with Closed cavity facades

4 Conclusions

1. Задача определения энергоэффективности системы Closed cavity facade. Годовое энергопотребление здания, оснащенного системой Closed cavity facade, в расчете на 1 м² меньше на 41.4%.
2. Получены термодинамические характеристики двойных фасадных систем - систем Closed cavity facades. Представлено сравнение характеристик типовых фасадов и систем Closed cavity facades.
3. Показано повышение показателей сопротивлений теплопередачи при использовании динамических двойных фасадных систем. Получено сравнение здания с классическим и двойным остеклением Closed cavity facades.
4. Анализируя информацию, полученную с помощью модуля Green Building Studio получаем:
 - Годовые расходы на электричество уменьшились на 28.3% (на 559864 кВт);
 - Годовые расходы на энергоресурсы в целом уменьшились на 31.3% (2.600.000 р.);
 - Уменьшилась нагрузка на систему кондиционирования, которая составляла 20.9% в здании с классическим остеклением и 12.3% с динамическим остеклением;
 - Уменьшилась нагрузка на систему вентиляции с 9.3% до 5.5%;
 - Потребление электричества, расходуемое системой кондиционирования в летнее время года, уменьшилось с 172.9 МВт до 75.7 МВт, что составило 56%.

5. Класс энергоэффективности здания с классическим остеклением – А. Класс энергоэффективности здания, оснащенного системой Closed cavity facade, был повышен до класса А++.

6. Система энергоэффективного фасада Closed cavity fasades на данный момент является одной из самых перспективных систем ограждающих конструкций. К главным плюсам данной системы можно отнести:

- Различные вариации работы (кондиционирование, сохранение тепла и т.д.);
- Снижение нагрузки на системы кондиционирования, отопления и вентиляции в здании;
- Высокие теплотехнические показатели;
- Превосходные показатели звукоизоляции;
- Применение в различных климатических районах;
- Высокая энергоэффективность.

К недостаткам необходимо отнести высокую цену относительно классического остекления.

References

1. Catto Lucchino, E., Goia, F., Lobaccaro, G., Chaudhary, G. Modelling of double skin facades in whole-building energy simulation tools: A review of current practices and possibilities for future developments. *Building Simulation*. 2019. 12(1). Pp. 3–27. DOI:10.1007/s12273-019-0511-y.
2. Pérez-Grande, I., Meseguer, J., Alonso, G. Influence of glass properties on the performance of double-glazed facades. *Applied Thermal Engineering*. 2005. 25(17–18). Pp. 3163–3175. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2005.04.004.
3. Choi, W., Joe, J., Kwak, Y., Huh, J.H. Operation and control strategies for multi-storey double skin facades during the heating season. *Energy and Buildings*. 2012. 49. Pp. 454–465. DOI:10.1016/j.enbuild.2012.02.047.
4. Kim, G., Schaefer, L., Kim, J.T. Development of a double-skin façade for sustainable renovation of old residential buildings. *Indoor and Built Environment*. 2013. 22(1). Pp. 180–190. DOI:10.1177/1420326X12469533.
5. Høseggen, R., Wachenfeldt, B.J., Hanssen, S.O. Building simulation as an assisting tool in decision making. Case study: With or without a double-skin façade? *Energy and Buildings*. 2008. 40(5). Pp. 821–827. DOI:10.1016/j.enbuild.2007.05.015.
6. Stec, W.J., Paassen, A.H.C.V. Symbiosis of the double skin façade with the HVAC system. *Energy and Buildings*. 2005. 37(5). Pp. 461–469. DOI:10.1016/j.enbuild.2004.08.007.
7. Balocco, C. A simple model to study ventilated facades energy performance. *Energy and Buildings*. 2002. 34(5). Pp. 469–475. DOI:10.1016/S0378-7788(01)00130-X.
8. Faggembauu, D., Costa, M., Soria, M., Oliva, A. Numerical analysis of the thermal behaviour of glazed ventilated facades in Mediterranean climates. Part II: Applications and analysis of results. *Solar Energy*. 2003. 75(3). Pp. 229–239. DOI:10.1016/j.solener.2003.07.014.
9. Eicker, U., Fux, V., Bauer, U., Mei, L., Infield, D. Façades and summer performance of buildings. *Energy and Buildings*. 2008. 40(4). Pp. 600–611. DOI:10.1016/j.enbuild.2007.04.018.
10. Hensen, J., Bartak, M., Drkal, F. Modeling and simulation of a double-skin façade system. *ASHRAE Transactions*. 2002. 108 PART 2. Pp. 1251–1258.
11. Ghadamian, H., Ghadimi, M., Shakouri, M., Moghadasi, M., Moghadasi, M. Analytical solution for energy modeling of double skin façades building. *Energy and Buildings*. 2012. 50. Pp. 158–165. DOI:10.1016/j.enbuild.2012.03.034.
12. Baldinelli, G. Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system. *Building and Environment*. 2009. 44(6). Pp. 1107–1118. DOI:10.1016/j.buildenv.2008.08.005.
13. Andjelković, A.S., Cvjetković, T.B., Djaković, D.D., Stojanović, I.H. Development of simple calculation model for energy performance of double skin façades. *Thermal Science*. 2012. 16(SUPPL. 1). DOI:10.2298/TSCI120201076A.
14. Yilmaz, Z., Çetintaş, F. Double skin façade's effects on heat losses of office buildings in Istanbul. *Energy and Buildings*. 2005. 37(7). Pp. 691–697. DOI:10.1016/j.enbuild.2004.07.010.
15. Ballestini, G., De Carli, M., Masiero, N., Tombola, G. Possibilities and limitations of natural ventilation in restored industrial archaeology buildings with a double-skin façade in Mediterranean climates. *Building and Environment*. 2005. 40(7). Pp. 983–995.

DOI:10.1016/j.buildenv.2004.09.015.

16. Kim, Y.M., Lee, J.H., Kim, S.M., Kim, S. Effects of double skin envelopes on natural ventilation and heating loads in office buildings. *Energy and Buildings*. 2011. 43(9). Pp. 2118–2126. DOI:10.1016/j.enbuild.2011.04.012.
17. Zerefos, S. On the performance of double skin facades in different environmental conditions. *International Journal of Sustainable Energy*. 2007. 26(4). Pp. 221–229. DOI:10.1080/14786450701803239.
18. Papadaki, N., Papantoniou, S., Kolokotsa, D. A parametric study of the energy performance of double-skin façades in climatic conditions of Crete, Greece. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2014. 9(4). Pp. 296–304. DOI:10.1093/ijlct/cts078.
19. Chan, A.L.S., Chow, T.T. Calculation of overall thermal transfer value (OTTV) for commercial buildings constructed with naturally ventilated double skin façade in subtropical Hong Kong. *Energy and Buildings*. 2014. 69. Pp. 14–21. DOI:10.1016/j.enbuild.2013.09.049.
20. Pasut, W., De Carli, M. Evaluation of various CFD modelling strategies in predicting airflow and temperature in a naturally ventilated double skin faade. *Applied Thermal Engineering*. 2012. 37. Pp. 267–274. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2011.11.028.
21. Lou, W., Huang, M., Zhang, M., Lin, N. Experimental and zonal modeling for wind pressures on double-skin facades of a tall building. *Energy and Buildings*. 2012. 54. Pp. 179–191. DOI:10.1016/j.enbuild.2012.06.025.
22. Mourshed, M., Shikder, S., Price, A.D.F. Phi-array: A novel method for fitness visualization and decision making in evolutionary design optimization. *Advanced Engineering Informatics*. 2011. 25(4). Pp. 676–687. DOI:10.1016/j.aei.2011.07.005.
23. Marques da Silva, F., Gomes, M.G., Rodrigues, A.M. Measuring and estimating airflow in naturally ventilated double skin facades. *Building and Environment*. 2015. 87. Pp. 292–301. DOI:10.1016/j.buildenv.2015.02.005.
24. Mikhaylova, M.K., Dalinchuk, V., Bushmanova, A., Dobrogorskaya, L. Design, construction and operation of high-rise buildings, taking into account the aerodynamic aspects. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. 49(10). Pp. 59–74. DOI:10.18720/CUBS.49.4. URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2016.49.4> (date of application: 10.12.2020).
25. Kuritsyn, A.O., Pavlova, N.Y., Opanasenko, I.A., Bolotovskiy, V.V., Andreeva, D.S. Double skin facade with ventilated buffer zone. *AlfaBuild*. 2018. 7(5). Pp. 47–58. DOI:10.34910/ALF.7.5. URL: <https://alfabuild.spbstu.ru/article/2018.7.5> (date of application: 10.12.2020).
26. Nemova, D.V., Vasileva, I.L., Vatin, N.I. Introduction of double-skin facades in the Russian Federation. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2019. 84(9). Pp. 51–62. DOI:10.18720/CUBS.84.4. URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2019.84.4> (date of application: 10.12.2020).
27. Saroglou, T., Theodosiou, T., Givoni, B., Meir, I.A. Studies on the optimum double-skin curtain wall design for high-rise buildings in the Mediterranean climate. *Energy and Buildings*. 2020. 208. DOI:10.1016/j.enbuild.2019.109641.
28. Pomponi, F., Piroozfar, P.A.E., Southall, R., Ashton, P., Farr, E.R.P. Energy performance of Double-Skin Façades in temperate climates: A systematic review and meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. 54. Pp. 1525–1536. DOI:10.1016/j.rser.2015.10.075.