

## Автоматизация расчета теплозащитных характеристик окон

УДК692.82

### Баранова Ольга Михайловна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия;  
e-mail: baranovaom@mgsu.ru

### Курушкина Ксения Сергеевна

Студент кафедры «Информационные системы, технологии и автоматизация в строительстве» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия;  
e-mail: ksenia.kurushkina@gmail.com

**Аннотация:** Применение средств информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства позволяет анализировать проектную информацию с целью принятия наиболее верного решения, при этом существенно уменьшая неопределенность процессов за счет увеличения количества доступных для анализа данных. Одним из трудозатратных процессов на этапе проектирования является выбор наиболее подходящих конструктивных элементов, в том числе светопрозрачных конструкций. В рамках работы проанализирована нормативная и справочная информация, связанная с выполнением расчетов теплозащитных характеристик строительных конструкций, рассмотрены научные разработки, методики и публикации, посвященные автоматизации выполне-

ния тепло-технических расчетов с использованием различных программных инструментов. В целях проведения исследования был произведен расчет двух показателей: нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче и приведенного сопротивления теплопередаче окна. Для решения задачи были использованы такие средства автоматизации, как инструмент для визуального программирования Dynamo и язык программирования Python, с помощью которых был разработан скрипт расчета теплозащитных характеристик окон для использования в Autodesk Revit (Autodesk, Inc., USA). В рамках проведенного исследования было определено, что совместное использование инструмента для визуального программирования Dynamo и инструмента для текстового программирования Python, расширя-

### AUTOMATION OF CALCULATION OF HEAT-SHIELDING CHARACTERISTICS OF WINDOWS

#### Baranova Olga Mikhailovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia; e-mail: baranovaom@mgsu.ru

#### Kurushkina Ksenia Sergeevna

Student of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia; e-mail: ksenia.kurushkina@gmail.com

**Abstract:** The use of information modeling tools at all stages of the life cycle of a capital construction object allows you to analyze design information in order to make the most correct decision, while significantly reducing the uncertainty of processes by increasing the amount of data available for analysis. One of the labor-intensive processes at the design stage is the selection of the most suitable structural elements, including translucent structures. As part of the

work, the normative and reference information related to the calculation of the heat-shielding characteristics of building structures has been analyzed, scientific developments and publications devoted to the automation of the implementation of heat engineering calculations using various software tools are considered. For the purpose of the study, two indicators were calculated: the normalized value of the reduced heat transfer resistance and the reduced heat transfer resistance of the window. To solve the problem, such automation tools as the Dynamo visual programming tool and the Python programming language were used, with the help of which a script was developed for calculating the thermal performance of windows for use in Autodesk Revit (Autodesk, Inc., USA). As part of the study, it was determined that the combined use of the Dynamo visual programming tool and the Python text programming tool, expanding the functionality of Autodesk Revit, made it possible to automate the task of calculating the reduced heat transfer resistance of a window and the normalized heat transfer resistance, taking into account conditions of a specific construction region.

**Keywords:** Information Modeling, Information Model, Automation, Thermal Performance, Dynamo, Python

юющих функци-ональные возможности Autodesk Revit (Autodesk, Inc., USA), позволило автоматизировать задачу расчета приведенного сопротивления теплопередаче окна и нормируемого сопротивления теплопередаче с учетом условий конкретного региона строительства.

Ключевые слова: информационное моделирование, информационная модель, автоматизация, теплозащитные характеристики, Dynamo, Python

## Введение

Технологии информационного моделирования в современных условиях являются наиболее прогрессивным средством, позволяющим вести проектную деятельность, в том числе, в области строительства. Применение средств информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства позволяет анализировать проектную информацию с целью принятия наиболее верного решения, при этом существенно уменьшая неопределенность процессов за счет увеличения количества доступных для анализа данных [1-8]. Одним из трудозатратных процессов на этапе проектирования является выбор наиболее подходящих конструктивных элементов. Данное утверждение справедливо и в отношении задачи подбора светопрозрачных конструкций.

Через оконные конструкции, занимающие в среднем около 20% площади фасадов жилых зданий, происходят значительные теплопотери, из-за чего на них уходит от 30 до 50% затрат на отопление здания [9]. Уровень теплозащитных свойств светопрозрачных конструкций характеризуется величиной приведенного сопротивления теплопередаче. Данная величина рассчитывается, исходя из значений приведенного сопротивления теплопередаче для профиля и стеклопакета. Для обеспечения заданных параметров микроклимата и эффективности расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию, приведенное сопротивление теплопередаче должно быть больше нормируемого сопротивления теплопередаче, которое зависит, главным образом, от географического региона страны. Корректный подбор светопрозрачных конструкций должен предотвращать появление холодного излучения в зоне окон и конденсата на самих окнах и в зоне их примыкания к другим конструкциям. Автоматизация процесса расчета характеристик светопрозрачных конструкций позволит упростить процесс подбора оконных

конструкций и ускорить процесс проектирования в целом [10-15].

## Методы

В рамках данной работы проанализирована нормативная и справочная информация, связанная с выполнением расчетов теплозащитных характеристик строительных конструкций, рассмотрены научные разработки, методики и публикации, посвященные автоматизации выполнения теплотехнических расчетов с использованием различных программных инструментов.

Расчет теплозащитных характеристик окон произведен в соответствии с методикой, указанной в нормативном документе СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Для выполнения расчета также были использованы данные, указанные в СП 131.13330.2020 «Строительная климатология». В качестве программного обеспечения для информационного моделирования в данной статье рассмотрен программный продукт Autodesk Revit (Autodesk, Inc., USA), предоставляющий .NET API, что дает возможность работать с любым языком программирования, поддерживающим .NET. В рамках исследования рассмотрено применение для решения задачи расчета теплозащитных характеристик окон двух инструментов, расширяющих функциональные возможности Autodesk Revit (Autodesk, Inc., USA), а именно платформы для визуального программирования Dynamo и высокоуровневого языка программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью Python.

## Результаты

В целях проведения исследования был произведен расчет двух показателей: нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче и приведенного сопротивления теплопередаче окна.

Расчет нормируемого значения приведенного сопротивления теплопередаче произведен в соответствии с методикой расчета, указанной в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче зависит от региона строительства (Рис. 1).

Расчет, согласно СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», ведется на основании значений температуры внутреннего воздуха здания, принятой

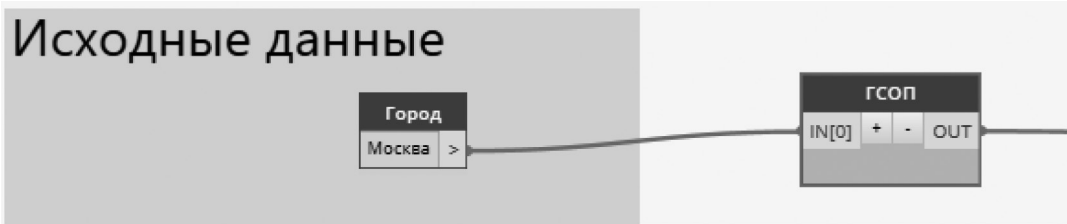


Рис. 1. Исходные данные для расчета нормируемого значения сопротивления теплопередаче

20°C, продолжительности, сут, и средней температуры воздуха, °C, периода со средней суточной температурой воздуха  $\leq 8^\circ\text{C}$ .

На основании исходных данных вычисляются градусо-сутки отопительного периода (1):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}) \cdot z_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}$ , - расчетная температура внутреннего воздуха здания;

$z_{\text{оп}}$ ,  $t_{\text{оп}}$  – продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, периода со средней суточной температурой воздуха  $\leq 8^\circ\text{C}$ .

Для вычисления ГСОП были сформированы вышеперечисленные значения для 50 крупнейших го-

родов России. Для упрощения скрипта ГСОП рассчитан при помощи нода Python Script, позволяющего обращаться к Revit на языке программирования Python (Рис. 2).

В продолжение исследования было рассчитано требуемое значение теплопередачи  $R_0^{\text{тр}}$  при помощи линейной интерполяции (Рис. 3).

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче определяется на основании формулы (2):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тр}} \cdot m_p, \quad (2)$$

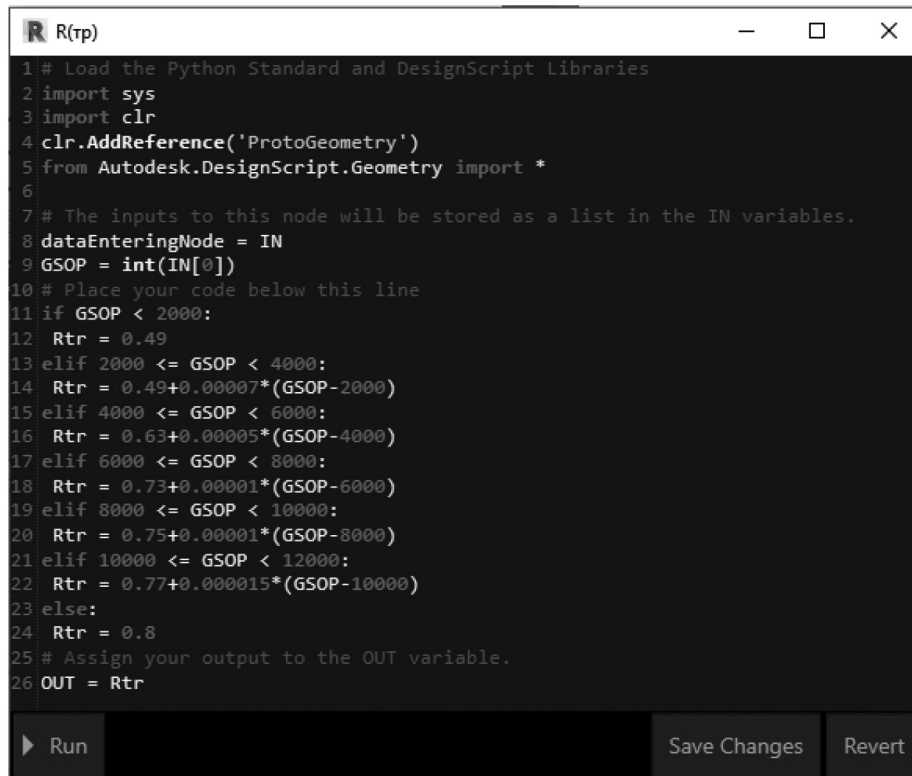
где  $R_0^{\text{тр}}$  – требуемое значение сопротивления теплопередаче, ( $\text{м}^2 \cdot \text{Вт}$ );

```

1 # Load the Python Standard and DesignScript Libraries
2 import sys
3 import clr
4 clr.AddReference('ProtoGeometry')
5 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
6
7 # The inputs to this node will be stored as a list in the IN variables.
8 dataEnteringNode = IN
9 City = IN[0]
10 # Place your code below this line
11 S_heating_dict = {'Москва': 204, 'Санкт-Петербург': 211, 'Новосибирск': 222, 'Екатеринбург': 220, 'Казань': 207, 'Нижний Новгород': 209, 'Челябинск': 212, 'Самара': 196, 'Омск': 216, 'Ростов-на-Дону': 167, 'Уфа': 209, 'Красноярск': 234, 'Воронеж': 190, 'Пермь': 225, 'Волгоград': 176, 'Краснодар': 146, 'Саратов': 189, 'Тюмень': 223, 'Тольятти': 196, 'Ижевск': 219, 'Барнаул': 214, 'Ульяновск': 205, 'Иркутск': 233, 'Хабаровск': 204, 'Махачкала': 145, 'Ярославль': 215, 'Владивосток': 199, 'Оренбург': 195, 'Томск': 233, 'Кемерово': 226, 'Новокузнецк': 228, 'Рязань': 203, 'Набережные Челны': 207, 'Астрахань': 165, 'Киров': 223, 'Пенза': 201, 'Севастополь': 132, 'Балашиха': 204, 'Липецк': 196, 'Чебоксары': 211, 'Калининград': 188, 'Тула': 202, 'Ставрополь': 168, 'Курск': 194, 'Улан-Удэ': 231, 'Сочи': 93, 'Тверь': 212, 'Магнитогорск': 212, 'Иваново': 214, 'Брянск': 199}
12 T_heating_dict = {'Москва': -2.2, 'Санкт-Петербург': -1.2, 'Новосибирск': -7.9, 'Екатеринбург': -5.5, 'Казань': -4.7, 'Нижний Новгород': -3.6, 'Челябинск': -6.6, 'Самара': -4.7, 'Омск': -3.1, 'Ростов-на-Дону': 0, 'Уфа': -5.9, 'Красноярск': -6.6, 'Воронеж': -2.4, 'Пермь': -5.4, 'Волгоград': -2.3, 'Краснодар': 2.7, 'Саратов': -3.2, 'Тюмень': -6.8, 'Тольятти': -4.7, 'Ижевск': -5.6, 'Барнаул': -7.5, 'Ульяновск': -4.5, 'Иркутск': -7.6, 'Хабаровск': -9.5, 'Махачкала': 2.8, 'Ярославль': -3.5, 'Владивосток': -4.2, 'Оренбург': -6, 'Томск': -7.8, 'Кемерово': -7.9, 'Новокузнецк': -7.9, 'Рязань': -3, 'Набережные Челны': -4.7, 'Астрахань': -0.7, 'Киров': -5, 'Пенза': -3.9, 'Севастополь': 4.9, 'Балашиха': -2.2, 'Липецк': -3.1, 'Чебоксары': -4.6, 'Калининград': 1.3, 'Тула': -2.6, 'Ставрополь': 0.6, 'Курск': -2.2, 'Улан-Удэ': -10.1, 'Сочи': 6.6, 'Тверь': -2.6, 'Магнитогорск': -6.6, 'Иваново': -3.6, 'Брянск': -2}
13 S_heating = S_heating_dict[City]
14 T_heating = T_heating_dict[City]
15 GSO = (20-T_heating)*S_heating
16 # Assign your output to the OUT variable.
17 OUT = GSO

```

Рис. 2. Расчет градусо-суток отопительного периода



```

1 # Load the Python Standard and DesignScript Libraries
2 import sys
3 import clr
4 clr.AddReference('ProtoGeometry')
5 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
6
7 # The inputs to this node will be stored as a list in the IN variables.
8 dataEnteringNode = IN
9 GSOP = int(IN[0])
10 # Place your code below this line
11 if GSOP < 2000:
12     Rtr = 0.49
13 elif 2000 <= GSOP < 4000:
14     Rtr = 0.49+0.00007*(GSOP-2000)
15 elif 4000 <= GSOP < 6000:
16     Rtr = 0.63+0.00005*(GSOP-4000)
17 elif 6000 <= GSOP < 8000:
18     Rtr = 0.73+0.00001*(GSOP-6000)
19 elif 8000 <= GSOP < 10000:
20     Rtr = 0.75+0.00001*(GSOP-8000)
21 elif 10000 <= GSOP < 12000:
22     Rtr = 0.77+0.000015*(GSOP-10000)
23 else:
24     Rtr = 0.8
25 # Assign your output to the OUT variable.
26 OUT = Rtr

```

Рис. 3. Расчет требуемого значения теплопередачи

$m_p$  – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимаемый единице.

Далее в рамках исследования был произведен расчет приведенного сопротивления теплопередаче окна. Исходными данными для указанного расчета являются:

- Ширина окна  $A$ , м;
- Высота окна  $B$ , м;
- Сопротивление теплопередаче стеклопакета  $R_{g, (м^2 \cdot Вт)}$  – предоставляется производителем;
- Сопротивление теплопередаче профиля  $R_p, (м^2 \cdot Вт)$  – предоставляется производителем или в соответствии с ГОСТ 24866-2014 «Стеклопакеты клеенные. Технические условия»;
- Высота профиля  $K$ , м;
- Количество створок  $N$ .

Площадь окна вычисляется по формуле (3):

$$S_w = A \cdot B \quad (3)$$

Площадь светопрозрачной части окна  $S_g$  зависит от количества створок (Рис. 4).

В разработанном в рамках проведения исследования скрипте предусмотрено количество створок от 1 до 4.

Площадь непрозрачной части окна  $S_p$  в соответствии с формулой (4) вычисляется как разность площади окна и площади светопрозрачной части окна:

$$S_p = S_w - S_g \quad (4)$$

Приведенное сопротивление теплопередаче окна определяется по формуле (5):

$$R_0^{np} = \frac{1}{\frac{1-\beta}{R_p} + \frac{\beta}{R_g}} \quad (5)$$

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче окна с использованием языка программирования Python приведен на Рис. 5.

Согласно требованиям нормативных документов, приведенное значение теплопередаче окна должно быть больше нормируемого сопротивления теплопередаче, что отражено в формуле (6):

$$R_0^{np} \geq R_0^{норм} \quad (6)$$

Если указанное выше условие выполняется, то скрипт выводит сообщение “Поэлементное требование тепловой защиты выполнено” (Рис. 6).

Общий вид скрипта расчета теплозащитных характеристик окон, выполненного в среде визуально-

```

R Площадь светопрозрачной части окна S(g), м^2
1 # Load the Python Standard and DesignScript Libraries
2 import sys
3 import clr
4 clr.AddReference('ProtoGeometry')
5 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
6
7 # The inputs to this node will be stored as a list in the IN variables.
8 dataEnteringNode = IN
9 A = IN[0]
10 B = IN[1]
11 K = IN[2]
12 N = IN[3]
13 # Place your code below this line
14 if N == 1:
15     Sg = (A-2*K)*(B-2*K)
16 elif N == 2:
17     Sg = (A-3*K)*(B-2*K)
18 elif N == 3:
19     Sg = (A-4*K)*(B-2*K)
20 else:
21     Sg = (A-5*K)*(B-2*K)
22 # Assign your output to the OUT variable.
23 OUT = Sg

```

Рис. 4. Расчет светопрозрачной части окна

```

R Приведенное сопротивление теплопередаче окна, R(пр) (м^2*С)/Вт
1 # Load the Python Standard and DesignScript Libraries
2 import sys
3 import clr
4 clr.AddReference('ProtoGeometry')
5 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
6
7 # The inputs to this node will be stored as a list in the IN variables.
8 dataEnteringNode = IN
9 Sw = IN[0]
10 Sg = IN[1]
11 Rg = IN[2]
12 Rp = IN[3]
13 # Place your code below this line
14 Beta = Sg/Sw
15 Rtr = 1/((1-Betta)/Rp+Betta/Rg)
16 # Assign your output to the OUT variable.
17 OUT = Rtr

```

Рис. 5. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче окна

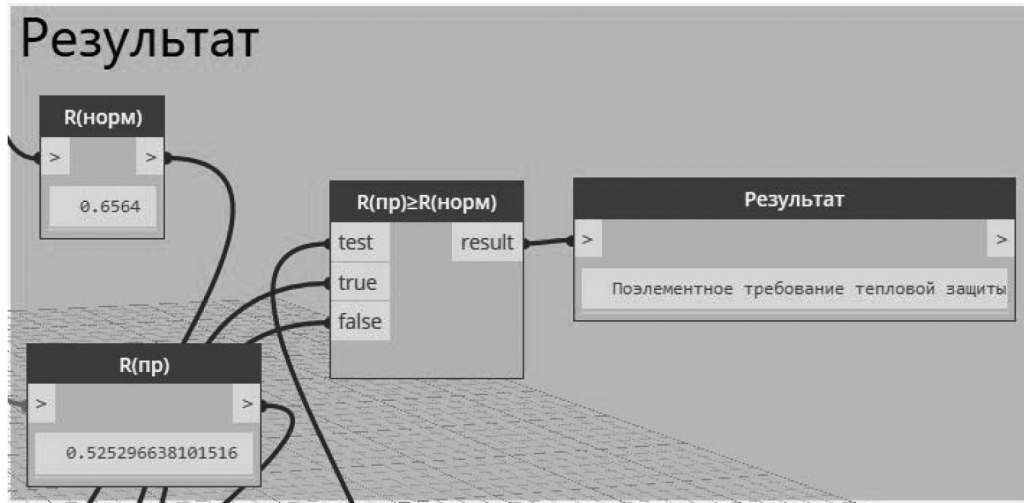


Рис. 6. Проверка выполнения условия

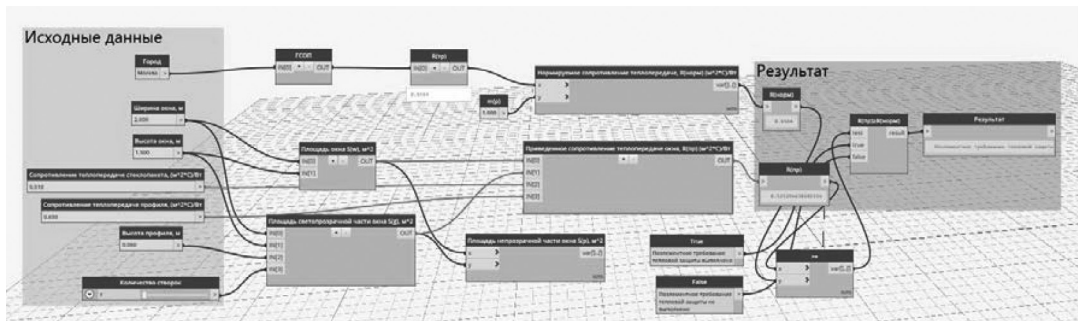


Рис. 7. Общий вид скрипта расчета теплозащитных характеристик окон

го программирования Dynamo с использованием высокоуровневого языка программирования Python, показан на Рис. 7.

Скрипт имеет достаточно компактное представление, что обусловлено использованием вместо некоторых визуальных узлов Dynamo строк кода на языке программирования Python.

### Обсуждение

Применение средства визуального программирования Dynamo позволяет расширить функционал программных продуктов, совместимых с Dynamo, в том числе Autodesk Revit (Autodesk, Inc., USA), использованный для разработки информационной модели в данном исследовании [16-18]. Однако при автоматизации сложных расчетов визуальная программа может оказаться перегруженной и недостаточно функциональной. Проведен-

ное исследование свидетельствует, что сочетание таких инструментов, как Dynamo и Python, позволяет существенно расширить возможности Dynamo, а также упростить скрипт при помощи замены большого количества узлов компактными строками кода [19-20].

### Выводы

В рамках проведенного исследования было определено, что совместное использование инструмента для визуального программирования Dynamo и инструмента для текстового программирования Python, расширяющих функциональные возможности Autodesk Revit (Autodesk, Inc., USA), позволило автоматизировать задачу расчета приведенного сопротивления теплопередаче окна и нормируемого сопротивления теплопередаче с учетом условий конкретного региона строительства.

## Литература

1. Ginzburg A., Shilov L., Shilova L. The methodology of storing the information model of building structures at various stages of the life cycle. *Journal of physics: conference series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019* (2020)
2. Ginzburg A.V. Building life cycle information modelling. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]*, 9, 61–65 (2016)
3. Volkov A. General information models of intelligent building control systems: basic concepts, determination and the reasoning. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 838-841, 2973-2976 (2014)
4. Volkov A., Chulkov V., Kazaryan R., Gazaryan R. Cycle reorganization as model of dynamics change and development norm in every living and artificial beings. *Applied Mechanics and Materials*, vol. 584-586, 2685-2688 (2014)
5. Talapov V.V. BIM Technology. Essence and features of building information modeling introduction. DMK Press, Moscow (2015)
6. Ginzburg A. LE IM living environment information modelling. 2018 INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ENVIRONMENTAL SCIENCE FOR CONSTRUCTION INDUSTRY, ESCI (2018)
7. Ginzburg A.V. Building life cycle information modelling. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]*, 9, 61–65, (2016).
8. Ginzburg A.V. LE IM Living Environment Information Modelling // International Scientific Conference Environmental Science for Construction Industry, ESCI 2018; Ho Chi Minh City; Viet Nam: MATEC Web of Conferences, Volume 193, 05030 (2018)
9. Гликин С.М. Роль светопрозрачных конструкций в энергосбережении зданий // *Академия. Архитектура и строительство*. 381-384 2009. №5.
10. Mikhailov S., Mikhailova A., Nadyrshina N., Nadyrshina L. BIM-technologies and digital modeling in educational architectural design. *International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2020)*, vol. 890 (2020).
11. Tikhomirov A., Konstantinov A., Kurushkina K., Lambias Ratnayake M. Conception of a complex window design method Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018) E3S Web of Conferences Vol. 91 (2019).
12. Тихомиров А.М., Константинов А.П., Курушкина К.С. Проектирование оконных конструкций с применением технологии информационного моделирования зданий. *Наука и бизнес: пути развития* 11(89) 123-128 (2018).
13. Усенко В.В., Суханова И.И. Определение тепловых потерь через наружное ограждение в современных программных комплексах. Всероссийская научно-практическая конференция BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры, 152-155 (2018).
14. Korniyenko, S.V. Multifactorial forecast of thermal behavior in building envelope elements. *Magazine of Civil Engineering*, 52 (8), 25–37 (2014).
15. Korniyenko, S. Evaluation of thermal performance of residential building envelope. *Procedia Engineering*, 117, 191–196 (2015).
16. Predeina V. P. Automation of architectural model creation by means of visual programming in dynamo. BIM IN CONSTRUCTION & ARCHITECTURE (BIMAC 2021), 525-532 (2021).
17. GEORGIEV N. G., SHUMILOV K. A. On the comprehensive application of visual programming packages in BIM. BIM IN CONSTRUCTION & ARCHITECTURE (BIMAC 2021), 106-112 (2021).
18. SHISHINA D., SERGEEV P. Revit Dynamo: designing objects of complex forms. Toolkit and process automation features. ARCHITECTURE AND ENGINEERING, 3, Vol. 4, 30-38 (2019).
19. Могилина В.С., Сазанова А.Н., Шумилов К.А. Программирование оболочек в дупато с использованием PYTHON. Всероссийская научно-практическая конференция BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры, 173-177 (2018).
20. Дивин Н.В. Применение кодирования на языке программирования PYTHON для автоматизации ПК REVIT. Международная научно-практическая конференция Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия, 199-203 (2020).