

Оригинальная статья / Original article

УДК 699.86

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-50-68>

Методика выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов с помощью среды визуального программирования Dynamo

Е. Ю. Чакин¹, О. С. Гамаюнова¹ ✉

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
ул. Политехническая, д. 29, г. Санкт-Петербург 195251, Российская Федерация

✉ e-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

Резюме

Цель исследования: разработка методики выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов с помощью среды визуального программирования Dynamo с целью повышения энергоэффективности ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Методы. Исследование выполнено с помощью теоретических и практических методов. Теоретическое исследование выполнено на основе анализа научных публикаций, а также нормативных требований в сфере энергоэффективности. Практическое исследование выполнено с помощью реализации методики подбора теплоизоляционных материалов в программном комплексе Revit с использованием среды визуального программирования Dynamo.

Результаты. Изучены возможности среды визуального программирования Dynamo, позволяющих автоматизировать моделирование и разработку проектной документации в программном комплексе Revit, автоматизировать процесс армирования конструкций, проектирования инженерных сетей и систем, создавать автоматизированные системы контроля качества BIM-моделей и др. Особое внимание в работе уделено возможностям Dynamo для автоматизации выполнения теплотехнического расчета и подбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов. Создана библиотека теплоизоляционных материалов, которую можно дополнять и копировать из одного проекта в другой стандартным функционалом Revit. Создано два скрипта Dynamo. Результат работы первого – полная автоматизация теплотехнического расчета в Revit, итог работы второго – подбор теплоизоляционного материала с учетом требований по тепловой защите зданий. Разработана методика выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов с помощью среды визуального программирования Dynamo. Достоверность расчетов, полученных на основе разработанных скриптов, подтверждена результатами ручного расчета.

Заключение. Применение современных BIM-технологий при выборе энергоэффективных теплоизоляционных материалов позволяет оптимизировать процесс расчетов, а также дает возможность найти наиболее экономичные решения для сокращения расходов и повышает скорость проектирования.

Ключевые слова: BIM; Revit; Dynamo; ограждающие конструкции; теплоизоляционные материалы; утеплитель; энергоэффективность; теплотехнический расчет; визуальное программирование.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования Чакин Е. Ю., Гамаюнова О. С. Методика выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов с помощью среды визуального программирования Dynamo // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №3. С. 50-68. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-50-68>.

Поступила в редакцию 17.05.2024

Подписана в печать 20.06.2024

Опубликована 30.09.2024

Methodology for selecting energy-efficient thermal insulation materials using the Dynamo visual programming environment

Egor Y. Chakin ¹, Olga S. Gamayunova ¹ ✉

¹ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
29, Polytechnicheskaya str., Saint Petersburg 195251, Russian Federation

✉ e-mail: politovyevegeny@yandex.ru

Abstract

Purpose of research: development of a methodology for selecting energy-efficient thermal insulation materials using the Dynamo visual programming environment in order to increase the energy efficiency of building envelopes and structures.

Methods. The study was carried out using theoretical and practical methods. The theoretical study was carried out based on an analysis of scientific publications, as well as regulatory requirements in the field of energy efficiency. The practical study was carried out using the implementation of the methodology for selecting thermal insulation materials in the Revit software package using the Dynamo visual programming environment.

Results. The capabilities of the visual programming environment Dynamo have been studied, allowing to automate the modeling and development of design documentation in the Revit software package, automate the process of reinforcing structures, designing utility networks and systems, creating automated quality control systems for BIM models, etc. Particular attention in the work is paid to the capabilities of Dynamo for automation performing thermal engineering calculations and selecting energy-efficient thermal insulation materials. A library of thermal insulation materials has been created, which can be supplemented and copied from one project to another using standard Revit functionality. Two Dynamo scripts have been created. The result of the work of the first is the complete automation of thermal engineering calculations in Revit, the result of the work of the second is the selection of thermal insulation material taking into account the requirements for thermal protection of buildings. A methodology has been developed for selecting energy-efficient thermal insulation materials using the Dynamo visual programming environment. The reliability of calculations obtained on the basis of developed scripts is confirmed by the results of manual calculations.

Conclusion. The use of modern BIM technologies when choosing energy-efficient thermal insulation materials allows you to optimize the calculation process, and also makes it possible to find the most cost-effective solutions to reduce costs and increases design speed.

Keywords: BIM; Revit; Dynamo; enclosing structures; thermal insulation materials; insulation; energy efficiency; thermal calculations; visual programming.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Chakin E. Y., Gamayunova O. S. Methodology for selecting energy-efficient thermal insulation materials using the Dynamo visual programming environment. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(3): 50-68 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-50-68>.

Received 17.05.2024

Accepted 20.06.2024

Published 30.09.2024

Введение

Dynamo – среда визуального программирования с открытым программным кодом, разрабатываемая крупнейшим в мире поставщиком программного обеспечения для сферы строительства – Autodesk. Главным назначением среды является создание новых программных функций, позволяющих анализировать большие массивы данных и оптимизировать рутинные процессы [1].

Процесс визуального программирования среды Dynamo можно представить, как последовательный набор действий, выполняемых по заданному алгоритму. Данный алгоритм выполняется с помощью предварительно разработанных текстовых фрагментов программного кода - узлов (англ. node), последовательность которых составляет сценарий (англ. script).

Благодаря BIM-технологиям стали возможны оптимизация и ускорение привычных процессов проектирования зданий и сооружений. Р.М. Смакаев, Т.А. Низина в работе [1] описали созданные алгоритмы Dynamo, позволяющих автоматизировать моделирование и разработку проектной документации в программном комплексе Revit. Авторы указывают на увеличение эффективности применения таких алгоритмов при выполнении большого количества повторяющихся однотипных операций, разработке типовых объектов или построении сложной параметрической

геометрии. Экономия времени на подготовку проектной документации подтверждается и в работах [2-4].

Ряд научных публикаций описывает использование Dynamo для автоматизации процесса армирования конструкций. Я.Е. Агафонов, М.Д. Черкасова [5] использовали Dynamo для создания программы для редактирования арматуры плиты в Revit на основании мозаики, полученной из ПК ЛИРА-САПР 2019. В результате работы получена программа, которая по исходным данным (плита, файл с мозаикой армирования, таблица соответствия цвета) изменяет арматуру выделенных объектов на пересчитанную с помощью ПВК ЛИРА. Программа демонстрирует возможность улучшения и автоматизации связки Revit – ЛИРА 2019 и оптимизации армирования, однако код узкоспециализирован и ограничен в функционале. В работе [6] А. Степанова, Л.А. Шилова разработали алгоритм армирования элементов железобетонных конструкций и апробировали его при армировании колонны с прямоугольным сечением, используя существующие нормы армирования колонн.

Н.Б. Колосова и В.В. Сергеев изучили совместную работу системы визуального программирования Dynamo и электронных таблиц MS Excel [7]. Разработанный авторами скрипт предложено использовать при подсчете земляных работ и исследовании картограммы

земляных работ с целью минимизирования затрат на производство работ нулевого цикла, что, например, может быть использовано в дорожном строительстве при прокладке наиболее экономически обоснованного маршрута дороги по критерию минимизации затрат на строительство.

Dynamo может применяться и при проектировании инженерных сетей и систем [8, 9], создании автоматизированной системы контроля качества BIM-моделей [10]. Подробный обзор возможностей использования Revit API и Dynamo в BIM представлен в работе [11].

Большой интерес в строительной сфере уделяется энергоэффективности ограждающих конструкций [12-15], моделированию температурно-влажностного режима [16-18], определению теплотехнических свойств строительных материалов [19-21]. При этом в основе повышения энергетической эффективности ограждающих конструкций лежит, как правило, теплотехнический расчет. Некоторые авторы предлагают различные варианты автоматизации таких расчетов. Так, например, П. Ярашов, А.Ю. Городишенина предложили алгоритм создания скрипта для автоматизированного теплотехнического расчета в Dynamo [22]. Разработанный авторами скрипт позволяет ускорить процесс проектирования, однако имеет ограничение – он предназначен только для расчета надземной части здания.

Возможности BIM-комплексов, основные принципы программирования Dynamo, а также скрипт Dynamo для теплотехнического расчета представлены в работе [23]. На основании обзора теплоизоляционных материалов, представленных в [24], была поставлена цель: разработать методику выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов с помощью среды визуального программирования Dynamo.

Материалы и методы

Исследование выполнено с помощью теоретических и практических методов. Теоретическое исследование выполнено на основе анализа научных публикаций, а также нормативных требований в сфере энергоэффективности. Практическое исследование выполнено с помощью реализации методики подбора утеплителей в программном комплексе Revit с использованием инструмента визуального программирования Dynamo.

Для создания скрипта Dynamo в Revit 2021 создана цифровая модель двухэтажного жилого здания (рис.1) с площадью ограждающих стеновых конструкций, равной 253,71 м² [23].

На начальном этапе в Revit необходимо внести данные теплоизоляционных материалов (плотность, коэффициент теплопроводности, стоимость). Общий вид добавленных материалов в диспетчер материалов представлен на рис. 2.



Рис. 1. Цифровая модель здания

Fig. 1. Digital building model

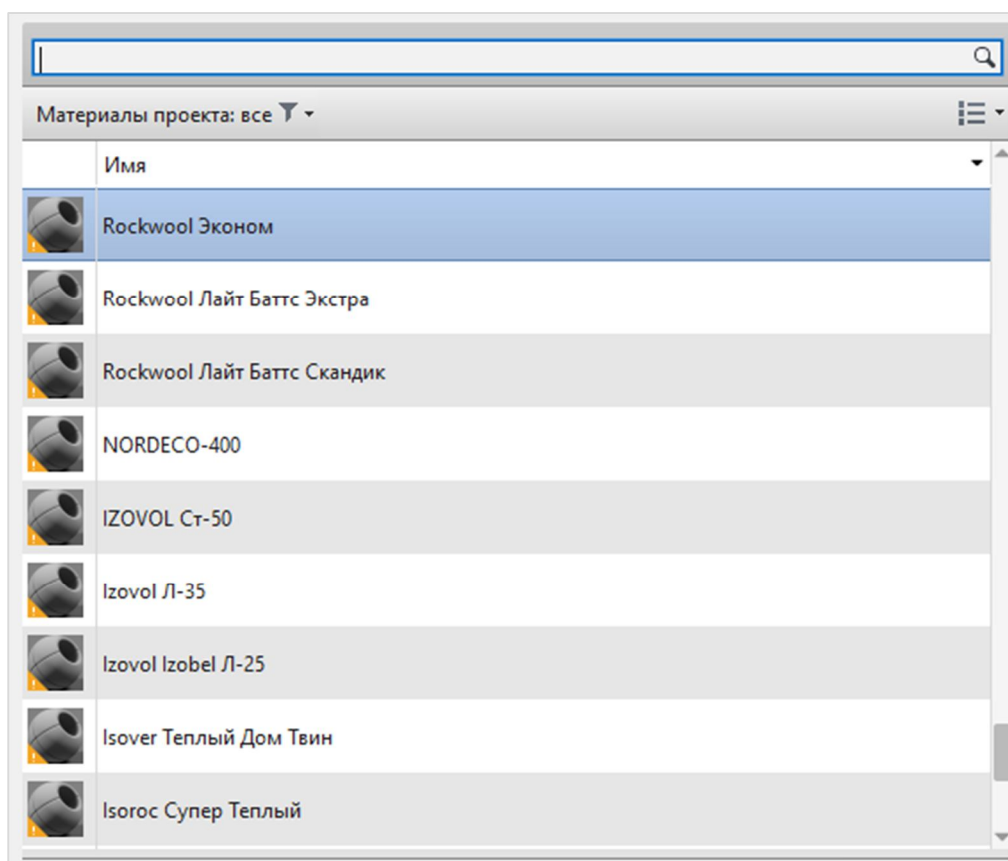


Рис. 2. Теплоизоляционные материалы, добавленные в модель Revit

Fig. 2. Thermal insulation materials added to the Revit model

На следующем этапе в Revit-модель необходимо внести параметры, используемые для теплотехнического расчета. С помощью файла общих параметров (ФОП), выполненного на основе стандартного ADSK-шаблона, создается набор требуемых параметров (рис. 3): коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, коэффициент теплоотдачи наружной

поверхности ограждающей конструкции, коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл. 3 в СП 50.13330.2012, требуемое и приведенное сопротивление теплопередаче, город (параметр, в котором будет возможность выбора города, от которого будет зависеть значение градусо-суток отопительного периода (ГСОП), и, наконец, значение ГСОП.

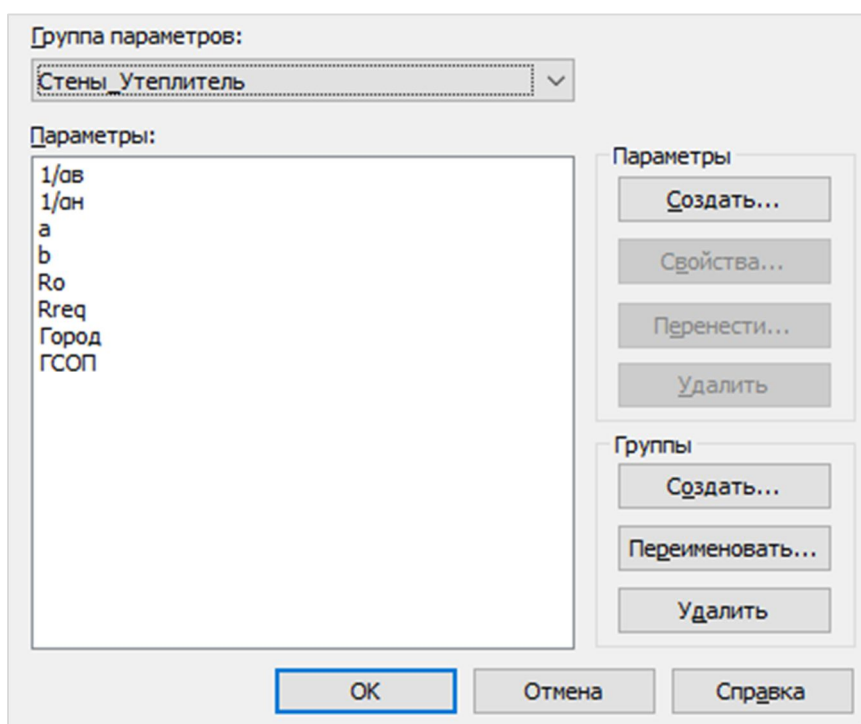


Рис. 3. Создание параметров в файле общих параметров

Fig. 3. Creating Settings in a General Settings File

В качестве примера использована ограждающая стеновая конструкция, состоящая из бетона, теплоизоляционного материала из каменной ваты, а также облицовки из кирпича. На основании заданных коэффициентов теплопроводности и толщины слоя каждого материала, Revit автоматически вычисляет параметр

термического сопротивления слоя однородной части фрагмента.

С помощью среды визуального программирования Dynamo был создан скрипт, который автоматизирует определение требуемого сопротивления теплопередаче с учетом климатических условий выбранного города. Параметр го-

рода заполняется с помощью нода (блока или узла, из которых собирается скрипт) `Element.SetParameterByName`.

Заполнение параметра ГСОП осуществляется с помощью файла Excel, где предварительно по формуле (5.2) из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» рассчитано значение ГСОП. Для импорта из Excel в Dynamo используется нод `Data.ImportExcel`. Скрипт для заполнения параметра ГСОП представлен на рис.4.

Далее, используя нод `Element.SetParameterByName`, на основании зна-

чений из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» заполняются коэффициенты:

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C);

a и b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл. 3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

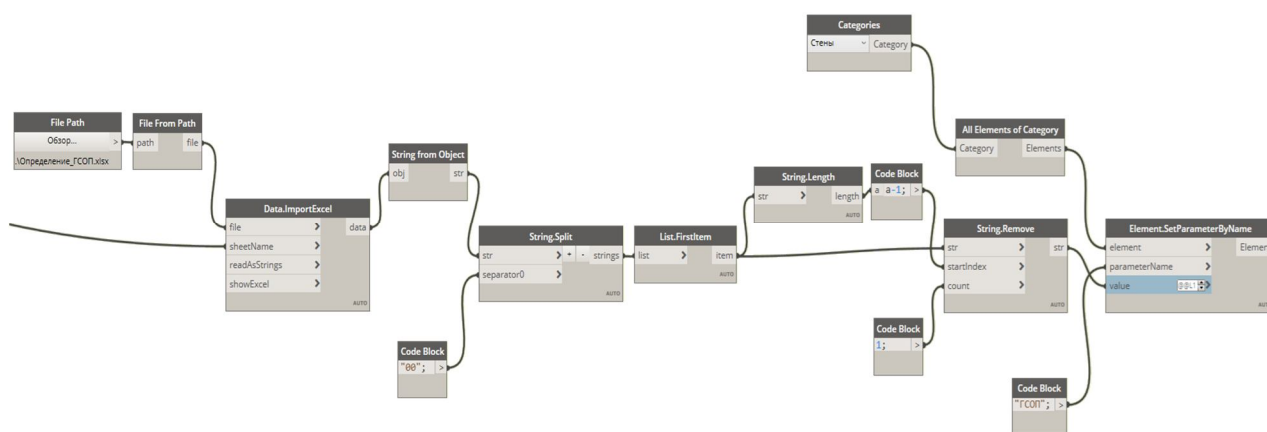


Рис. 4. Скрипт для заполнения параметра градусо-сутки отопительного периода

Fig. 4. Script for filling in the degree-day parameter for the heating period

На рис. 5 и 6 представлено автоматизированное заполнение данных параметров с помощью скрипта.

Более сложную структуру имеет скрипт (рис.7), который заполняет параметр требуемого сопротивления теплопередаче (R_{req}).

На следующем этапе происходит выполнение скрипта, который заполняет параметр требуемого сопротивления теплопередаче.

Автоматизированный подбор толщины теплоизоляционного материала происходит за счет работы второго скрипта, который, в свою очередь, подбирает множество вариантов, а затем с помощью сводной спецификации сравнивает значения требуемого и приведенного сопротивления теплопередаче. Причем значения, не обеспечивающие значение требуемого сопротивления теплопередаче, после настройки фильтрации в таблицу не попадают.

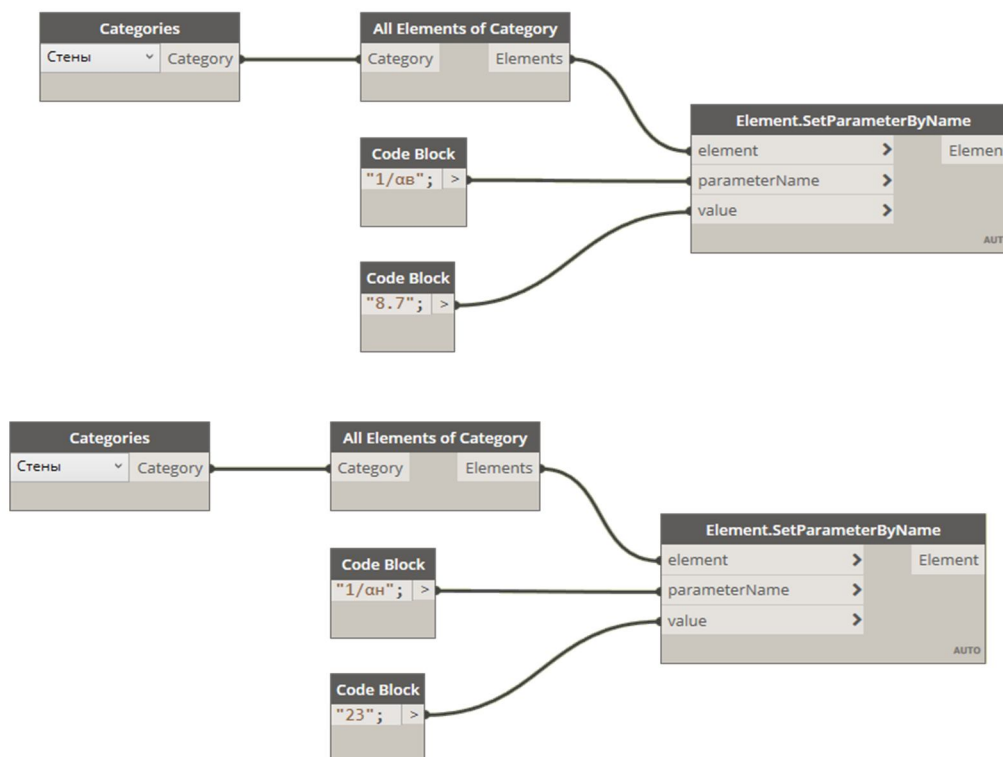


Рис. 5. Скрипт для заполнения коэффициентов α_b , α_n

Fig. 5. Script for filling in the coefficients α_b , α_n

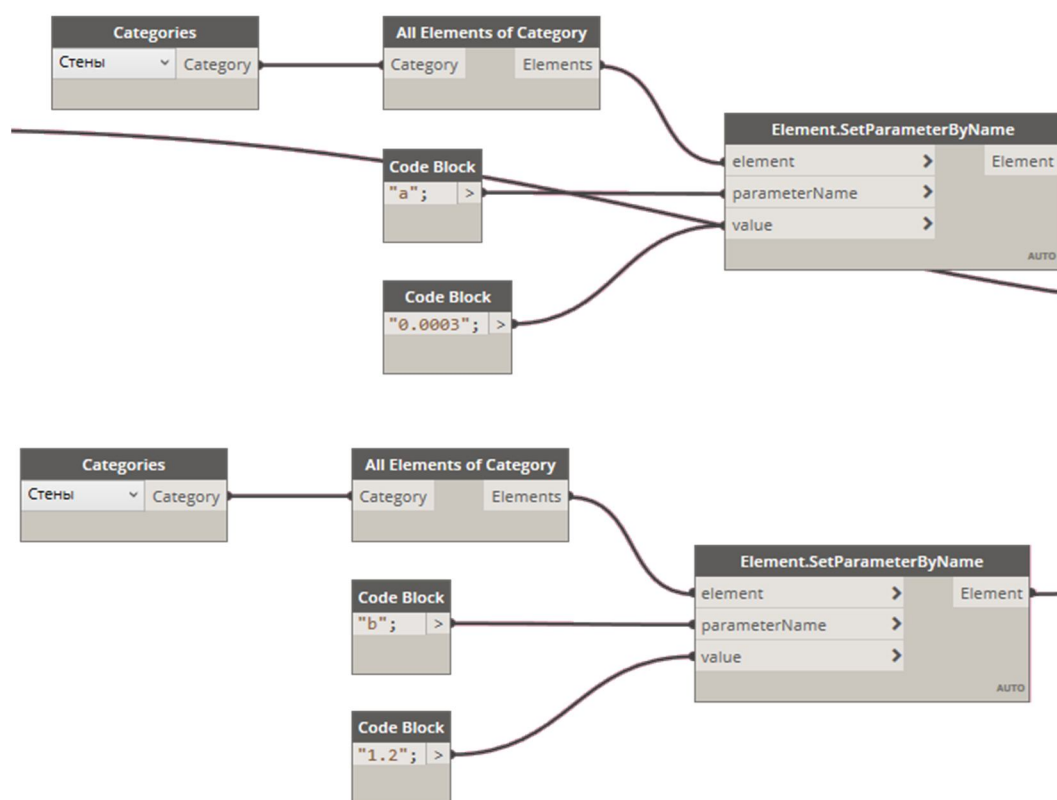


Рис. 6. Скрипт для заполнения коэффициентов a и b

Fig. 6. Script for filling in coefficients a and b

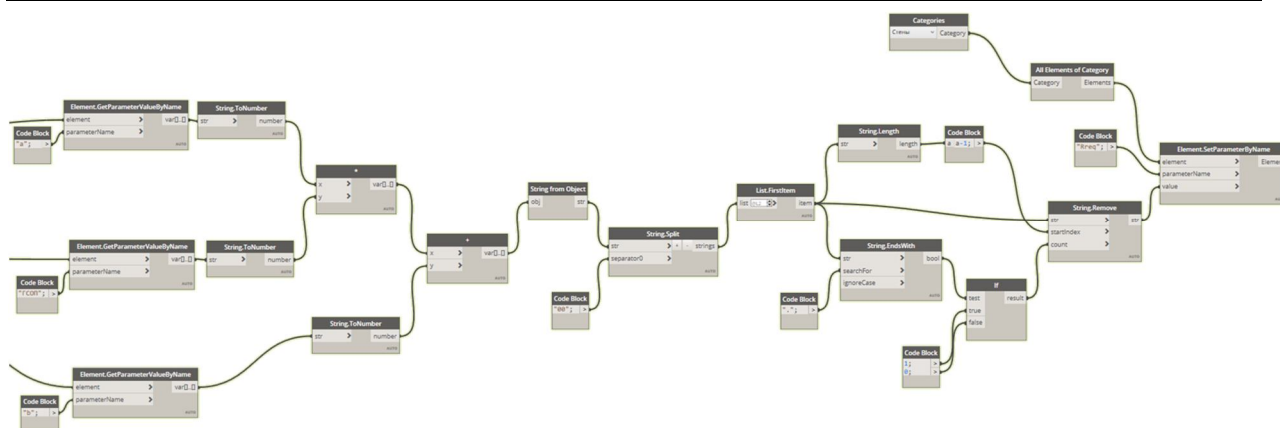


Рис. 7. Скрипт для заполнения требуемого сопротивления теплопередаче

Fig. 7. Script for filling in the required heat transfer resistance

Наименование типоразмеров назначается с помощью таблицы в Excel, из которой Dynamo также берет данные наименования и толщины теплоизоляционного материала [23]. Настройки фильтрации в ведомости формируются согласно правилу: приведенное сопротивление теплопередаче (R_{req}) должно

быть больше или равно требуемому сопротивлению теплопередаче (R_0). В итоге получаем сводную ведомость из вариаций стеновых конструкций с различными типами теплоизоляционных материалов и толщинами. Общий вид скрипта показан на рис.8.

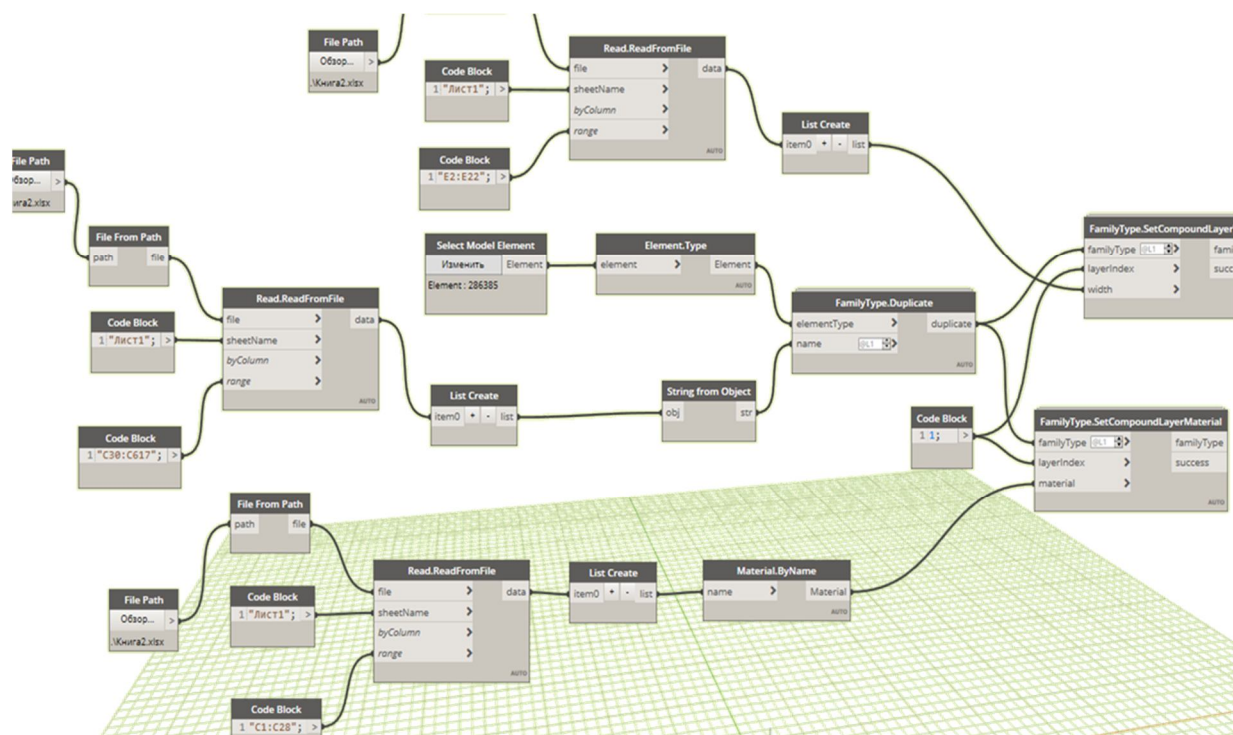


Рис. 8. Скрипт для создания различных вариаций толщин и производителей утеплителя

Fig. 8. Script for creating different variations of thicknesses and insulation manufacturers

В итоге, благодаря сводной ведомости можно увидеть все подходящие варианты теплоизоляционных материалов, удовлетворяющие теплотехническому расчету согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

На заключительном этапе осуществляется подбор различных вариантов теплоизоляционных материалов для стеновых ограждающих конструкций, соответствующих требованиям тепловой защиты зданий и сооружений.

Выбор теплоизоляционного материала осуществляется с помощью сводной ведомости. Сортировка ведомости устроена таким образом, что сначала выводятся стеновые ограждающие конструкции с наименьшими значениями стоимости утеплителя за м³. Согласно второму этапу сортировки стеновые конструкции со значениями приведённого сопротивления теплопередаче, которые наиболее приближены к значению требуемого сопротивления теплопередаче выводятся в верх ведомости. Таким образом сверху ведомости будут выводиться наиболее оптимальные варианты теплоизоляционных материалов.

С учетом всех представленных выше этапов, методику выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов с помощью среды визуального программирования Dynamo можно представить в виде схемы (рис. 9).

Результаты и их обсуждение

Для подбора энергоэффективного теплоизоляционного материала воспользуем-

ся стандартным функционалом Revit и сформируем спецификацию.

Для определения трансмиссионных потерь воспользуемся функцией редактирования ведомостей в Revit (инструмент «Расчетное значение») и формулой (1), которую перенесем в Revit.

$$Q_{\text{огр}}^{\Gamma} = 0,024 \cdot G \cdot \text{СОП} \cdot \sum_i \frac{A_i}{R_i} \cdot n, \quad (1)$$

где $Q_{\text{огр}}^{\Gamma}$ – трансмиссионные потери тепловой энергии на отопление (за отопительный период), кВт·ч/год; 0,024 – переводной коэффициент теплотерь энергии через наружные ограждающие конструкции из Вт·сут в кВт·ч; A_i – площадь i -го типа наружной ограждающей конструкции, принимаемая для рассматриваемого здания согласно спецификации элементов, м²; R_i – приведенное сопротивление теплопередаче i -го типа наружной ограждающей конструкции, принятого равным требуемому (R_{req}), м²·°C/Вт; n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху и уменьшающий разность температур для отдельного ограждения, которое не соприкасается с наружным воздухом; для наружных стен принимается равным 1.

С помощью инструмента «Расчетное значение» определим трансмиссионные потери для каждого вида теплоизоляционных материалов (рис.10).

Аналогичным образом зададим формулу для подсчета стоимости трансмиссионных теплотерь за первый год эксплуатации.



Рис. 9. Методика выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов с помощью среды визуального программирования Dynamo

Fig. 9. Methodology for selecting energy-efficient thermal insulation materials using the Dynamo visual programming environment

Формула складывается из произведения трансмиссионных потерь, переведенных в Гкал/год, и среднегодового значения стоимости тепловой энергии за коммунальные услуги по отоплению (рис.11).

Расчет общей величины затрат на теплоизоляционный материал (на утепление площади всех ограждающих стеновых конструкций) с помощью BIM-технологий осуществляется также инструментом спецификации в Revit. Ито-

говая сумма складывается из произведения общего объема необходимого теплоизоляционного материала на его удельную стоимость.

Определение затрат с помощью Revit выполняется с помощью создания нового табличного параметра «Затраты». Формула для подсчета показана на рис. 12.

Далее в Revit с помощью создания нового табличного параметра «Затраты за 1 год на энергию + стоимость утеплителя» осуществляется определение суммарных затрат. Формула представлена на рис. 13.

Формула для определения суммарных затрат за 10 лет эксплуатации представлена на рис. 14. Аналогично данным

формулам вводятся значения для сроков эксплуатации в 30 и 50 лет.

Рис. 10. Формула расчета трансмиссионных потерь в Revit

Fig. 10. Formula for calculating transmission losses in Revit

Рис. 11. Формула расчета стоимости трансмиссионных теплопотерь

Fig. 11. Formula for calculating the cost of transmission heat loss

В итоге нахождения энергоэффективного теплоизоляционного материала получаем сводную таблицу, в которой отражены все утеплители, удовлетво-

ряющие требованиям по тепловой защите зданий, для которых посчитаны трансмиссионные потери, а также затраты на покупку.

Расчетное значение

Имя: Затраты

☒ Формула: ☐ Процент

Категория: Общие

Тип данных: число

Формула: Материал: Стоимость*Материал: Объем

OK Отмена Справка

Рис. 12. Формула для подсчета затрат утеплителя в Revit

Fig. 12. Formula for calculating insulation costs in Revit

Расчетное значение

Имя: Затраты за 1 год на энергию + стоимость утеплителя

☒ Формула: ☐ Процент

Категория: Общие

Тип данных: число

Формула: Стоимость тепловой энергии трансмиссионных потерь + Затраты

OK Отмена Справка

Рис. 13. Формула для подсчета суммарных затрат за 1 год эксплуатации

Fig. 13. Formula for calculating the total costs for 1 year of operation

Расчетное значение

Имя: Затраты за 10 лет на энергию + стоимость утеплителя

☒ Формула: ☐ Процент

Категория: Общие

Тип данных: число

Формула: Стоимость тепловой энергии трансмиссионных потерь*10 + Затраты

OK Отмена Справка

Рис. 14. Формула для подсчета суммарных затрат за 10 лет эксплуатации

Fig. 14. Formula for calculating total costs over 10 years of operation

Но для непосредственного нахождения сроков окупаемости придется произвести расчет с помощью сторонних средств. Непосредственное нахождение сроков окупаемости предложенных мероприятий по утеплению ограждающих стеновых конструкций гораздо

легче выполнить вручную (используя, например, таблицы Excel), чем создавать длинный код в Dynamo.

Общая стоимость затрат на выбранный энергоэффективный теплоизоляционный материал для здания представлена на рис.15.

Затраты на теплоизоляционные материалы								
Наименование стены	ГСОП	Город	R _{req}	R ₀	Наименование утеплителя	Стоимость утеплителя за м3	Объем	Затраты
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	2.03 м³	4024.8
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	3.36 м³	6683.04
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	1.94 м³	3875.04
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	1.05 м³	2096.64
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	3.18 м³	6327.36
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	1.05 м³	2096.64
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	3.45 м³	6851.52
ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ 80	4537	Санкт-Петербург	2,5611	2,655257	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	2262.30	3.27 м³	6514.56
								45630,59

Рис. 15. Общая величина затрат на энергоэффективный теплоизоляционный материал

Fig. 15. Total costs for energy-efficient thermal insulation material

Дополнительно был произведен ручной расчет представленных выше параметров. Получено, что расчеты, выполненные с помощью Revit, полностью идентичны ручному расчету величины затрат на утепление всего здания, но главным преимуществом является то, что использование Revit и Dynamo для аналогичных расчетов позволит в дальнейшем существенно сократить время на выполнение работы.

Выводы

Использование BIM способно решить вопросы качественного и быстрого подбора теплоизоляционных матери-

алов, при этом даже не выходя из программного комплекса, что позволит в значительной степени сэкономить время, а также позволит минимизировать ошибки проектирования.

Анализ современных BIM-комплексов показал, что самым востребованным на сегодняшний день является Revit, а его функционал при использовании визуального программирования Dynamo практически безграничен.

По результатам исследования была разработана методика подбора теплоизоляционных материалов с помощью BIM-технологий. Но полная автоматизация подбора энергоэффективного теп-

теплоизоляционного материала с помощью Revit является достаточно трудоёмкой задачей, поэтому часть задач, например расчет срока окупаемости, быстрее будет сделать вручную или с помощью Excel.

С помощью среды визуального программирования Dynamo было создано два скрипта, используя которые можно подобрать энергоэффективные теплоизоляционные материалы. Результатом

работы первого скрипта в Revit осуществляется полная автоматизация теплотехнического расчета, Итогом работы второго скрипта служит автоматизированный подбор теплоизоляционного материала, исходя из их теплофизических и стоимостных характеристик. Достоверность расчетов, полученных на основе разработанных скриптов, подтверждена результатами ручного расчета.

Список литературы

1. Смакаев Р.М., Низина Т.А. Применение среды визуального программирования Dynamo при разработке проекта здания в Autodesk Revit // Основы экономики, управления и права. 2020. № 2(21). С. 48-55. DOI 10.51608/23058641_2020_2_48. EDN VTDDXI.
2. Mohamed M. N. A., Karmanova M.M. Creating Documents in Autodesk Revit Automatically with Dynamo // Components of Scientific and Technological Progress. 2022. № 7(73). P. 32-37. EDN ZPWOB1.
3. Автоматизация формирования спецификаций с помощью скрипта, разработанного в среде Dynamo / М. Н. А. Мохамед, С. В. Придвижкин, М. М. Карманова, Е. А. Печеркина // Перспективы науки. 2022. № 5(152). С. 82-87. EDN PVATVS.
4. Автоматизация процесса подготовки рабочей документации раздела «Конструкции железобетонные» при помощи средств визуального программирования в ПО Autodesk Revit / К.О. Шлыков, Н. И. Фомин, И. К. Каландадзе, Д. В. Никагосов // Перспективы науки. 2023. № 5(164). С. 172-175. EDN EYHAPU.
5. Агафонов Я.Е., Черкасова М.Д. Использование Dynamo для автоматизации проектирования арматуры // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. СПб.: СПбПУ, 2019. Ч. 2. С. 234-236. EDN YXSXKW.
6. Степанова А., Шилова Л. А. Применение модуля Dynamo в среде Revit для автоматизации процесса армирования элементов железобетонных конструкций // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 5(107). С. 76-83. EDN CUAZDR.
7. Колосова Н. Б., Сергеев В. В. Исследование трансформации аналитических данных из системы визуального программирования Dynamo в электронные таблицы Microsoft Excel // Известия Байкальского государственного университета. 2021. Т. 31. № 2. С. 156-166. DOI 10.17150/2500-2759.2021.31(2).156-166. - EDN IPGALN.
8. Чикмарев Е. С., Придвижкин С. В., Зверева О. М. Реализация комплексного подхода к проектированию инженерных систем с применением BIM-технологий: ав-

томатизация средствами Dynamo // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 5(143). С. 70-74. EDN QCYKSP.

9. Стариченко Д. К., Бахтина И. А. Создание скрипта для семейства трубопроводов в REVIT, при помощи визуального программирования Dynamo // Ползуновский альманах. 2023. № 1. С. 162-164. EDN EXLPEU.

10. Лемеза В. А., Придвижкин С. В. Разработка автоматизированной системы контроля качества на базе BIM моделей с помощью Dynamo // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 96-10. С. 68-72. DOI 10.18411/trnio-04-2023-527. EDN LQILYA.

11. Divin N. V. BIM by using Revit API and Dynamo. A review // AlfaBuild. 2020. № 2(14). P. 1404. DOI 10.34910/ALF.14.4. EDN CGPPSX.

12. Kokaya D., Zaborova D., Koriakovtseva T. Environmental analysis of residential exterior wall construction in temperate climate // Magazine of Civil Engineering. 2023. № 8(124). P. 114-122. DOI 10.34910/MCE.124.10. EDN HNNOQM.

13. Зубарев К.П., Рынкoвская М.И. Расчет толщины утеплителя стен зданий при нестационарном влажностном режиме ограждающей конструкции // Перспективы науки. 2023. № 1 (160). С. 99-101.

14. Zaborova D., Musorina T. Environmental and Energy-Efficiency Considerations for Selecting Building Envelopes // Sustainability. 2022. Vol. 14, № 10. P. 5914. DOI 10.3390/su14105914. EDN IXJBWJ.

15. Зубарев К.П., Бородулина А.И., Галлямова А.Р. Теоретические и экспериментальные методы определения сопротивления теплопередаче. Обзор литературы // Строительные материалы. 2021. № 6. С. 9-14. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-792-6-9-14

16. Zubarev K.P. Derivation of the equation of unsteady-state moisture behaviour in the enclosing structures of buildings using a discrete-continuous approach // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Vol. 17. № 4. P. 83-90. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-4-83-90

17. Zubarev K.P. Using discrete-continuous approach for the solution of unsteady-state moisture transfer equation for multilayer building walls // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Vol. 17, № 2. P. 50-57. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-2-50-57

18. Gamayunova O., Musorina T., Ishkov A. D. Humidity Distributions in Multilayered Walls of High-rise Buildings // E3S Web of Conferences. Samara, 04–08 September 2017. Samara: EDP Sciences. 2018. Vol. 33. P. 02045. DOI 10.1051/e3sconf/20183302045. EDN YUMGLC.

19. Бабурина Е. С., Коряковцева Т. А. Использование угольной добавки для создания теплоизоляционного бетона // Инженерные исследования. 2023. № 3(13). С. 3-11. EDN DYFSAT.

20. Теплотехнические свойства энергоэффективного материала на основе растительной добавки (сухой борщевик) / Т.А. Мусорина, Е.А. Наумова, Е.В. Шонина,

М.Р. Петриченко, М.И. Куколев // Вестник МГСУ. 2019. Т.14, №12. С. 1555-1571. DOI 10.22227/1997-0935.2019.12.1555-1571. EDN JWTJIZ.

21. Зубарев К.П., Рынкoвская М.И. Экспериментальное построение шкалы потенциала влажности для силикатного кирпича // Перспективы науки. 2022. № 9 (156). С. 55-57.

22. Ярашов П., Городишенина А. Ю. Алгоритм создания скрипта для автоматизированного теплотехнического расчета в Dynamo // Неделя науки ИСИ: материалы всероссийской конференции: в 3 ч., Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года. СПб.: СПбПУ, 2021. Ч. 2. С. 75-78. EDN WCAQEG.

23. Чакин Е. Ю., Гамаюнова О. С. Использование BIM-технологий для выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов // Инженерные исследования. 2022. № 2(7). С. 11-21. EDN GCLKXY.

24. Чакин Е. Ю. Энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 9-18. EDN GYDSPL.

References

1. Smakaev R.M., Lowland T.A. Application of the Dynamo visual programming environment when developing a building project in Autodesk Revit. *Osnovy ekonomiki, upravleniya i pravo = Fundamentals of economics, management and law*. 2020; (2): 48-55 (In Russ.). DOI 10.51608/23058641_2020_2_48. EDN VTDDXI.

2. Mohamed M. N. A., Karmanova M. M. Creating Documents in Autodesk Revit Automatically with Dynamo. *Components of Scientific and Technological Progress*. 2022, (7): 32-37. EDN ZPWOB.

3. Mohamed M. N. A., Pridvishkin S. V., Karmanova M. M., Pecherkina E. A. Automation of the formation of specifications using a script developed in the Dynamo environment. *Perspektivy nauki = Perspectives Sciences*. 2022; (5): 82-87 (In Russ.). EDN PVATVS.

4. Shlykov K.O., Fomin N. I., Kalandadze I. K., Nikagosov D. V. Automation of the process of preparing working documentation for the section “Reinforced concrete structures” using visual programming tools in Autodesk Revit software. *Perspektivy nauki = Perspectives of science*. 2023; (5): 172-175 (In Russ.). EDN EYHAPU.

5. Agafonov Ya.E., Cherkasova M.D. Using Dynamo to automate the design of reinforcement. In: *Nedelya nauki SPbPU: materialy nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = SPbPU Science Week: materials of a scientific conference with international participation*. St. Petersburg: SPbPU; 2019. Part 2. P. 234-236 (In Russ.). EDN YXSXKW.

6. Stepanova A., Shilova L. A. Application of the Dynamo module in the Revit environment to automate the process of reinforcing elements of reinforced concrete structures. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and business: ways of development*. 2020; (5): 76-83 (In Russ.). EDN CUAZDR.

7. Kolosova N. B., Sergeev V. V. Study of the transformation of analytical data from the Dynamo visual programming system into Microsoft Excel spreadsheets. *Izvestiya Baikal'skogo gosudarstvennogo universiteta = News of the Baikal State University*. 2021; 31 (2): 156-166. (In Russ.). DOI 10.17150/2500-2759.2021.31(2).156-166. EDN IPGALN.
8. Chikmarev E. S., Pridvizhkin S. V., Zvereva O. M. Implementation of an integrated approach to the design of engineering systems using BIM technologies: automation using Dynamo. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and business: ways of development*. 2023; (5): 70-74 (In Russ.). EDN QCYKSP.
9. Starichenko D. K., Bakhtina I. A., Starichenko D. K. Creating a script for a family of pipelines in REVIT, using visual programming Dynamo. *Polzunovskii al'manakh = Polzunovsky almanac*. 2023; (1): 162-164 (In Russ.). EDN EXLPEU.
10. Lemeza V. A., Pridvizhkin S. V. Development of an automated quality control system based on BIM models using Dynamo. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in the development of science and education*. 2023; (96-10): 68-72. DOI 10.18411/trnio-04-2023-527 (In Russ.). EDN LQILYA.
11. Divin N. V. BIM by using Revit API and Dynamo. A review. *AlfaBuild*. 2020; (2): 1404. DOI 10.34910/ALF.14.4. EDN CGPPSX.
12. Kokaya D., Zaborova D., Koriakovtseva T. Environmental analysis of residential exterior wall construction in temperate climate. *Magazine of Civil Engineering*. 2023; (8): 114-122. DOI 10.34910/MCE.124.10. EDN HNNOQM.
13. Zubarev K.P., Rynkovskaya M.I. Calculation of the thickness of insulation of building walls under non-stationary humidity conditions of the enclosing structure. *Perspektivy nauki = Perspectives of science*. 2023; (1): 99-101 (In Russ.).
14. Zaborova D., Musorina T. Environmental and Energy-Efficiency Considerations for Selecting Building Envelopes. *Sustainability*. 2022; 14 (10): 5914. DOI 10.3390/su14105914. EDN IXJBWJ.
15. Zubarev K.P., Borodulina A.I., Galliamova A.R. Theoretical and experimental methods for determining heat transfer resistance. Literature review. *Stroitel'nye materialy = Construction materials*. 2021; (6): 9-14 (In Russ.). DOI: 10.31659/0585-430X-2021-792-6-9-14
16. Zubarev K.P. Derivation of the equation of unsteady-state moisture behavior in the enclosing structures of buildings using a discrete-continuous approach. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021; 17(4): 83-90. DOI: 10.22337/2587-9618-2021-17-4-83-90
17. Zubarev K.P. Using discrete-continuous approach for the solution of unsteady-state moisture transfer equation for multilayer building walls. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021; 17 (2): 50-57. DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-2-50-57

18. Gamayunova O., Musorina T., Ishkov A. D. Humidity Distributions in Multilayered Walls of High-rise Buildings. *E3S Web of Conferences*. Samara: EDP Sciences; 2018. Vol. 33. P. 02045. DOI 10.1051/e3sconf/20183302045. EDN YUMGLC.
19. Baburina E. S., Koryakovtseva T. A. Using coal additives to create thermal insulating concrete. *Inzhenernye issledovaniya = Engineering Research*. 2023; (3): 3-11 (In Russ.). EDN DYFSAT.
20. Musorina T.A., Naumova E.A., Shonina E.V., Petrichenko M.R., Kukolev M.I. Thermal properties of energy-efficient material based on plant additives (dry hogweed). *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*. 2019; 14 (12): 1555-1571 (In Russ.). DOI 10.22227/1997-0935.2019.12.1555-1571. EDN JWTJIZ.
21. Zubarev K.P., Rynkovskaya M.I. Experimental construction of a moisture potential scale for sand-lime brick. *Perspektivy nauki = Perspectives of science*. 2022; (9): 55-57 (In Russ.).
22. P. Yarashov, A. Yu. Gorodishenina Algorithm for creating a script for automated thermal calculations in Dynamo. In: *Nedelya nauki ISI: Materialy vserossiiskoi konferentsii = ISI Science Week: Proceedings of the All-Russian conference*. St. Petersburg: SPbPU; 2021. Part 2. P. 75-78 (In Russ.). EDN WCAQEG.
23. Chakin E. Yu., Gamayunova O. S. Use of BIM technologies for the selection of energy-efficient thermal insulation materials. *Inzhenernye issledovaniya = Engineering Research*. 2022; (2): 11-21 (In Russ.). EDN GCLKXY.
24. Chakin E. Yu. Energy-efficient heat-insulating materials for enclosing wall structures. *Inzhenernye issledovaniya = Engineering Research*. 2022; (1): pp. 9-18 (In Russ.). EDN GYDSPL.

Информация об авторах / Information about the Authors

Чакин Егор Юрьевич, магистрант,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
e-mail: chakin34@gmail.com

Egor Y. Chakin, Master's Student,
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic
University, Saint Petersburg, Russian Federation,
e-mail: chakin34@gmail.com

Гамаюнова Ольга Сергеевна, кандидат
технических наук, доцент Высшей школы
промышленно-гражданского и дорожного
строительства, Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,
e-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

Olga S. Gamayunova, Cand. of Sci. (Engineering),
Associate Professor, Higher School of Industrial,
Civil and Road Construction, Peter the Great
St.Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russian Federation,
e-mail: gamayunova_os@spbstu.ru