

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 721.021.23

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.745-763

Модель прогнозного расчета технико-экономических показателей префаб-модуля

Савелий Павлович Заторский, Константин Августович Шумилов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ);
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Префабрикация и модульное строительство как инструменты повышения темпов строительного производства становятся все более востребованными для строительной отрасли в нынешних условиях экономики благодаря эффективности монтажа и способности сокращать сроки реализации проектов. Однако, несмотря на эти преимущества, применение технологий информационного моделирования (ТИМ) для автоматизации процессов проектирования модульных объектов и расчетов технико-экономических показателей (ТЭП) остается на недостаточном уровне, поскольку в этой сфере потенциал ТИМ еще не полностью реализован. Поэтому есть необходимость автоматизации процессов различных этапов жизненного цикла (ЖЦ), в том числе расчета показателей проекта для заводского производства. Сделан вывод о целесообразности разработки прогностической модели, снижающей сроки проектирования и повышающей экономическую обоснованность префаб-производства.

Материалы и методы. Рассматриваются практики автоматизации процессов проектирования на основе ТИМ, в частности, в рамках префабричного производства модульных конструкций. Цель исследования — повышение эффективности решения задач управления ЖЦ модульных объектов посредством применения прогностической модели, использующей статистический расчет ТЭП проекта, для более рационального управления данными информационной модели (ИМ) на различных этапах проектирования. Для достижения поставленной цели проведен системный обзор подходов и инструментов автоматизации процессов моделирования и обработки информации.

Результаты. Разработана модель, проанализированы полученные результаты работы модели, представлены возможности и преимущества применения данной модели в рамках префаб-производства. Сформулированы направления дальнейших исследований в рамках методики проектирования модульных объектов.

Выводы. Предложенная модель данных позволяет систематизировать и с достаточной точностью спрогнозировать ТЭП префаб-модулей на основе ИМ и интегрирования статистических расчетов, что дает возможность улучшить процесс принятия решений на ранних стадиях проектирования, а также способствует снижению риска ошибок и сокращению затрат на перепроектирование.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: информационное моделирование, ранний этап жизненного цикла объекта, модульные конструкции, префаб-производство, расчетная модель, обработка информации, автоматизация проектирования

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Заторский С.П., Шумилов К.А. Модель прогнозного расчета технико-экономических показателей префаб-модуля // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 5. С. 745–763. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.745-763

Автор, ответственный за переписку: Савелий Павлович Заторский, saveliy_zatorskiy@mail.ru.

Model of predictive calculation of technical and economic indicators of the prefabricated module

Saveliy P. Zatorskiy, Konstantin A. Shumilov

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Prefabrication and modular construction, as tools for increasing the pace of construction production, are becoming more and more in demand for the construction industry in the current economic environment due to the efficiency of installation and the ability to shorten project deadlines. However, despite these advantages, the use of information modeling technologies for automating the design processes of modular facilities and calculating technical and economic indicators remains at an insufficient level, since the potential of TIM in this area has not yet been fully realized. Therefore, it is advisable and necessary to automate the processes of various stages of the life cycle, including the calculation of project indicators for factory production. It was concluded that it is advisable to develop a predictive model that reduces the design time and increases the economic feasibility of prefabrication.

Materials and methods. The practice of automation of design processes based on BIM, in particular in the framework of factory-based production of modular structures is considered. The purpose of this study is to increase the efficiency of solving the life cycle management tasks of modular objects through the use of a predictive model using the statistical calculation of the TEI project for more rational data management at various design stages. To achieve this goal, a systematic review of approaches and tools for automating modelling and information processing processes was conducted.

Results. As a result of the analysis, a model was developed, the results obtained were analyzed, and the possibilities and advantages of applying this model within the framework of prefabrication were presented. Ways of further research within the framework of modular object design methodology were formulated.

Conclusions. The proposed data model can systematize and predict the TEI of prefabricated modules with sufficient accuracy based on IM and integration of statistical calculations, which improves decision making in the early stages of design, and helps to reduce the risk of errors and reduce the cost of redesign.

KEYWORDS: Information modelling, early stage of object life cycle, modular structures, prefabrication, design model, information processing, design automation

FOR CITATION: Zatorskiy S.P., Shumilov K.A. Model of predictive calculation of technical and economic indicators of the prefabricated module. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(5):745-763. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.745-763 (rus.).

Corresponding author: Savely P. Zatorskiy, savelyi_zatorskiy@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития экономики большое внимание уделяется применению новых технологий, которые смогут повысить качество проектирования и строительства, окупаемость проектов и максимально сократить сроки производства работ. Использование модульных объектов помогает достигнуть данных целей, поскольку в России накоплен достаточный опыт и есть значительные достижения в развитии объемно-блочного домостроения.

Модульное строительство — это технология, которая становится популярной в мире на сегодняшний день. Она предполагает возведение объекта капитального строительства (ОКС) из заранее подготовленных модулей, произведенных на заводе и привезенных на строительную площадку. Этот подход имеет ряд преимуществ перед традиционными методами строительства [1].

Капитальные модульные конструкции или блоки (Permanent Modular Constructions) изготавливаются вне строительной площадки на заводе или фабрике по технологии сборных конструкций из тех же материалов, в соответствии с теми же нормами и стандартами, что и традиционные строительные проекты [2]. Модули могут быть интегрированы в строительные проекты (встраиваемые модули) на месте или использоваться отдельно в качестве комплексного решения. Они изготавливаются с инженерными системами и внутренней отделкой в более короткие сроки, с меньшим количеством отходов и лучшим контролем качества, так как производятся в специализированных заводских цехах, а не на строительной площадке.

Кроме жилищного строительства модульные конструкции используются в таких отраслях, как энергетика, нефтяная и газовая промышленность. Также широкое применение в России имеют мобильные объекты с применением блок-контейнеров (модулей), обладающие сравнительно несложной и быстрой сборкой с помощью стандартных инструментов. С их внедрением реализуются

проекты бытовых городков, вахтовых поселков, временных складов, КПП и др. [3].

Существует несколько основных причин перехода к модульному строительству, а именно:

- снижение затрат на этапе строительства;
- уменьшение времени строительного цикла;
- улучшение качества.

Несмотря на эти преимущества, технология создает дополнительные ограничения, которые разработчики проектов должны учитывать, такие как:

- специализация производственной линии;
- ограничения по размеру транспортных дорог между заводом и строительной площадкой;
- ограничение размеров модуля в зависимости от габаритов грузового транспорта;
- детали соединений в процессе установки.

Быстро растущая потребность проектов модульного строительства и специализация этого направления требуют разработки высоко детализированного набора рабочих чертежей, чтобы избежать потенциальных задержек, которые могут свести на нет преимущества в эффективности этого подхода. В современных условиях эти потребности реализуются технологией информационного моделирования (BIM/ТИМ). В статье [4] исследуются проблемы, которые могут быть нивелированы применением технологии в строительных проектах, в том числе перерасход материалов, управление рисками и данными.

Авторы работ [5–7] рассматривают вопрос применения ТИМ для модульного строительства. Они акцентируют внимание на эффективности, отмечая, что эта технология значительно уменьшает затраты, ускоряет сроки реализации проектов и повышает точность как в проектировании, так и других этапах жизненного цикла (ЖЦ) зданий и сооружений. Однако исследования в основном сосредоточены на использовании информационного моделирования для управления процессами строительства и эксплуатации модульных объектов, оставляя в стороне аспекты, связанные с проектированием, расчетами,

обработкой информации в рамках префаб-производства самих модулей.

В то же время ТИМ предоставляет обширную проектную информацию, анализируя которую можно построить прогностические модели производства модулей. Это может не только снизить затраты на строительство в процессе закупки, уменьшая время, которое проектировщики и технологи должны тратить на избыточные действия, но и улучшить качество создаваемых рабочих чертежей за счет устранения проектных предположений (интерпретируемости) [8] и расчетных ошибок, допущенных специалистами. Это позволит детальнее рассмотреть предынвестиционный, проектный и производственный этапы как одно направление, что даст возможность оптимизировать разработку по времени и своевременно вносить изменения в проект.

Такой подход особенно актуален для производства модулей, где требования к точности и согласованности процессов имеют ключевое значение. Таким образом, применение ТИМ и расчетная прогностическая модель в контексте префаб-производства остаются малоисследованным направлением, хотя оно способно усилить эффекты, описанные в исследуемых источниках, обеспечивая дополнительное сокращение затрат и времени, а также повышение качества готовых модулей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучены материалы по автоматизации процессов разработки проектов в среде моделирования с помощью различных инструментов и подходов, выделены основные направления, которые можно адаптировать под проектирование модульных объектов, а именно:

1. Разработка спецификаций.

Авторы публикации [9] предлагают формировать новые спецификации методом копирования стандартных шаблонов с заданием параметров с помощью нодов и программирования на Python в Dynamo Revit. В файл MS Excel с настройкой условий фильтрации экспортируются созданные спецификации. Также в моделях могут встречаться немоделируемые элементы, которые присутствуют в спецификациях [10]. Эту информацию необходимо экспортировать в среду обработки Excel: из элементов составляется список, сортируется по параметрам; формируется таблица; листу дается наименование, и документ сохраняется в выбранную директорию.

В исследовании [11] предлагается разработка спецификаций в Dynamo с распределением элементов каждой комнаты, если здание имеет множество помещений. Предлагаемый порядок решения: определение нужных элементов модели, геометрической и негеометрической информации, создание соответствующих параметров для захвата и документирования. Далее создается окончательный результат

в указанном формате — нодом Elements from Room записывается информация о местоположении; нод Elements from Linked File in Room связывает модель с порядковым номером в базе данных Revit. Элементы в модели классифицируются, эта информация используется для идентификации элементов внутри комнаты, далее идет экспорт ее в MS Excel.

Аналогично были рассмотрены способы автоматизации расчета объемов отделки. Авторы источника [12] вывели 4 основных способа в рамках ТИМ:

- ручной способ;
- связка среды Dynamo и MS Excel;
- расчет с помощью стандартных пакетов нодов и ранее созданных параметров;
- расчет с применением программирования на языке Python в DesignScript.

Продолжают и дополняют это направление авторы статей [13–15]. Они предлагают решения по автоматизации расчета площади полов и стен посредством фильтрации и обработки информации нодами. Например, модуль АСЭП осуществляет извлечение и сортировку информации из информационной модели (ИМ), она обрабатывается и возвращается в модель в виде новых атрибутов к элементам и семействам, эти атрибуты и становятся информацией для будущей экспликации. Нахождение площади поверхности стен непосредственно из модели получается с использованием нода Room.Boundaries. Проверяются параметры помещения, соответствия длины между внутренним, центральным и внешним периметром стены, далее нодами Element.GetLocation, FamilyInstance.FacingOrientation и Room.IsInside.Room проверяются дверные и оконные элементы и проемы, принадлежащие комнате, список фильтруется. Параметры площади получают из пересекающихся дверей и окон, и значение вычитается из общей площади поверхности стен в комнате.

В исследовании [15] разработан скрипт, считающий все проемы помещений и заполняющий параметр «Площадь проемов» автоматически. Решение разработано посредством скриптов на DesignScript и стандартных пакетов нодов.

Расчет суммарной площади облицовываемых стен и ее запись в файл Excel путем нодов разработали авторы источника [16]. Блоками Categories и All Elements of Category отбираются стены; узлами формируются списки с «Маркой» и «Площадью», создается список, применяющийся как фильтр, выводящий массив площадей облицовываемых стен, осуществляется вычисление необходимой суммы; площадь записывается в требуемое место указанного файла нужной директории.

Также исследуется вывод информации о конструктивных элементах из проекта в спецификацию с автоматическим экспортом в другую программу [17]. Посредством импорта библиотек

Autodesk.DesignScript.Geometry и Autodesk.Revit.DB и с помощью функции UnwrapElement(IN[0]). LookupParametr выбираются значения параметров уровня, на котором находятся элементы (если было обнаружено значение параметра «Уровень», то выводится само значение данного параметра, если значение не отображено у данных элементов, проверяется, есть ли значения других параметров как «Зависимость снизу», если есть, то вывод значения).

2. Автоматизация процесса разработки проектной и рабочей документации.

Решение данной задачи авторы статьи [18] предлагают через доработку семейств, в то время как в исследовании [19] поставленный вопрос решается через разработку скрипта, состоящего из нодов, и доработки семейств оборудования, что ускоряет проектирование раздела ВК в Revit.

3. Автоматизированное задание параметров по отношению к различным элементам проекта.

Предложенная [20] структура алгоритма через создание блока Retry с правилами фильтрации рабочих и фактических значений параметров элементов, задание пути к семействам и создание общих параметров со строковым типом входных данных обеспечивают просмотр элементов модели с быстрой проверкой/редактированием отдельных параметров.

Три способа разработки дополнительной функции автоматизированного создания нового параметра элемента ТИМ-модели рассматриваются в работе [21]:

- стандартные инструменты Revit — использовались операции объединения значений нескольких параметров, добавления префиксов и суффиксов, логические операции выбора по условиям; создается два разных алгоритма для прямоугольного и круглого воздуховодов; формирование двух различных спецификаций; не удалось включить расчетную часть в значение нового параметра;

- макросы в Revit. Создан макрос уровня документа с использованием встроенного редактора кода в SharpDevelop C# — метод полностью решает проблему;

- визуальное программирование в Dynamo. Проблему не удалось решить только с помощью визуального программирования и без создания новых узлов. Семейство «воздуховод» является системным, опция «фамилия» — встроенная, стандартного узла для чтения встроенных параметров нет, поэтому необходимо написать новый пользовательский узел на Python. Этот метод полностью решил проблему.

4. Обработка информации.

Упрощение структурирования, полученного в ходе эксперимента массива данных посредством создания скрипта на языке Python Script и использования MS Excel, предлагают авторы статьи [22]. При помощи нодов Dynamator вводится переменная N, являющаяся порядковым номером; создается главное (материнское) семейство, где с помощью

формулы Size_Look_up переменная связывается с таблицей поиска и номером замера. Создаются вложенные семейства, они связываются с одноименными параметрами в главном семействе; добавляются формулы типа $\text{if}(\text{twp.y.} > \text{tser}, Q1, \text{if}(\text{twp.y.} < \text{tser}, Q1 * -1, Q1))$; далее значения получаются из массива, и они дублируются в виде текстовых параметров.

Метод централизации и автоматизации обработки информации на примере работы с классификатором применяют в труде [23], где группа нодов фильтрует в модели все категории моделируемых элементов, которые относятся к воздуховодам и изоляции. Вторая группа нодов получает из файла Excel единицы измерения, которые относятся к нужным категориям семейств. Третья группа нодов присваивает каждому семейству значения и единицы измерения из Excel таблицы. Четвертая группа присваивает всем элементам новый код RBS, соотносящий каждый элемент в системе. Пятая группа нодов получает названия элементов и сопоставляет их со всеми семействами модели, после этого происходит фильтрация списка. Шестая группа нодов присваивает ячейкам «t_Единица измерения» единицы измерения из подгружаемого файла Excel. Далее все пустые позиции во всех спецификациях классификатора заполняются данными, и скриптом для экспорта из модели выгружаются все ведомости с именем «Классификатор» в указанную директорию.

Так как технология префаб подразумевает производство модулей максимальной готовности (с инженерией, сантехникой и отделкой [24]) для работы прогнозной модели предполагается использование универсальной ТИМ-модели [25], где проектировщик в общей модели разрабатывает все инженерные системы и с помощью вспомогательных инструментов (скриптов) их рассчитывает для будущей калькуляции непосредственно в среде моделирования.

Подобный подход описывается в статье [26]. Назначения составного классификатора элементам при разделении строительного объекта на рабочие зоны посредством нодов, Dynamo Script и Excel. Порядок решения в этом исследовании следующий:

- элементам ИМ, несущей конструкции здания, присваивается базовое значение классификатора (код сборки);

- с помощью скрипта Dynamo данные элементов автоматически извлекаются с фильтрацией по уровню в таблицу Excel с подготовленным форматом;

- в файле Excel фильтруется код работы из подключенной базы данных тарифов федеральных единиц;

- исходя из свойств полученных элементов, пользователь выбирает конкретный код, получая эталон времени и цену;

- рассчитываются сроки и стоимость работ, пользователь назначает количество рабочих, машин и рабочих часов;

- второй код автоматизирует присвоение атрибутов элементам модели (каждый элемент получает классификатор работы, сгенерированный автоматически);

- третий код делит конструктивный элемент по рабочим зонам (от пользователя требуется только указание границ рабочих зон линиями);

- детали в границах одной рабочей зоны присваивается ее номер, для каждой детали получается подробный код работы (AK_WorkIntegral);

- формируется график строительства (в средах таблиц MS Project или csv), в расписании каждой соответствующей конкретной работе детали присваиваются сводные классификаторы частей элементов.

При описанной методике количество времени на проектирование сокращается за счет ускорения шагов, которые состоят из монотонных одинаковых операций, следовательно, это сокращает количество ошибок, возникающих из-за человеческого фактора. Однако такие методы требуют больше времени в начале, например, по сравнению с процессами проектирования ТИМ и САПР. Дополнительное время

необходимо на отладку скриптов, кодов и создание элементов модели.

Для разработки модели был исследован вопрос о применении расчетных прогностических моделей для определения объемов материалов. Авторы публикации [27] вывели 24 фактора, влияющих на определение стоимости строительства проектов больниц. На основе 7 объектов-аналогов они спрогнозировали стоимость и вывели средний процент ошибки (AEP) по формуле:

$$AEP = \frac{|AC - PC|}{AC}$$

где AC — реальная стоимость; PC — спрогнозированная стоимость.

В этом исследовании средний процент ошибки по всем составляющим проекта (работам, оборудованию, материалам, монтажу и т.д.) составил 4,51 %, что по заявлению авторов поможет специалистам в строительной отрасли лучше оценивать и управлять затратами на проекты строительства больниц, что снизит риски и улучшит технико-экономические показатели (ТЭП) проекта.

Табл. 1. Спецификация всех смоделированных элементов проекта модуля

Table 1. Specification of all modelled elements of the module project

Артикул Article	Количество Amount	Объем Volume	Длина Length	Площадь Area	Единица измерения Unit of measurement	Категория Category	Наименование Name	Группирование Grouping
Y	Y	1	0	0	м ³ m ³	Y	Y	Y
Y1	Y1	0	1	0	м m	Y1	Y1	Y1
Y2	Y2	0	0	1	м ² m ²	Y2	Y2	Y2
Y3	Y3	0	0	0	шт. pc.	Y3	Y3	Y3

Спецификация (Specification)							
A	B	C	D	E	F	G	H
Артикул	Количество	Длина	Площадь	Ед. изм.	Категория	Наименование	Группирование
1	0,03	0	0	л	Герметик	Герметик, л	P.1
1	0	0	0	л	Герметик	Герметик, л	P.1
2	1	0	0	шт	Мебель	Тумба, шт	P.1
3	2	1,9	0,91	м2	Стены	Фанера хбоя, м2	P.3
4	0	4,05	4,82	м2	Стены	Гипрок, м2	P.3
4	3,96	6,89	3,4	м2	Стены	Гипрок, м2	P.3
4	2,64	4,59	4,23	м2	Стены	Гипрок, м2	P.3
4	1,32	6,89	4,42	м2	Стены	Гипрок, м2	P.3
4	2,64	4,59	4,23	м2	Стены	Гипрок, м2	P.3
5	12	0	0	шт	Крепеж	Саморез 4,2x19, шт	P.3
6	1,54	0	0	м2	Упаковка	Плита ОСП, м2	P.1
7	35	0	0	шт	Основание	Саморез с буром, шт	P.10
7	3	0	0	шт	Основание	Саморез с буром, шт	P.3
8	140	0	0	м	Основание	Проволока вязальная, м	P.1
9	35	0	0	шт	Основание	Саморез с буром, шт	P.10
10	0,4	0	0	м3	Основание	Бетон, м3	P.1
11	6	0	0	шт	Основание	Гайка М8, шт	P.1

Рис. 1. Вид спецификации в ПО Revit

Fig. 1. Specification view in Revit software

Табл. 2. Форматирование таблицы

Table 2. Formatting of the table

Артикул Article	Категория из БД Category from database	Наименование из БД Name from database	Единица измерения из БД Unit of measurement from database	Количество Amount	Индекс Index
Y	X	X	м ³ m ³	Y	Z
Y1	X1	X1	м m	Y1	Z1
Y2	X2	X2	м ² m ²	Y2	Z2
Y3	X2	X2	шт. pc.	Y3	Z3

Также рассматривалась работа [28], где проводилось прогнозирование объемов бетона для проектов цементных заводов, в частности складских сооружений и высотных конструкций. В результате ошибка прогнозирования находилась в пределах от -13 до 17 %.

Данные исследования используются при анализе результатов разрабатываемой модели.

Для наглядности отображения данных в алгоритме работы модели были введены переменные:

X — параметры из базы данных (БД);

Y — параметры из информационной модели;

Z — рассчитанные или присвоенные параметры в файле расчета.

Алгоритм обработки информации в модели:

1. Заполнение данных о проекте (габариты модуля, артикулы расходных материалов, которые не определены в модели, — герметики, затирки, плитка, мепель).

2. Экспорт общей спецификации всех элементов проекта в виде, представленном в табл. 1, и изображении из программы моделирования Revit (рис. 1).

3. Параметр количество уже заполнен для штучных элементов из модели. Но так как есть элементы, измеряемые по параметрам длина, площадь, объем (параметры элементов модели), то с помощью макроса по заранее сформированной выборке элементов по артикулу параметру количество присваивается их значение.

Пример кода присвоения значения длины:

For i = 2 To lastRow ‘ Начиная с 2, так как первая строка заголовок.

If ws.Cells(i, 1).Value = “Y.Y. Y” Or ws.Cells(i, 1).Value = “Y.Y. Y1” Or ws.Cells(i, 1).Value = “Y.Y. Y2” Then ‘. Если есть необходимость, добавить еще материалы: ws.Cells(i, 2).Value = ws.Cells(i, 3).Value ‘ Присваиваем значению количество значение из столбца длина:

End If

Next i.

4. Автоматическое присвоение каждому элементу индекса в зависимости от конечной ведомости, в которой он будет находиться.

Табл. 3. Расчет в таблице с элементами исходя от габаритов модуля

Table 3. Calculation in the table with elements based on module dimensions

Артикул Article	Категория из БД Category from database	Наименование из БД Name from database	Единица измерения из БД Unit of measurement from database	Количество Amount	Индекс Index
Z	X	X	м ³ m ³	F	Z
Z1	X1	X1	м m	F1	Z1
Z2	X2	X2	м ² m ²	F2	Z2
Z3	X2	X2	шт. pc.	F3	Z3
Z4	X2	X2	л l	F4	Z4
Z5	X2	X2	кг kg	F5	Z5

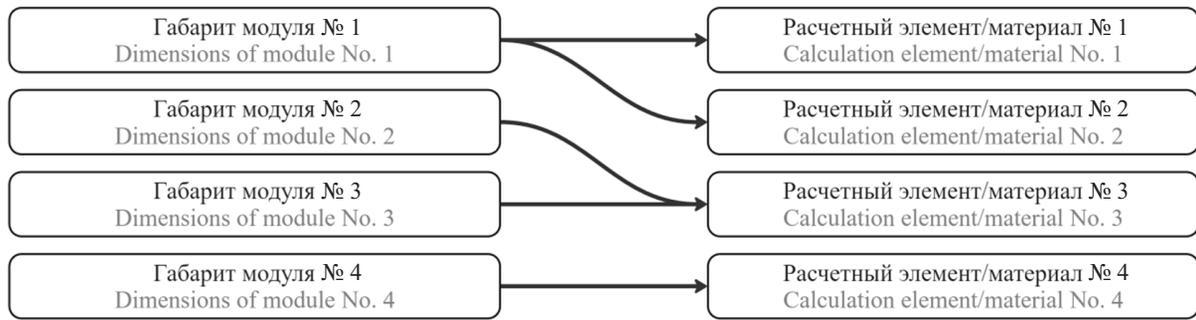


Рис. 2. Зависимости расчетных параметров от габаритов модуля

Fig. 2. Dependences of design parameters on module dimensions

Табл. 4. Расчет немоделируемых элементов

Table 4. Calculation of unmodelled elements

Артикул Article	Z	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Наименование Name	Z	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Количество Amount	1	1	1	1	1	1
Индекс исходных элементов Index of the source element	Z	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Артикул расчетных элементов Article of the design element	Z	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Наименование расчетных элементов из БД Name of the design element from DB	Z	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Единица измерения из БД Unit of measurement from DB	шт. pc.	шт. pc.	шт. pc.	кг kg	кг kg	кг kg
Индекс расчетных элементов Index of design element	Z	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
Количество расчетных элементов Amount of design element	F	F1	F2	F3	F4	F5
Кратность округления Rounding factor	0,001	1	0,01	0,01	0,01	0,01

Коэффициент на единицу измерения Coefficient per unit of measurement	1 шт. · 0,15 1 pc · 0.15	19 шт. на 1 м ² округления в большую сторону кратностью 5 Per 1 m ² 19 pcs rounded upwards in multiples of 5	1 шт. / 0,338 с округлением в большую сторону кратностью 1 1 pc / 0.338 rounded upwards in multiples of 5	0,1 кг на 1 м ² 0.1 kg per 1 m ²	0,25 кг на 1 м ² 0.25 kg per 1 m ²	1,2 кг на 1 м ² 1.2 kg per 1 m ²
Пояснение Explanation		Эмпирическая формула Empirical formula	Эмпирическая формула Empirical formula	Расход от производителя Consumption from the manufacturer	Расход от производителя Consumption from the manufacturer	Расход от производителя Consumption from the manufacturer

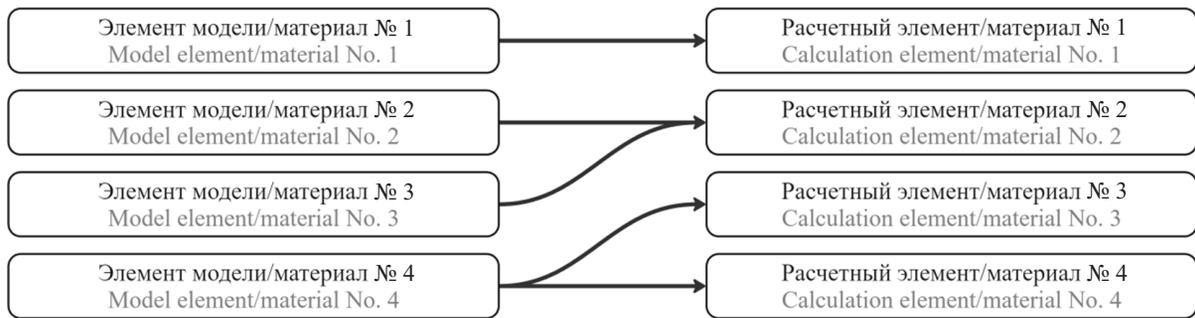


Рис. 3. Зависимости расчетных параметров от смоделированных элементов модели

Fig. 3. Dependencies of design parameters on modelled model elements

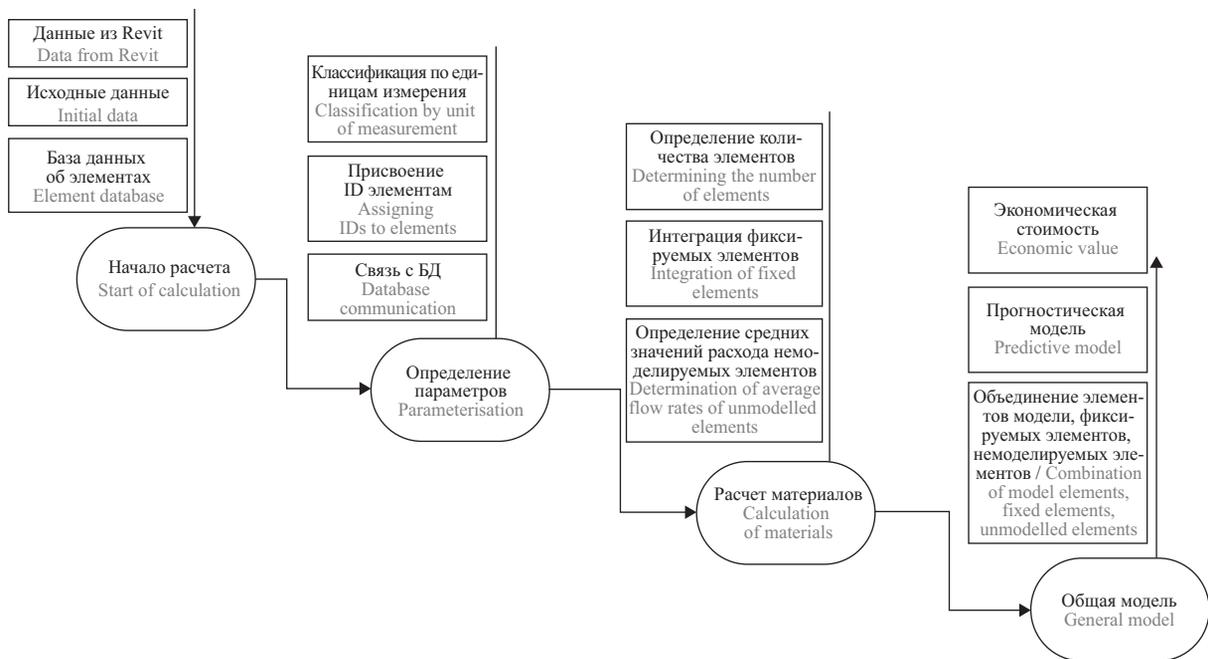


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы прогностической модели

Fig. 4. Block diagram of the predictive model algorithm

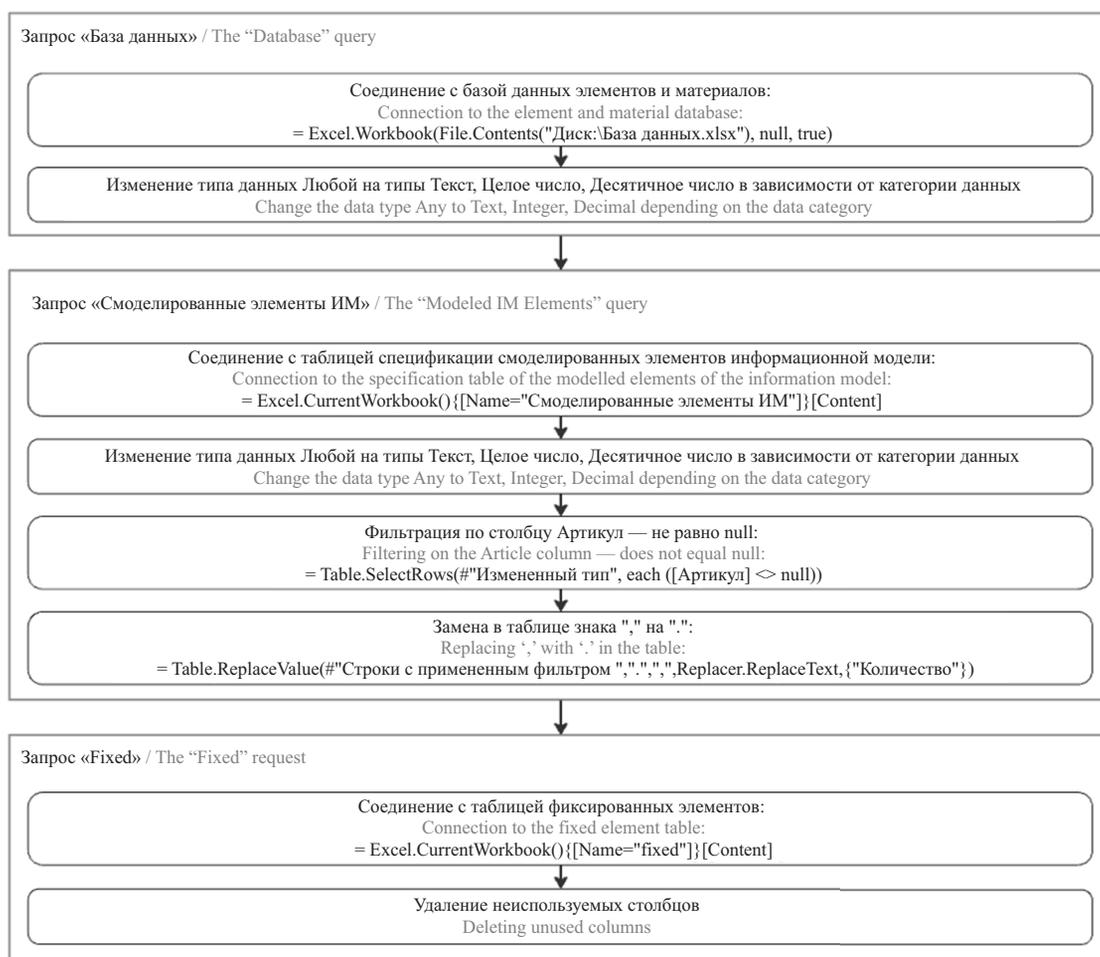


Рис. 5. Структура запросов «База Данных», «Смоделированные элементы ИМ» и «Fixed»

Fig. 5. Structure of “Database”, “Modelled IM elements” and “Fixed” queries

5. Обновление базы данных с информацией о параметрах всех элементов, которые предположительно могут быть использованы для проекта.

6. Интеграция данных из спецификации Revit с БД всех материалов в среде Power Query, а именно связка артикул, количество элементов из спецификации; наименование, категория, единица измерения из базы данных, а индекс рассчитан в файле по группированию. Это необходимо для сверки информации об элементах с базой данных в ситуации, если информация об элементах в спецификации модели Revit устаревает.

7. Форматирование таблицы, остаются параметры: артикул, категория, наименование, единица измерения, количество, индекс. Соответственно таблица имеет вид (табл. 2).

8. Расчет в таблице с элементами, наличие которых фиксировано (fixed) для данного типа модулей и рассчитывается исходя от габаритов модуля (табл. 3).

Параметры F в данном случае — это формулы расчета, разработанные с учетом трех факторов:

1) расход от производителя материала;

2) расход на основе габаритов проектируемого модуля;

3) расход на основе уже построенных модулей и аналогов.

Соответственно для каждого из материалов была разработана формула расчета, исходя из этих трех пунктов.

Схематичное описание шага изображено на рис. 2.

9. Расчет элементов, наличие и количество которых обуславливается наличием и количеством определенных элементов в модели.

Для этого шага была создана таблица расчета немоделируемых элементов на удельную единицу имеющегося в модели элемента. То есть принцип схож с п. 8, но расчет выполняется не по габаритам модуля, а по параметрам смоделированных элементов. Пример в табл. 4.

С помощью Power Query таблица форматируется. Далее запрос данной таблицы объединяется с запросом из п. 7 по артикулам (Z), т.е. алгоритм проверяет условие «Если индекс из таблицы п. 7 равен 0, то в столбце таблицы выводится индекс расчетных

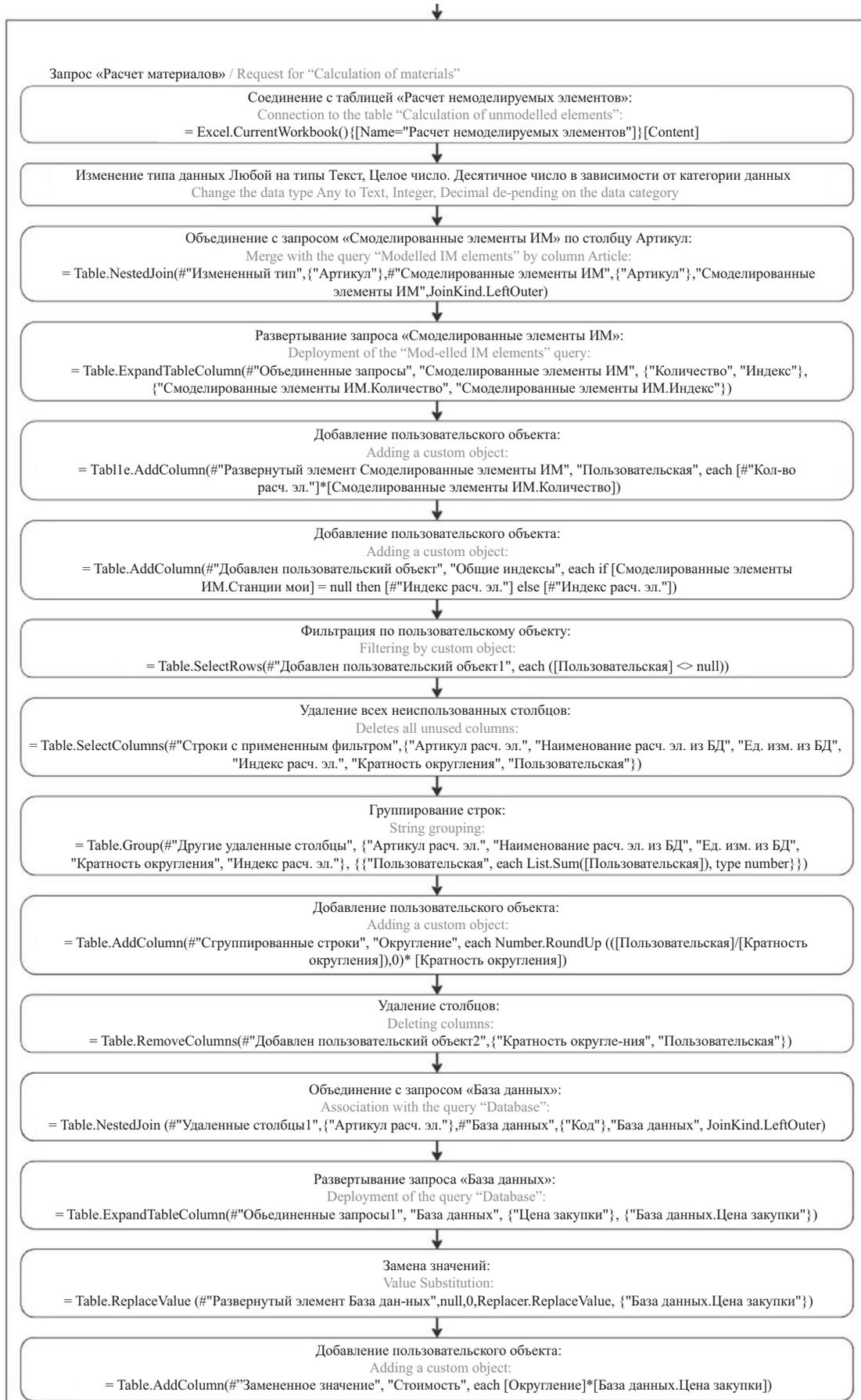


Рис. 6. Структура запроса «Расчет материалов»

Fig. 6. Structure of the “Material Calculation” query

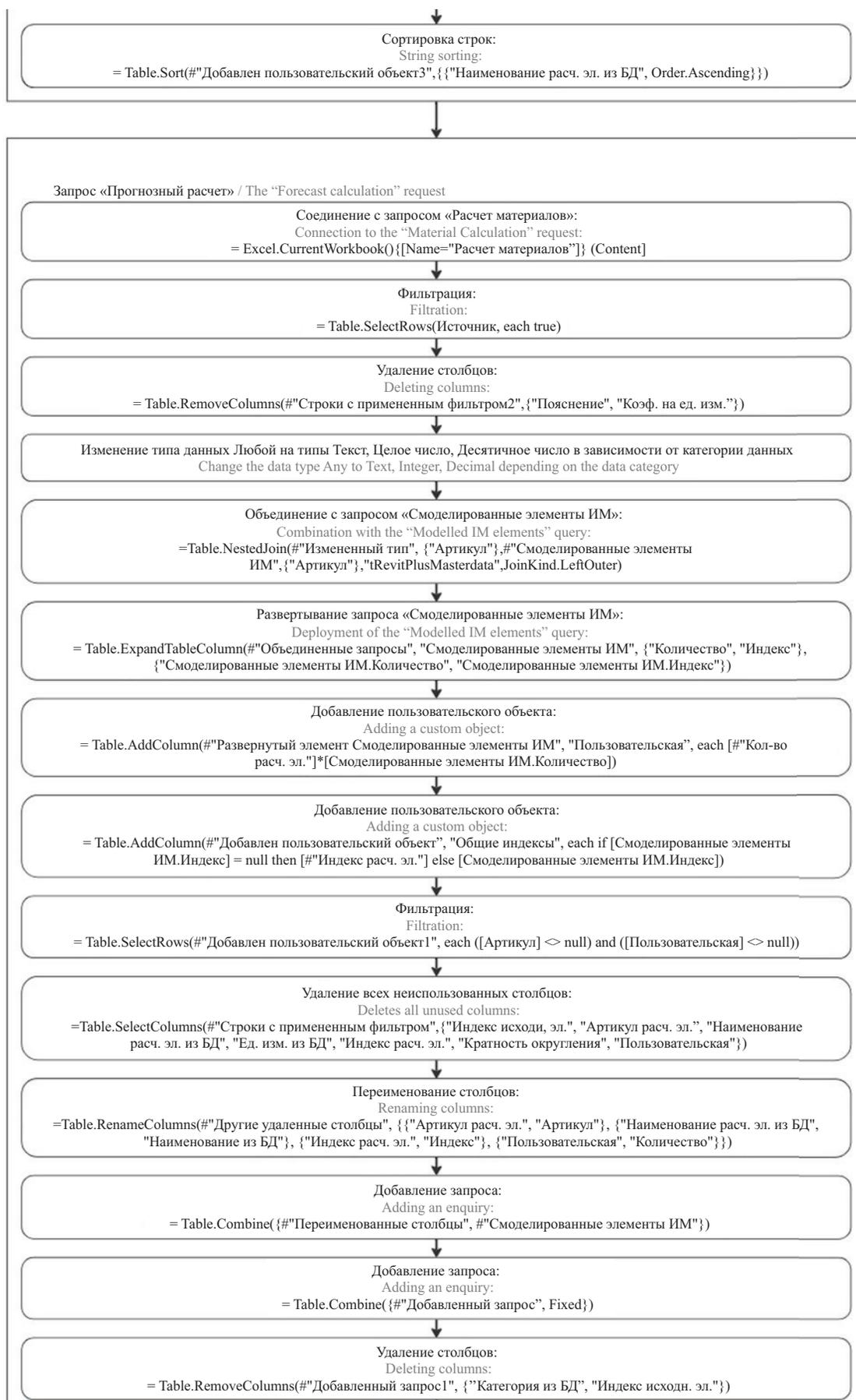


Рис. 7. Структура запросов «Расчет материалов» и «Прогнозный расчет»

Fig. 7. Structure of “Material Calculation” and “Forecast Calculation” queries

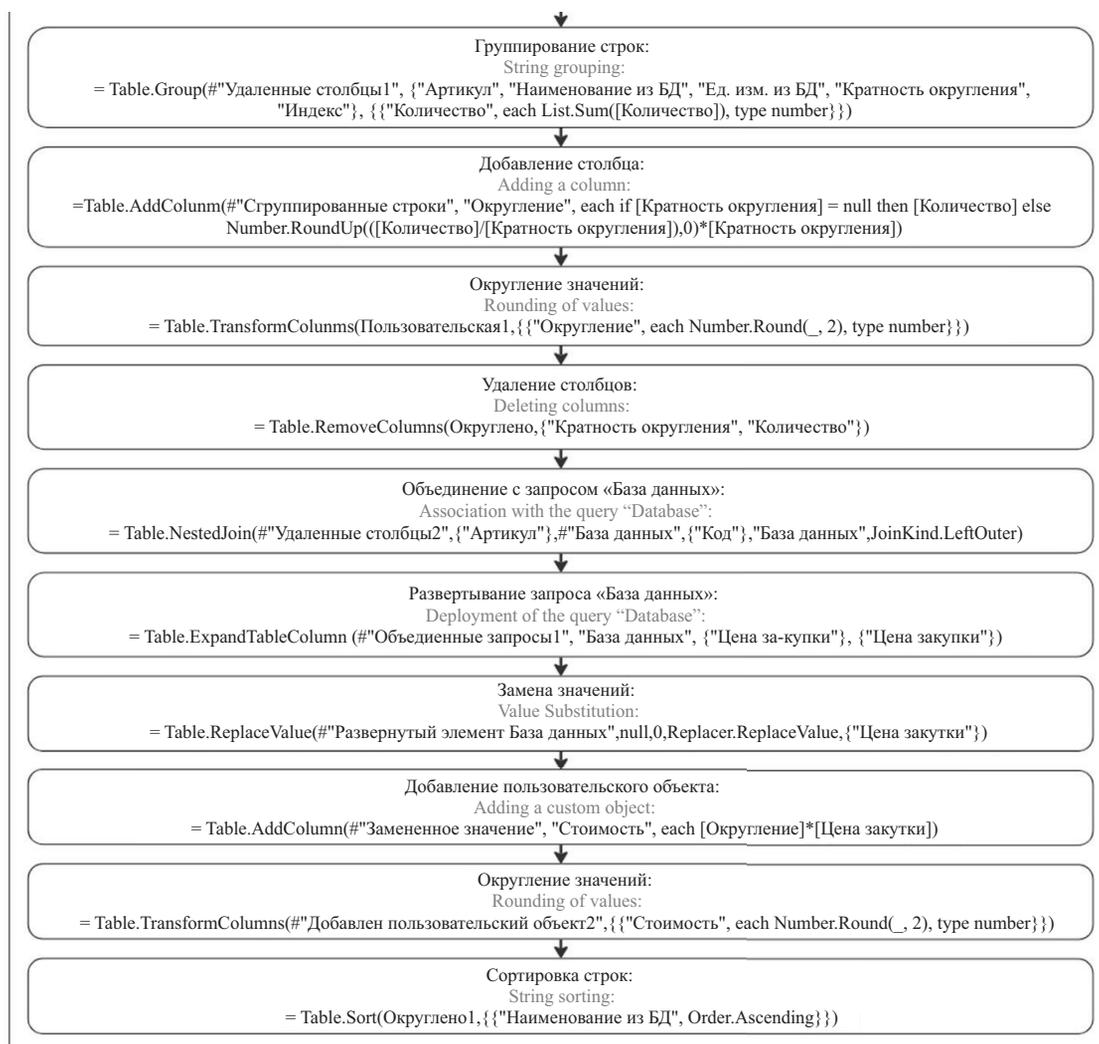


Рис. 8. Структура запроса «Прогнозный расчет»

Fig. 8. Structure of the query "Predictive calculation"

элементов; в противном случае выводится индекс из таблицы п. 7». Далее по совпавшим индексам происходит расчет:

$$[\text{«Кол-во расч. эл.»}](F) * [\text{«Количество»}](Y).$$

Таким образом, по совпавшим с информационной моделью элементам находятся немоделируемые элементы и происходит расчет по формулам F на удельную единицу.

Схематичное описание шага изображено на рис. 3.

10. Объединение трех запросов из пп. 7–9, чтобы получить общую ведомость элементов проекта, по которой будет произведен экономический расчет.

Общий алгоритм работы модели показан на рис. 4.

Подробный пошаговый процесс обработки информации в Power Query отражен на рис. 5–8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Апробация работы модели проведена на четырех реализованных проектах-аналогах (рис. 9).

Сравнение производилось в рамках реализации проектов prefab-модулей СТМ (сантехнические модули) [29, 30], так как в них присутствуют сантехнические детали и элементы инженерных систем. В проектах-аналогах расчет всех элементов различных разделов проекта происходил в связке надстройка Dynamo-Revit плюс ручной расчет.

В качестве критериев оценки и сравнения были выбраны количество строк наименований и общая себестоимость всех элементов и материалов (табл. 5).

Полученные результаты работы показывают рост количества наименований расчетных элементов относительно реально смоделированных моделей, что может означать автокорректировку проекта в зависимости от заложенной в расчет технологии. То есть, заложив в расчет определенные формулы и связав элементы ИМ с табличными элементами Excel, можно проанализировать проекты на отсутствие тех или иных заложенных позиций и их количества.

Вычислены проектные ошибки в расчете элементов уже реализованных проектов (среднее количество ошибок на проект — 8), а также ошибки в алгорит-

Табл. 5. Критериальное сравнение результатов работы прогностической модели

Table 5. Criterion comparison of the predictive model results

Первая итерация First iteration	Модуль 1 Module 1	Модуль 2 Module 2	Модуль 3 Module 3	Модуль 4 Module 4
Количество наименований элементов модели в реализованном проекте в зависимости от индекса Number of names of model elements in the realized project depending on the index	166	148	141	163
Время расчета и составления спецификаций и ведомостей Time for calculation and preparation of specifications and statements	2 дня 2 days	1,5 дня 1.5 days	1,5 дня 1.5 days	2 дня 2 days
Количество проектных ошибок в расчете элементов (несовпадение количества наименований и объемов) Number of design errors in the calculation of elements (mismatch in the number of items and volumes)	7	8	7	10
Стоимость всех элементов в реализованном проекте Cost of all elements in the realized project	359 496	355 750	313 387	361 007
Количество наименований элементов в прогностической модели в зависимости от индекса Number of items in the predictive model depending on the index	182	151	164	176
Время расчета и составления ведомостей с использованием модели Calculation and statement generation time using the model	10 мин 10 min	10 мин 10 min	10 мин 10 min	10 мин 10 min
Количество ошибок при работе модели (несовпадение количества наименований и объемов) Number of model errors (mismatches in the number of items and volumes)	22	17	16	12
Стоимость всех элементов в прогнозной модели Cost of all elements in the forecast model	381 021	362 583	336 039	374 814
% различия полученных и спрогнозированных стоимостей материалов проекта % difference between the obtained and predicted costs of project materials	5,99	1,92	7,23	10,89
Средний % различия по стоимости материалов Average % difference in cost of materials	6,51			
% различия количества реальных и спрогнозированных наименований % difference in the number of actual and predicted titles	9,64	4,86	16,31	18,37
Средний % различия по количеству наименований в зависимости от индекса Average % difference in the number of items depending on the index	12,29			

ме работы модели (среднее значение — 16,75 ошибок на расчет). При таких результатах разница в стоимостных показателях с реальными проектами в среднем составляет 6,51 %, а в количестве наименований материалов и элементов 12,29 %. Поэтому был сделан вывод о необходимости устранения проектных ошибок (и учета затраченного на это времени в сравнительных результатах), а также уточнения алгоритмов расчета модели (табл. 6).

Результаты второй итерации работы модели показывают более точный результат. Разница в стоимостных показателях с реальными проектами в среднем составляет 0,87 %. Сравнивая этот показатель с показателями в источниках [27, 28], можно сделать вывод, что прогнозные показатели точны

(точность прогнозирования 99,13 %). Разница в количестве наименований составила 1,59 %, что также свидетельствует о точности прогноза. Из результатов видно, что при относительно большом расхождении в элементах или стоимости проекта в моделях существует вероятность ошибки в проектах, поэтому требуется корректировка и перепроверка уже на стадии полного стандартного моделирования.

Также использование данной модели сокращает срок расчетов материалов и элементов для модуля. При средней продолжительности данного процесса в 2,5 дня расчет и составление ведомостей объемов материалов с помощью модели может составлять 10 мин, что многократно (вплоть до 60 раз) ускоряет процесс.

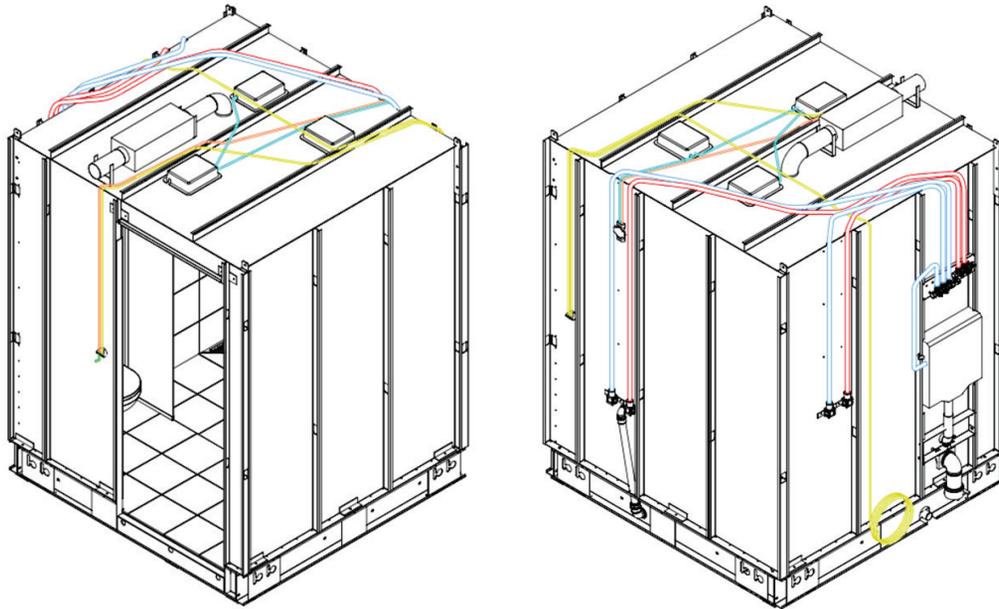


Рис. 9. Пример модулей-аналогов

Fig. 9. Example of analogue modules

Табл. 6. Повторное критериальное сравнение результатов работы прогностической модели

Table 6. Repeated criterion comparison of predictive model results

Вторая итерация Second iteration	Модуль 1 Module 1	Модуль 2 Module 2	Модуль 3 Module 3	Модуль 4 Module 4
Количество наименований элементов модели в реализованном проекте в зависимости от индекса Number of names of model elements in the realized project depending on the index	166	156	151	163
Время расчета и составления спецификаций и ведомостей Time for calculation and preparation of specifications and statements	3 дня 3 days	2 дня 2 days	2,5 дня 2.5 days	2,5 дня 2.5 days
Стоимость всех элементов в реализованном проекте Cost of all elements in the realized project	359 496	380 571	321 808	361 011
Количество наименований элементов в прогностической модели в зависимости от индекса Number of items in the predictive model depending on the index	169	155	157	165
Стоимость всех элементов в прогнозной модели Cost of all elements in the forecast model	359 528	371 054	321 520	357 783
% различия полученных и спрогнозированных стоимостей материалов проекта % difference between the obtained and predicted costs of project materials	0,01	2,50	0,09	-0,89
Средний % различия по стоимости материалов Average % difference in cost of materials	0,87			
% различия количества реальных и спрогнозированных наименований % difference in the number of actual and predicted titles	1,81	0,64	3,97	1,23
Средний % различия по количеству наименований в зависимости от индекса Average % difference in the number of items depending on the index	1,59			

Анализ результатов применения разработанной модели поможет сориентировать как производителя модулей, так и заказчика, если ему требуются стоимостные характеристики объекта.

Результатом данного исследования является алгоритм, который рассчитывает технико-экономические показатели проекта модуля по средним данным с точностью, близкой к реальным расчетам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Прогностическая модель представляет собой результат работы алгоритма расчета технико-экономических показателей префаб-модуля, как укрупненного блока ОКС. В зависимости от ТЗ на проектирование и концептуальных дизайнерских решений проекта по усредненным значениям рассчитываются все материалы, необходимые для производства определенного модуля, в различных единицах измерения.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть вопрос координации результатов работы модели с моделями управления строительными проектами, как в исследовании [31], где результаты стоимост-

ной, плановой и других оценок проектов были рассмотрены по критериям эффективности командной работы над проектами. Поэтому уместно включить полученные результаты в подобную модель, далее проанализировать вместе с работой команды, процессами проектирования и технологической схемой производства.

Итоги данного исследования имеют практическую и теоретическую ценность в области модульного проектирования для производственной и строительной отрасли. Представленная модель позволяет автоматизировать расчет количественных показателей проекта, снизить сроки расчета, а также на ее основе построить экономическую модель будущего проекта. Таким образом, имеется возможность спрогнозировать и рассчитать технико-экономические показатели на начальном этапе разработки модели, а не на этапе готового проекта, что существенно оптимизирует временные и трудовые затраты на анализ и корректировку проекта. Это, в свою очередь, позволяет улучшить процессы принятия решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Амбарцумян С.А., Мочалин Д.Е., Сьбева Ю.А. Практичность модульного строительства: опыт прошлого и перспективы // *Строительное производство*. 2024. № 2. С. 61–65. DOI: 10.54950/26585340_2024_2_61. EDN ELYXOI.
2. Евсевнина Е.Д., Воробьев В.С. Префабрикация: новые технологии и перспективы строительной отрасли // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2024. № 3 (75). С. 86–93. DOI: 10.36622/2541-7592.2024.75.3.008. EDN EQWTFE.
3. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт объемно-модульного строительства зданий и сооружений // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2017. Т. 2. С. 190–198. EDN XQHWRP.
4. SVP N., Santhosh A., Gupta A., Arshad M., Ansari A. Framework for the optimization of construction project // *African Journal of Biomedical Research*. 2024. Vol. 27. Issue 4S. Pp. 4658–4669. DOI: 10.53555/AJBR.v27i4S.4457
5. Зюкина А.Г., Долженкова М.В. BIM-проектирование в модульной архитектуре // *Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры* : мат. VII Междунар. науч.-практ. конф. 2024. С. 318–324. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.043. EDN BIMSGK.
6. Ескалиев М.Ж. Внедрение информационного моделирования в модульном строительстве: преимущества и проблемы // *Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых* : сб. мат. V Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 2021. С. 286–290. EDN AEYBMX.
7. Бачин И.О. BIM-проектирование модульных жилых домов // *Вопросы устойчивого развития общества*. 2022. № 5. С. 1238–1246. EDN ANGZTE.
8. Alwisy A., Hamdan S.B., Barkokebas B., Bouferguene A., Al-Husseini M. A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings // *International Journal of Construction Management*. 2018. Vol. 19. Issue 3. Pp. 187–205. DOI: 10.1080/15623599.2017.1411458
9. Абдельхади М.М.Н., Карманова М.М. Автоматизирование функционала по созданию спецификаций в Autodesk Revit // *Технологии информационного моделирования зданий и территорий. Экосистемы ТИМ/BIM* : мат. II Всерос. науч.-практ. конф. 2022. С. 89–97. EDN DYKVMC.
10. Пученков И.С. Обработка информации в BIM среде с помощью Dynamo на примере работы с классификатором // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры* : мат. III Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 414–424. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.054. EDN DUJTDI.
11. Sadeghi M., Elliott J.W., Porro N., Strong K. Developing building information models (BIM) for building handover, operation and maintenance // *Journal of Facilities Management*. 2019. Vol. 17. Issue 3. Pp. 301–316. DOI: 10.1108/JFM-04-2018-0029

12. *Смышляева А.С.* Возможности автоматизированного выполнения рабочей документации для строительства в Autodesk Revit // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ студентов института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости. 2019. С. 633–636. EDN KRPWNA.
13. *Брантов Д.А., Ткаченко С.Н., Карпова Н.Н.* Использование платформы визуального программирования Dynamo для разработки прототипа модуля автоматизированного создания спецификаций в проектно-строительной деятельности на примере экспликации полов // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения : сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 14–17. EDN YVCHCI.
14. *Piaskowski A.K., Petersons R., Wyke S.C.S., Petrova E.A., Svidt K.* Automation of data transfer between a BIM model and an environmental quality assessment application // CIB Proceedings. 2019. Vol. 36. Pp. 381–390.
15. *Игнатова Е.В., Смышляева А.С.* Автоматизация формирования рабочей документации для строительства в Autodesk Revit // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы : сб. мат. семинара, проводимого в рамках VI Междунар. науч. конф. 2018. С. 95–98. EDN YMJMZV.
16. *Регидо О.* Автоматизированное архитектурное проектирование в интегрированной компьютерной среде Revit-Dynamo-Excel // Danish Scientific Journal. 2020. № 38–1. С. 7–11. EDN GWOJPQ.
17. *Ларин В.С.* Применение языка Python в Dynamo Revit // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ студентов института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости НИУ МГСУ. 2021. С. 586–592. EDN USKGGG.
18. *Никандрова Л.В., Евтушенко С.И.* Использование технологий информационного моделирования при разработке проектной и рабочей документации // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений : мат. XIX Междунар. науч.-техн. конф. 2020. С. 4–9. EDN GPWDTN.
19. *Mamedmuradov Y.D., Kovalev A.I.* HVAC design in Autodesk Revit using Dynamo // AlfaBuild. 2020. No. 2 (14). P. 1402. DOI: 10.34910/ALF.14.2. EDN WNVWPL.
20. *Лемешко Р.А., Птухина И.С.* Применение надстройки «Dynamo» для автоматизированного задания общих параметров по отношению к различным элементам проекта в программе «Autodesk Revit» // Неделя науки ИСИ : сб. мат. Всеросс. конф. 2022. С. 401–403. EDN USLIAP.
21. *Ignatova E., Zotkin S., Zotkina I.* The extraction and processing of BIM data // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 062033. DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062033. EDN GQKXOV.
22. *Мельников Д.В., Мансуров Р.Ш.* Использование инструментов визуального программирования для обработки массивов данных // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2021. Т. 24. № 3/4 (81/82). С. 49–58. DOI: 10.32683/1815-5987-2021-24-81/82-3/4-49-58. EDN GAUYPZ.
23. *Пученков И.С.* Обработка информации в BIM среде с помощью Dynamo на примере работы с классификатором // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат. III Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 414–424. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.054. EDN DUJTDT.
24. *Omurtay I., Soyuluk A., Ünay A.* Use of BIM with Modular Construction in Future Construction Techniques // MANAS Journal of Engineering. 2024. Vol. 12. Issue 1. Pp. 29–33. DOI: 10.51354/mjen.1220152
25. *Заторский С.П., Шумилов К.А.* Алгоритм получения расчетных параметров инженерных систем в среде информационного моделирования // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : мат. VII Междунар. науч.-практ. конф. 2024. С. 188–195. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.026. EDN KCYXCZ.
26. *Kuzminykh A., Kukina A., Bardina G.* 4D and 5D Design Processes Automation Using Databases, Classification and Applied Programming // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Vol. 247. Pp. 667–675. DOI: 10.1007/978-981-16-3844-2_59
27. *Alriabi M.Y., Almohsen A.S., Alsanabani N.M., Al-Gahtani K.S.* Developing a cost-predictive model for hospital construction projects // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2024. Pp. 1–18. DOI: 10.1080/13467581.2024.2397119
28. *De Soto B.G.* A methodology to make accurate preliminary estimates of construction material quantities for construction projects : thesis submitted to attain the degree of doctor of sciences. Zurich : ETH Zurich, 2014. DOI: 10.3929/ethz-a-010361720
29. *Семенова М.А.* Инновации в проектировании и строительстве готовых сантехнических модулей // Научный Лидер. 2023. № 3 (101). С. 13–14. EDN UQPCUH.
30. *Мотылев Р.В., Кочерыгин А.А.* Современные технологии в производстве сантехнических модулей заводской готовности с применением каркаса из ЛСТК // Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения) : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. 2023. С. 139–144. EDN KPQQCA.
31. *Bin M.A., Alrashdi A., Akhtar S., Altuwaim A., Almohsen A.* Development of a predictive model based

on the alignment tool in the early stages of projects: The case of Saudi Arabia infrastructure projects // Sustainability. 2024. Vol. 16. Issue 18. P. 8122. DOI: 10.3390/su16188122

Поступила в редакцию 17 декабря 2024 г.

Принята в доработанном виде 24 января 2025 г.

Одобрена для публикации 24 января 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Савелий Павлович Заторский** — аспирант кафедры информационных систем и технологий; **Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный (СПбГАСУ)**; 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4; SPIN-код: 4024-3691, ORCID: 0000-0003-4234-8454; saveliy_zatorskiy@mail.ru;

Константин Августович Шумилов — кандидат технических наук, доцент кафедры информатики; **Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный (СПбГАСУ)**; 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4; SPIN-код: 4916-9517, ORCID: 0000-0003-2079-6774; shkas@mail.ru.

Вклад авторов:

Заторский С.П. — концепция исследования, разработка модели, написание исходного текста и итоговые выводы.

Шумилов К.А. — научное руководство, доработка концепции исследования, доработка текста и итоговых выводов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Ambartsumyan S.A., Mochalin D.E., Siebeva Ju.A. The practicality of modular construction: past experience and prospects. *Construction Production*. 2024; 2:61-65. DOI: 10.54950/26585340_2024_2_61. EDN ELYXOI. (rus.).
2. Evsevina E.D., Vorobyov V.S. Prefab: new technologies and prospects of the construction industry. *Scientific Journal of Building Construction and Architecture*. 2024; 3(75):86-93. DOI: 10.36622/2541-7592.2024.75.3.008. EDN EQWTF. (rus.).
3. Zakharova M.V., Ponomaryov A.B. Volumemodular construction's experience of buildings and structures. *Modern Technologies in Construction. Theory and Practice*. 2017; 2:190-198. EDN: XQHWR. (rus.).
4. SVP N., Santhosh A., Gupta A., Arshad M., Ansari A. Framework for the optimization of construction project. *African Journal of Biomedical Research*. 2024; 27(4S):4658-4669. DOI: 10.53555/AJBR.v27i4S.4457
5. Zyukina A.G., Dolzhenkova M.V. BIM design in modular architecture. *Information modeling in the tasks of construction and architecture : proceedings of VII international scientific and practical conference*. 2024; 318-324. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.043. EDN BIMSGK. (rus.).
6. Yeskaliyev M.Zh. Implementing information modeling in modular building: benefits and challenges. *Fundamental and Applied Research of Young Scientists : proceedings of the V International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists*. 2021; 286-290. EDN AEYBMX. (rus.).
7. Bachin I.O. BIM design of modular residential buildings. *Issues of Sustainable Development of Society*. 2022; 5:1238-1246. EDN ANGZTE. (rus.).
8. Alwisy A., Hamdan S.B., Barkokebas B., Bouferguene A., Al-Hussein M. A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings. *International Journal of Construction Management*. 2018; 19(3):187-205. DOI: 10.1080/15623599.2017.1411458
9. Abdelhady M.M.N., Karmanova M.M. Automation of functionality for creating specifications in Autodesk Revit. Technologies of information modeling of buildings and territories. *TIM/BIM Ecosystems : proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2022; 89-97. EDN DYKVMC. (rus.).
10. Puchenkov I.S. Information processing in the BIM environment using Dynamo on the example of working with a classifier. *BIM modeling in construction and architecture problems : proceedings of the III International Scientific and Practical Conference*. 2020; 414-424. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.054. EDN DUJTDT. (rus.).
11. Sadeghi M., Elliott J.W., Porro N., Strong K. Developing building information models (BIM) for building handover, operation and maintenance. *Journal of Facilities Management*. 2019; 17(3):301-316. DOI: 10.1108/JFM-04-2018-0029
12. Smyshlyaeva A.S. Possibilities of automated execution of working documentation for construction in Autodesk Revit. *Days of student science : collection of reports of scientific and technical conference on the results of scientific-research works of students of the Institute of Economics, Management and Infor-*

- tion Systems in Construction and Real Estate. 2019; 633-636. EDN KRPWNA. (rus.).
13. Brantov D.A., Tkachenko S.N., Karpova N.N. Using visual programming platform dynamo for development of prototype of automated module for specifications in building design on an example of explication of floors. *Science and innovations in the XXI century: current issues, discoveries and achievements : collection of articles. VIII International scientific and practical conference.* 2018; 14-17. EDN YVCHCI. (rus.).
 14. Piaskowski A.K., Petersons R., Wyke S.C.S., Petrova E.A., Svidt K. Automation of data transfer between a BIM model and an environmental quality assessment application. *CIB Proceedings.* 2019; 36:381-390.
 15. Ignatova E.V., Smyshlyayeva A.S. Automation of formation of working documentation for construction in Autodesk Revit. *System engineering of construction. Cyberphysical construction systems : proceedings of the seminar held within the framework of the VI International Scientific Conference.* 2018; 95-98. EDN YMJMZV. (rus.).
 16. Regida O. Automated architectural design in an integrated computer environment Revit-Dynamo-Excel. *Danish Scientific Journal.* 2020; 38-1:7-11. EDN: GWOJPQ. (rus.).
 17. Larin V.S. Using the Python language in Dynamo Revit. *Days of student science : collection of reports of scientific-technical conference on the results of scientific-research works of students of the Institute of Economics, Management and Information Systems in Construction and Real Estate NIU MSCU.* 2021; 586-592. EDN USKGGG. (rus.).
 18. Nikandrova L.V., Evtushenko S.I. Use of information modeling technologies in the development of design and working documentation. *Information technologies in survey of operated buildings and structures : proceedings of the XIX International scientific and technical conference.* 2020; 4-9. EDN GPWDTH. (rus.).
 19. Mamedmuradov Y.D., Kovalev A.I. HVAC design in Autodesk Revit using Dynamo. *AlfaBuild.* 2020; 2(14):1402. DOI: 10.34910/ALF.14.2. EDN WNVWPL.
 20. Lemeshko R.A., Ptukhina I.S. Application of the Dynamo add-in for automated setting of common parameters in relation to different elements of the project in Autodesk Revit program. *ISI Science Week : proceedings of the All-Russian Conference.* 2022; 401-403. EDN USLIAP. (rus.).
 21. Ignatova E., Zotkin S., Zotkina I. The extraction and processing of BIM data. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering.* 2018; 062033. DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062033. EDN GQKXOV.
 22. Melnikov D.V., Mansurov R.Sh. Using visual programming tools to process data arrays. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin).* 2021; 24:3/4(81/82):49-58. DOI: 10.32683/1815-5987-2021-24-81/82-3/4-49-58. EDN GAUYPZ. (rus.).
 23. Puchenkov I.S. Information processing in BIM environment with the help of Dynamo on the example of work with classifier. *BIM-modeling in the tasks of construction and architecture : proceedings of the III International scientific and technical conference.* 2020; 414-424. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.054. EDN DUJTDI. (rus.).
 24. Omurtay I., Soylyuk A., Ünay A. Use of BIM with Modular Construction in Future Construction Techniques. *MANAS Journal of Engineering.* 2024; 12(1):29-33. DOI: 10.51354/mjen.1220152
 25. Zatorskiy S.P., Shumilov K.A. Algorithm for obtaining design parameters of engineering systems in the information modeling environment. *Information modeling in problems of construction and architecture : proceedings of VII International scientific and technical conference.* 2024; 188-195. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.026. EDN KCYXCZ. (rus.).
 26. Kuzminykh A., Kukina A., Bardina G. 4D and 5D Design Processes Automation Using Databases, Classification and Applied Programming. *Smart Innovation, Systems and Technologies.* 2022; 247:667-675. DOI: 10.1007/978-981-16-3844-2_59
 27. Alriabi M.Y., Almohsen A.S., Alsanabani N.M., Al-Gahtani K.S. Developing a cost-predictive model for hospital construction projects. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering.* 2024; 1-18. DOI: 10.1080/13467581.2024.2397119
 28. De Soto B.G. *A methodology to make accurate preliminary estimates of construction material quantities for construction projects : thesis submitted to attain the degree of doctor of sciences.* Zurich, ETH Zurich, 2014. DOI: 10.3929/ethz-a-010361720
 29. Semenova M.A. Innovations in the design and construction of prefabricated sanitary modules. *Scientific Leader.* 2023; 3(101):13-14. EDN UQPCUH. (rus.).
 30. Motylev R.V., Kocherigin A.A. Modern technologies in the production of factory-ready sanitary modules with the use of lightweight steel thin-walled frameworks. *Science-intensive technologies and innovations (XXV scientific readings) : proceedings of the International Scientific and Technical Conference.* 2023; 139-144. EDN KPQQCA. (rus.).
 31. Bin M.A., Alrashdi A., Akhtar S., Altuwaim A., Almohsen A. Development of a predictive model based on the alignment tool in the early stages of projects: The case of Saudi Arabia infrastructure projects. *Sustainability.* 2024; 16(18):8122. DOI: 10.3390/su16188122

Received December 17, 2024.

Adopted in revised form on January 24, 2025.

Approved for publication on January 24, 2025.

BIONOTES: **Savely P. Zatorskiy** — postgraduate student of the Department of Information Systems and Technologies; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; SPIN-code: 4024-3691, ORCID: 0000-0003-4234-8454; saveliy_zatorskiy@mail.ru;

Konstantin A. Shumilov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; SPIN-code: 4916-9517, ORCID: 0000-0003-2079-6774; saveliy_zatorskiy@mail.ru.

Contribution of the authors:

Savely P. Zatorskiy — research conceptualization, model development, source writing, and final conclusions.

Konstantin A. Shumilov — scientific guidance, finalization of the research concept, finalization of the text and final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.