

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-4-56-68

Клековкин Е.А.

Ижевский Государственный Технический Университет имени М.Т. Калашникова

E-mail: z0h0e0n0y0a@gmail.com

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ В СРЕДЕ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Аннотация. Проанализирован процесс проектирования несущих конструкций с использованием информационного моделирования. Отмечена высокая трудоемкость вариантной проработки, сложность передачи данных между информационными и расчетными моделями несущих конструкций, не совершенность существующих инструментов конвертации информационных моделей в расчетные и наоборот. Предложено использование визуального программирования для создания скриптов, автоматизирующих информационное и аналитическое моделирование в САПР.

Рассмотрены возможности визуального программирования для формирования скриптов автоматизированного моделирования несущих конструкций. Рассмотрен алгоритм в среде визуального программирования для проектирования несущих конструкций промышленных зданий реализующий автоматизированное формирование расчетной и информационной модели каркаса по заданным параметрам здания и конструктивного решения.

Использование визуального программирования позволило параметризовать формирование информационной и аналитической моделей с автоматизированным приложением снеговой и ветровой нагрузок. Параллельное формирование моделей по настроенным в скрипте правилам повышает степень интегрированности проектирования и может снижать количество ошибок в моделях. Проведено сравнение трудозатрат при проектировании несущих конструкций параметризованным и не параметризованным способами на примере двух объектов строительства.

Выявлен прирост производительности проектирования при использовании параметрического скрипта на этапе информационного и аналитического моделирования. Рассмотренный подход может быть использован для вариантного проектирования и оптимизации конструктивных решений. Интерактивное изменение моделей при изменении входных параметров и непрерывная обратная связь по целевым показателям облегчают поиск оптимальных конструктивных решений. Параллельная генерация расчетной и информационной моделей посредством скриптов позволяет снизить трудоемкость разработки моделей по сравнению с последовательным методом.

Ключевые слова: параметризация, визуальное программирование, grasshopper, вариантное проектирование, оптимизация, алгоритмическое проектирование.

Введение. Проектирование несущих конструкций зданий и сооружений включает в себя, помимо информационного моделирования, еще и спектр расчетов конструкций и их систем, которые, как правило, производятся в специализированных программных комплексах, реализующих метод конечных элементов.

Множество исследователей обращаются к концепции параметризации не только информационного моделирования несущих конструкций зданий и сооружений [1], но и параметризации расчетов этих конструкций и интеграции информационного моделирования и конструктивного расчета в единый параметризованный процесс [2–6]. Целью исследований в этом направлении является объединение параметрического подхода, вариантного проектирования, метода конечных элементов (МКЭ) и многокритериальной оптимизации. Исследования показывают, что автоматизация вариантного проектирования значительно снижает его трудоемкость [7, 8]. Автоматизация достигается путем создания скриптов в

API программных комплексов, либо путем создания специализированных приложений [9–12]. Скрипты позволяют автоматизировать выполнение операций с большим количеством повторяющихся действий, например, моделирование конечных элементов [13] или приложение сложно-распределенных нагрузок [14]. Такие скрипты формируют параметрические связи между входными параметрами и получаемыми моделями, что позволяет за короткое время формировать большое количество вариантов решений [15]. Кроме того, с помощью скриптов можно упростить взаимодействие между ПО, а значит более эффективно передавать и использовать информацию [16, 17].

Решение задач автоматизации проектирования, дополнение функционала программных комплексов возможно также посредством визуального программирования, в частности сред Dynamo и Grasshopper. Модуль визуального программирования также присутствует в программе Сапфир Генератор [18]. Написание даже корот-

кого скрипта в API требует от пользователя специальных знаний из области программирования, которыми большинство проектировщиков не обладают. Поэтому у визуального программирования есть неоспоримое преимущество в этом свете – относительная легкость в освоении [19].

Визуальное программирование наиболее широко используется авторами исследований для автоматизации моделирования конструкций зданий сложной геометрии [20]. Отдельные исследования показывают эффективность применения визуального программирования и для приложения снеговых и ветровых нагрузок на сложные формы покрытий [21]. Среда Grasshopper применяются и для параметризации моделирования конструкций относительно простых по форме зданий промышленного назначения [22]. Визуальное программирование также применяется исследователями для оптимизации конструктивных расчетов [23].

Внесение любых изменений в расчетную модель может спровоцировать появление различных ошибок [24]. Поэтому параметризация расчетной модели за счет автоматизированного внесения изменений гипотетически должна значительно снижать количество ошибок в модели. Следствием уменьшения количества ошибок должно стать снижение трудозатрат на их исправление.

Цель данной работы – оценить эффективность применения визуального программирования для параметрического и алгоритмического проектирования несущих конструкций на примере моделирования каркаса промышленного

здания. Объект исследования – одноэтажный каркас промышленного здания, а предмет – автоматизация проектирования несущих конструкций в среде визуального программирования. Основная гипотеза заключается в том, что объединение параметрического моделирования конструкций и параметрического формирования расчетной схемы с автоматизированным приложением нагрузок в едином скрипте позволит получить прирост производительности при моделировании несущих конструкций одноэтажных промышленных зданий.

Материалы и методы. В машиностроении широко распространен подход Knowledge Based Engineering (KBE) [25]. Данный подход основан на автоматизации повторяющихся процессов проектирования с целью дать возможность инженеру исследовать большее число возможных проектных решений. Первой ступенью на пути к реализации данного подхода в сфере проектирования несущих строительных конструкций является автоматизация этапа моделирования с помощью параметризации.

Для параметрического и алгоритмического проектирования несущих конструкций используется алгоритм в среде визуального программирования [26]. Параметризация заключается в определении характеристик объектов модели (в первую очередь геометрических) через математические функции. Таким образом, для построения и изменения объекта необходимо изменить лишь входные параметры.

Алгоритм представляет собой скрипт в среде визуального программирования (рис. 1) [26].

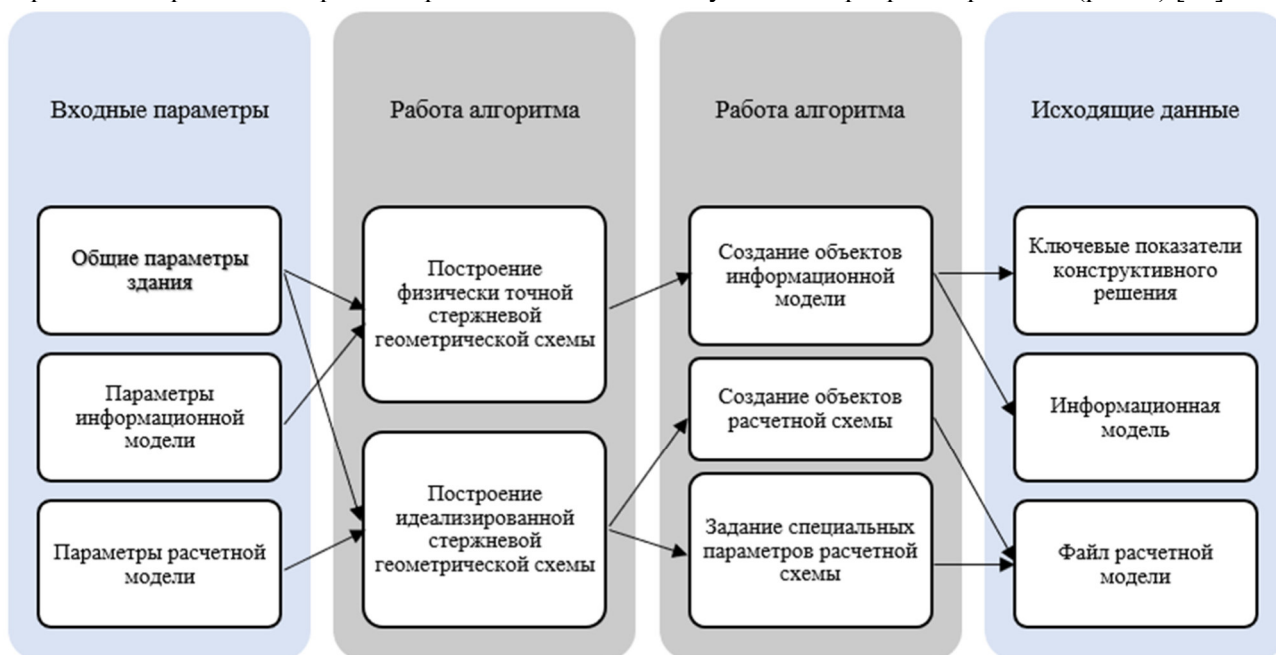


Рис. 1. Общая схема работы алгоритма

Скрипт имеет блочную структуру. Каждый из блоков скрипта решает конкретную подзадачу

(рис. 2). Разбиение скрипта на блоки повышает его трансформируемость – то есть возможность

переработки для генерации моделей несущих конструкций других типов зданий.

Блок входных данных включает в себя следующие параметры (рис. 2):

- Тип ригеля;
- Пролет стропильной конструкции, мм;
- Уклон кровли, %;

- Количество шагов поперечных рам;
- Шаг колонн, мм;
- Высота колонн, мм;
- Тип фермы;
- Высота фермы на опоре, мм;
- Количество панелей на полпролета фермы.



Рис. 2. Схема алгоритма формирования расчетной модели

SCAD по умолчанию оперирует значениями геометрических характеристик в метрах, а Tekla Structures требует введения значений в миллиметрах. Если сгенерированную скриптом геометрическую схему каркаса импортировать в SCAD без изменений, то фактические размеры схемы

SCAD будут увеличены в 1000 раз. Чтобы избежать этого эффекта, входные параметры геометрической схемы для ветки скрипта, генерирующей расчетную модель, уменьшаются в 1000 раз с помощью компонента «expression».

Схема части алгоритма, генерирующей информационную модель, представлена на рис. 3.



Рис. 3. Схема алгоритма формирования информационной модели

Было выбрано 4 типа ферм для реализации в рамках скрипта (рис. 4): фермы с параллельными поясами жесткого и шарнирного опирания, а также фермы трапецевидной формы жесткого и шарнирного опирания. В зависимости от выбран-

ного входного параметра активируется соответствующая ветвь алгоритма, отвечающая за генерацию фермы определенного типа.

Блок скрипта, генерирующий файл расчетной модели создан с помощью компонентов плагина SCAD (рис. 5).



Рис. 4. Схема фрагмента скрипта генерации фермы покрытия

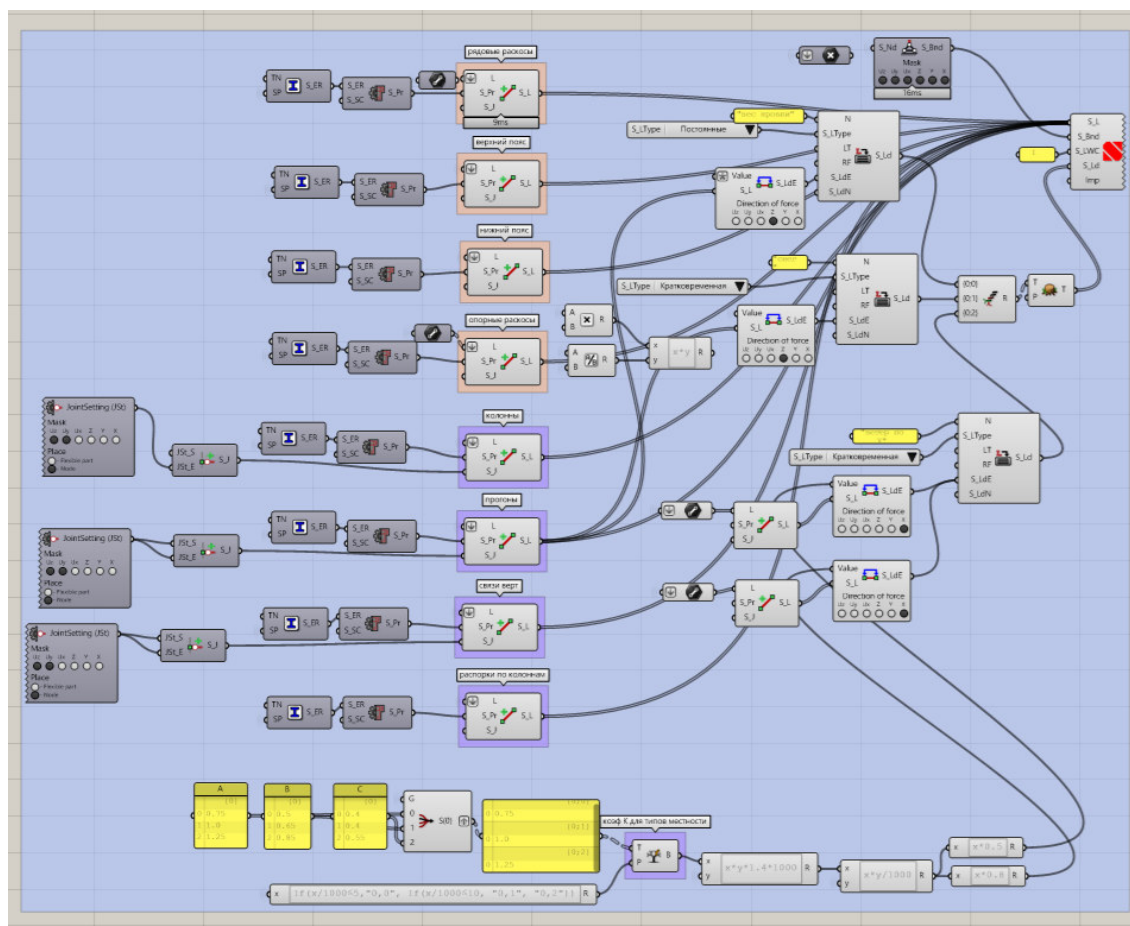


Рис. 5. Фрагмент скрипта, реализующий экспорт схемы в расчетный комплекс

Геометрически точное представление объектов в модели позволяет получить данные о материалоемкости конструкций [27]. В скрипте реализовано вычисление и отображение в интерак-

тивном режиме целевых параметров конструктивного решения – общей массы металлоконструкций каркаса, удельной металлоемкости, отношения высоты ригеля к пролету и перепада

кровли (рис. 6). Как правило, оптимальные значения данных показателей для здания находятся в заранее известном диапазоне. Таким образом, еще до создания расчетного файла и до проверки конструкций на прочность и устойчивость инженер может оценить, попадает ли рассматриваемый вариант конструктивного решения в область

оптимальных решений. Возможность провести такую оценку позволяет отбросить часть вариантов уже на первом этапе. При этом экономится время, которое могло бы быть потрачено на создание и проверку расчетных схем таких вариантов.

Рис. 6. Фрагмент скрипта, выводящий статистику по целевым параметрам каркаса

В скрипте реализован автоматизированный сбор ветровых и снеговых нагрузок. В блоке

входных данных для сбора нагрузок задается ветровой и снеговой районы согласно СП20, тип местности и вес конструкции покрытия (рис. 7).

Рис. 7. Блок входных параметров для задания нагрузок на каркас

Основная часть. Для оценки эффективности скрипта было проведено сравнение трудозатрат на проектирование несущих конструкций объекта с помощью трёх методик.

Методика №1 характеризовалась рутинным формированием информационной модели без использования средств автоматизации. Передача данных между ПО для информационного моделирования и прочностного расчета проводилась с помощью экспорта/импорта через формат IFC. После чего расчетная модель дорабатывалась в расчетном комплексе.

Методика №2 имела отличие от первой в части передачи данных между ПО. Информационная модель формировалась не параметризованным способом, затем формировалась аналитическая модель в интерфейсе программы информационного моделирования с помощью стандартного инструмента. Затем проводилась передача подготовленной аналитической модели в расчетный комплекс и доработка модели в расчетном комплексе.

Методика №3 характеризовалась использованием параметрического скрипта в среде визуального программирования для формирования как информационной, так и расчетной моделей.

Трудоемкость подсчитывалась для 4 этапов независимо:

- 1) формирование информационной модели каркаса LOD200;
- 2) формирование расчетной стержневой модели каркаса;
- 3) внесение изменений в сформированную информационную модель каркаса LOD 200 в процессе дальнейшей работы над проектом;
- 4) внесение изменений в сформированную расчетную стержневую модель в процессе дальнейшей работы над проектом.

Автором были сформированы информационные и расчетные модели объектов по методике №1, в результате чего получены данные о трудоемкости этапов. Затем были использованы информационные модели объектов, полученные по методике №1 для передачи данных в расчетный комплекс и доработки расчетной модели по методике №2, в результате чего получены данные о трудоемкости формирования расчетной модели для методики №2. Затем были заново сформированы модели объектов по методике №3 с помощью параметрического скрипта и получены данные о трудоемкости этапов.

Для сравнения методик были выбраны два объекта, для которых автором разрабатывались

несущие конструкции раздела КМ. Справочная информация об объектах представлена в табл. 1. Информационная модель каркаса здания, разработанная с использованием скрипта представлена на рис. 8.

Расчетная модель каркаса промышленного здания, полученная с помощью алгоритма представлена на рис. 9.

Таблица 1

Параметры объектов строительства, выбранных для тестирования алгоритма

Номер	Параметр	Объект строительства 1	Объект строительства 2
1	Площадь объекта, м ²	2880	972
2	Размеры «в осях», м	30×96	18*54
3	Шаг колонн, м (крайних/средних)	6/12	6/6
4	Назначение объекта	Навес для сельхозтехники	Склад
5	Количество пролетов здания	2	1
6	Длина пролета фермы	15	18
7	Тип стропильной конструкции	Ферма с параллельными поясами	Трапециевидная ферма

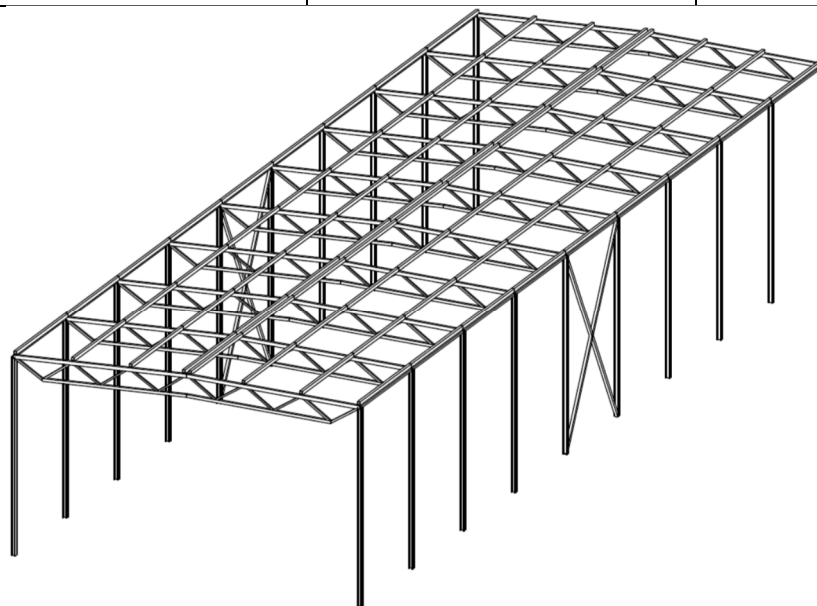


Рис. 8. Информационная модель каркаса, полученная с помощью алгоритма

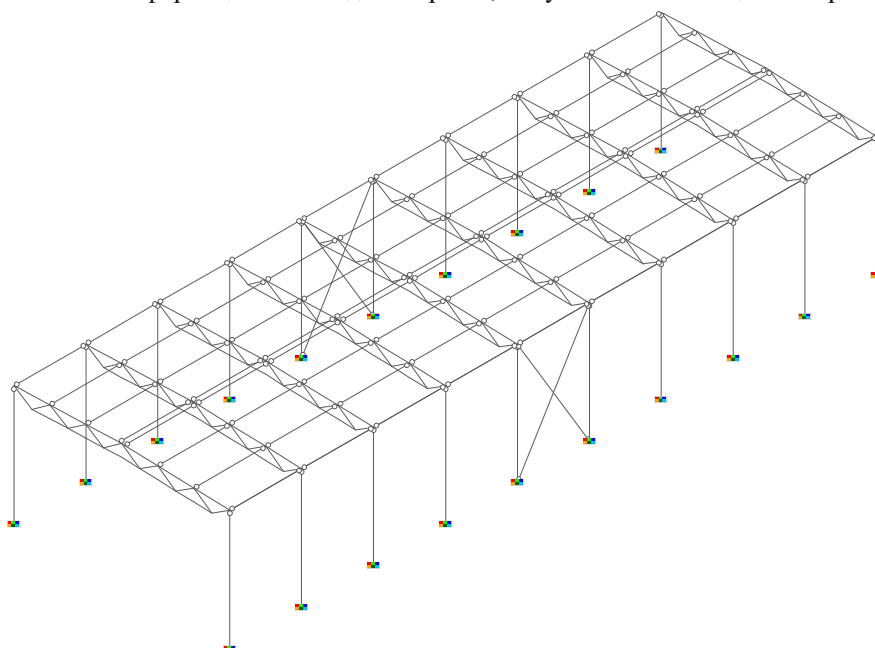


Рис. 9. Расчетная модель каркаса, полученная с помощью алгоритма

Применение скрипта снижает трудоемкость процесса проектирования. Рассчитать количество объектов, при котором снижение трудоемкости превышает трудозатраты на проектирование можно по формуле (1) [28]:

$$\frac{T}{x \cdot (t - t_{ps})} \leq 1 \quad (1)$$

где T – трудоемкость создания скрипта параметрического проектирования, ч;

– трудоемкость проектирования несущих конструкций объекта без параметрического скрипта, ч;

– трудоемкость проектирования несущих конструкций объекта с параметрическим скриптом, ч;

x – количество объектов, которые могут быть спроектированы с использованием скрипта.

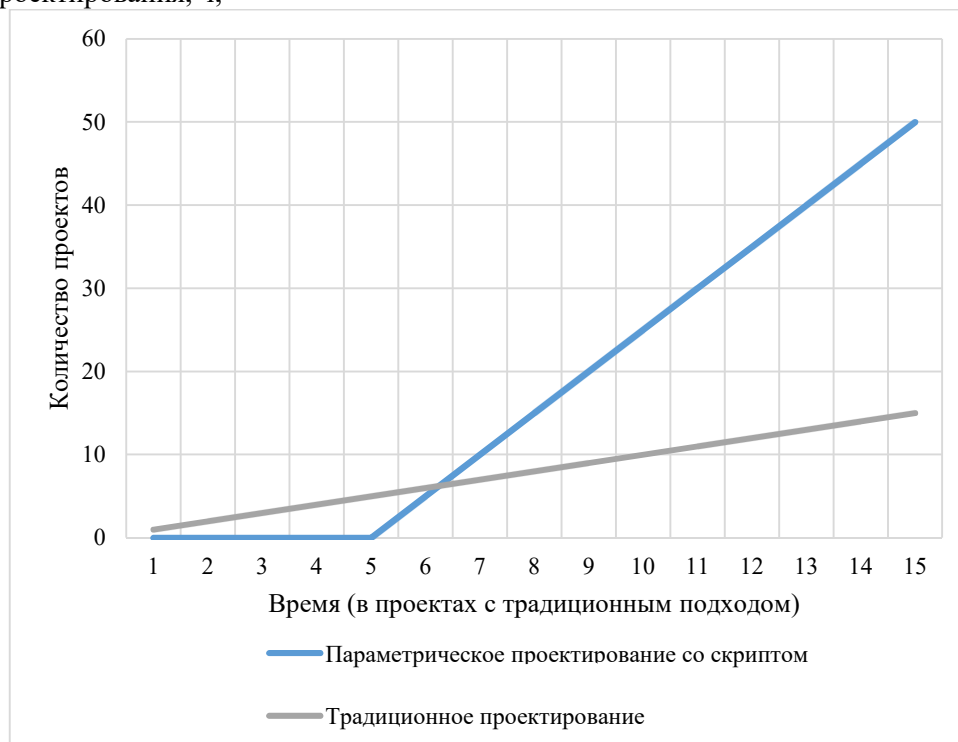


Рис. 10. График количества проектов в зависимости от времени

При этом минимальное количество типовых объектов для проектирования по параметрическому скрипту, при котором выполняется условие (1) можно выразить по формуле (2).

$$x \geq \frac{T}{(t - t_{ps})} \quad (2)$$

Оценка эффективности скрипта проводилась сравнением трудоемкости проработки информационной и расчетной моделей тремя различными методами: моделированием без параметризации и экспортом модели через IFC, моделированием без параметризации и экспортом модели через встроенный плагин, моделирование с помощью параметрического скрипта, разработанного автором.

Данные о трудоемкости разработки моделей по различным методикам представлены в табл. 2.

Так как трудоемкость разработки чертежей остается неизменной, то в сравнении она не учитывалась.

По результатам видно, что использование параметрического плагина сокращает трудоем-

кость проработки варианта конструктивного решения каркаса здания на 20,3 % относительно метода 2, трудоемкость проработки информационной модели сокращается на 30 %, а трудоемкость проработки аналитической модели сокращается на 23,08 % процента относительно метода 1 и на 13% относительно метода 2. При этом возможно сокращение трудозатрат на внесение изменений в информационную модель, в том случае, когда правки заключаются в изменении параметризованного в скрипте параметра конструкций (шага/пролета конструкций и т.п.).

При этом на разработку скрипта для работы над объектом №2 автором было затрачено 32 часа, а на доработку скрипта для работы над объектом №1 автором было дополнительно затрачено 11 часов.

Для объекта №2 минимальное необходимое количество проектов при котором написание скрипта оправдывает затраты находится по формуле (2):

$$x \geq \frac{T}{(t - t_{ps})} = \frac{32}{(33 - 22)} = 2,9$$

Таблица 2

Трудоемкость проектирования несущих конструкций объектов по этапам

		Трудоемкость проработки варианта, чел.-ч											
Методика		«Ручная» сборка модели, обмен данными через IFC				«Ручная» сборка модели, обмен данными через встроенный плагин				Проектирование с параметрическим плагином			
Этап работ	Объект	ИМ	АМ	изм ИМ	изм АМ	ИМ	АМ	изм ИМ	изм АМ	ИМ	АМ	изм ИМ	изм АМ
		ИМ	АМ	изм ИМ	изм АМ	ИМ	АМ	изм ИМ	изм АМ	ИМ	АМ	изм ИМ	изм АМ
	Объект 1	20	16	8	2	20	15	8	1	15	13	8	1
	Объект 2	17	10	3	3	17	8	3	2	11	7	2	2
	Интегральный показатель	37	26	11	5	37	23	11	3	26	20	10	3
	Доля от наиболее трудоемкого варианта, %	100	100	100	100	100	88,46	100	60	70,27	76,92	90,9	60
	Прирост производительности труда, %	0	0	0	0	0	11,54	0	40	29,73	23,08	9,1	40

Для объекта №1, рассматривая трудозатраты на создание скрипта как сумму затрат на разработку первоначального варианта и его доработку:

$$x \geq \frac{T}{(t - t_{ps})} = \frac{(32 + 11)}{(46 - 37)} = 4,7$$

Однако, если учесть, что скрипт для каждого последующего нового типа здания будет разрабатываться на основе существующих наработок, то в таком случае необходимо учесть только затраты на доработку существующего скрипта. Таким образом, минимальное количество типовых проектов составит:

$$x \geq \frac{T}{(t - t_{ps})} = \frac{11}{(46 - 37)} = 1,2$$

Следовательно, эффект от внедрения параметрического моделирования посредством скриптов носит накопительный характер. При условии наличия наработок в виде скриптов для других типов зданий, эти наработки могут использоваться при создании новых скриптов путем заимствования отдельных частей алгоритма, отвечающих за создание геометрической схемы каркаса или за автоматический сбор нагрузок.

В дальнейшем автор планирует продолжить исследования возможности применения параметрического моделирования для свободного поиска конструктивного решения с обратной связью по целевым показателям. Оценку решений предполагается проводить методом анализа иерархий [29]. Последующим развитием подхода послужит параметрическое моделирование каркаса с учетом деталей узлов на основе библиотечных элементов [30].

Выводы. Использование скриптов для автоматизации рутинных операций позволяет снижать трудоемкость моделирования несущих конструкций, на рассмотренных примерах получен эффект в виде снижения трудоемкости в пределах 9–40 %.

Рассчитан условный «срок окупаемости» трудозатрат на разработку скриптов. Трудозатраты на разработку скриптов перекрываются накопленным эффектом от снижения трудоемкости при проектировании 2,9–4,7 типовых объектов по данным рассмотренных примеров.

Применение инструментов формирования аналитической модели в комплексе информационного моделирования требует точной настройки правил идеализации модели. Параллельное формирование расчетной и информационной моделей позволяет получить точно соответствующие модели без дополнительных трудозатрат на идеализацию расчетной модели, что повышает интегрированность конструктивного проектирования. Полученные результаты позволяют предположить, что параллельная генерация расчетной и информационной моделей позволяет снизить трудоемкость проектирования по сравнению с последовательным методом, при котором используется конвертация информационной модели в расчетную.

Рассмотренный в данной статье подход может быть использован для автоматизации вариантного проектирования несущих конструкций на начальном этапе проработки. С помощью скрипта могут быть быстро сгенерированы несколько вариантов каркаса здания, а полученные в результате информационные и расчетные модели могут быть использованы на последующих этапах при более детальной проработке решений. В результате эффект снижения трудоемкости ва-

риантной проработки может привести к повышению качества проектных решений. Для оценки и выбора наилучшего варианта целесообразно использовать метод анализа иерархий.

Стоит отметить, что эффект от параметризации информационного моделирования может быть значительно повышен при увеличении степени детализации модели. Применительно к металлическому каркасу может быть реализовано моделирование узлов конструкций по заранее настроенным компонентам – пользовательским библиотечным элементам. В результате может быть получена точная спецификация металла, учитывающая элементы соединений конструкций, уже на стадии предпроектной проработки, что в перспективе значительно повысит качество принимаемых проектных решений.

В статье проведена оценка эффективности скриптов для автоматизации проектирования на конкретных примерах. Заслуживают дальнейших исследований вопросы эффективности скриптов в различных условиях применения, в зависимости от их сложности, функционала, параметров моделируемых объектов. В этом свете важная задача – оценка целесообразности написания скрипта для заранее известной задачи проектирования. Такой задачей может быть проектирование уникального технически сложного объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Травуш В.И. Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 3. С. 107–117. DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. EDN VJBYXC.
2. Martini K. Optimization and parametric modelling to support conceptual structural design // International Journal of Architectural Computing. 2011. № 9(2). Pp. 151–166. DOI:10.1260/1478-0771.9.2.151
3. Danhaive R.A., Mueller C.T. Combining parametric modeling and interactive optimization for high-performance and creative structural design // Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2015.
4. Rolvink A., van de Straat R., Coenders J. Parametric Structural Design and beyond // International Journal of Architectural Computing. 2010. № 8(3). Pp. 319–336. DOI:10.1260/1478-0771.8.3.319
5. Reisinger J., Knoll M., Kovacic I. Parametric Structural Design for automated Multi-Objective Optimization of Flexible Industrial Buildings // Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020: From Demonstration to Practical Use - To New Stage of Construction Robot. 2020.
6. Apellániz D., Vierlinger R. Enhancing structural design with a parametric FEM toolbox // Steel Construction. 2022. № 15(3). Pp. 188–195. DOI:10.1002/stco.202200004
7. Lee S.II, Bae J.S., Cho Y.S. Efficiency analysis of Set-based Design with structural building information modeling (S-BIM) on high-rise building structures // Automation in Construction. 2012. № 23(2) Pp. 20–32. DOI:10.1016/j.autcon.2011.12.008
8. Rempling R., Mathern A., Ramos D.T., Fernández S.L. Automatic structural design by a set-based parametric design method // Automation in Construction. 2019. № 108. 102936 DOI:10.1016/j.autcon.2019.102936
9. Aish R., Bredella N. The evolution of architectural computing: From Building Modelling to Design Computation // Architectural Research Quarterly. 2017. № 21(1). Pp. 65–73. DOI:10.1017/S1359135517000185
10. Buelow P. Von. Paragen: Performative exploration of generative systems // Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2012. № 53(4). Pp. 271–284
11. Василькин А.А. К интегрированию инструментов структурной оптимизации в САПР // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 9. С. 55–60. EDN YLLDGH.
12. Зоткина И.А., Игнатова Е.В. Автоматизация расчета воздухообмена в помещениях на основе данных информационной модели здания // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 9. С. 73–78. EDN YLLDHF.
13. Бабчук В.И., Шилова Л.А., Евстратов В.С. Автоматизация процесса армирования подпорной стенки гидротехнического сооружения // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 12. С. 37–44. DOI 10.33622/0869-7019.2022.12.37-44. EDN PGVYEG.
14. Семенов А.А., Сафиуллин М.Н., Порываев И.А., Маляренко А.А. Автоматизированное создание расчетных моделей SCAD при помощи средств API // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 3. С. 32–35. EDN RYGLFL.
15. Салех М.С. Особенности разработки уникальных архитектурных решений с использованием цифровых методов на основе визуального программирования // Строительные материалы и изделия. 2022. Т. 5, № 1. С. 54–59. DOI 10.34031/2618-7183-2022-5-1-54-59. EDN NOYMKD.
16. Sattler L., Lamouri S., Pellerin R., Maigne T. Interoperability aims in building information modeling exchanges: A literature review // IFAC-PapersOnLine. 2019. №52(13). Pp. 271–276. DOI:10.1016/j.ifacol.2019.11.180

17. Fedorik F., Makkonen T., Heikkilä R. Integration of BIM and FEA in automation of building and bridge engineering design // ISARC 2016 - 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction. 2016. DOI:10.22260/ISARC2016/0089
18. Тищенко Д. Система визуального программирования САПФИР-ГЕНЕРАТОР - компонент BIM-технологии // САПР и графика. 2018. Т. 4, № 258. С. 12–15.
19. Клековкин Е.А., Сунцов А.С. Применение визуального программирования для задач автоматизации в строительстве // Construction and Geotechnics. 2023. Т. 14, № 2. С. 128–143. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.10. EDN SRAXWK.
20. Георгиев Н.Г., Шумилов К.А., Семенов А.А. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 4(38). С. 117–123. DOI 10.52684/2312-3702-2021-38-4-117-123. EDN ZPSGCJ.
21. Дагаев В.А., Пурвин Г.М., Школяр Ф.С. Оптимизация определения и приложения сложнораспределенных нагрузок на вантовое покрытие двоякой кривизны // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18, №11 С. 1713–1730. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.11.1713-1730
22. Курс Grasshopper для инженера [Электронный ресурс]. URL: https://www.structuristik.com/grasshopper_dlya_ingenera (дата обращения: 26.09.2024).
23. Недвига П.Н., Кукина А.А., Тачков М.А. Оптимизация конструктивных расчетов свайного поля на основе данных статического зондирования // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13, № 4. С. 19–48. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.2. EDN HDGSOW.
24. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. 4-е изд., перераб. Москва: Издательство СКАД СОФТ, 2011. 736 с.
25. Verhagen W.J.C., Bermell-Garcia P., Dijk R.V., Curran R. A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges // Advanced Engineering Informatics. 2012. № 26(1). Pp. 5–15. DOI: 10.1016/j.aei.2011.06.004
26. Сунцов А.С., Клековкин Е.А. Алгоритм параметризации разработки информационной и аналитической моделей каркасов одноэтажных промышленных зданий с использованием визуального программирования // Строительное производство. 2024. № 1. С. 80–85. DOI: 10.54950/26585340_2024_1_80. EDN FRJOMV.
27. Наумов А.Е., Кучеренко А.С., Бобровников Е.А., Корольская А.И. Параметрические библиотечные элементы как эффективное средство совершенствования технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 2. С. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-20-28. EDN ALCZUO.
28. Клековкин Е.А. Параметризация моделирования каркасов одноэтажных промышленных зданий с балочной системой покрытия в среде grasshopper // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–17 мая 2024 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. С. 340–347. DOI: 10.23968/BIMAC.2024.046. EDN CGIKEJ.
29. Darko A., Chan A.P.C., Effah E.F., Owusu E.K., Pärn E.A., Edwards D.J. Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction // International Journal of Construction Management. 2019. №19(5). Pp. 436–452. DOI: 10.1080/15623599.2018.1452098
30. Rybakova A. Development of an Integrated Information Model Based on Standard Modular Elements of the Maximum Readiness Basis // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. № 231. Pp. 211–219. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_22

Информация об авторах

Клековкин Евгений Алексеевич, аспирант кафедры промышленное и гражданское строительство. E-mail: z0h0e0n0y0a@gmail.com. Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова. 426069, Удмуртская Республика, Ижевск, улица Студенческая, д.42.

Поступила 20.11.2024 г.

© Клековкин Е.А., 2025

Klekovkin E.A.

Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E-mail: z0h0e0n0y0a@gmail.com.

ALGORITHMIC DESIGN OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF INDUSTRIAL BUILDINGS USING VISUAL PROGRAMMING

Abstract. The process of designing load-bearing structures using information modelling is analysed. High labour intensity of variant elaboration, complexity of data transfer between information and structural models of load-bearing structures, non-perfection of existing tools for converting information models into structural models and vice versa are noted. The use of visual programming for creation of scripts automating information and analytical modelling in CAD is suggested.

The possibilities of visual programming for forming scripts of automated modelling of load-bearing structures are considered. The algorithm in the visual programming environment for designing load-bearing structures of industrial buildings, which realises the automated formation of the design and information model of the frame according to the given parameters of the building and structural solution, is considered.

The use of visual programming allowed parameterised formation of information and analytical models with automated application of snow and wind loads. Parallel formation of models according to the rules configured in the script increases the degree of design integration and can reduce the number of errors in the models. The comparison of labour costs in the design of load-bearing structures by parametrized and non-parametrized methods on the example of two construction objects has been carried out.

The increase of design productivity at the stage of information and analytical modelling when using parametric script has been revealed. The considered approach can be used for variant design and optimisation of structural solutions. Interactive change of models at change of input parameters and continuous feedback on target indicators facilitate the search of optimal design solutions. Parallel generation of design and information models by means of scripts allows to reduce the labour intensity of model development in comparison with the sequential method.

Keywords: parameterisation, visual programming, grasshopper, variant design, optimisation, algorithmic design

REFERENCES

1. Travush V.I. Digital technologies in construction [Cifrovye tekhnologii v stroitel'stve]. Academia. Architecture and construction. 2018. Vol. 3 Pp. 107–117. DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. EDN VJBYXC. (rus.)
2. Martini K. Optimization and parametric modelling to support conceptual structural design. International Journal of Architectural Computing. 2011. Vol. 9(2). Pp. 151–166. DOI: 10.1260/1478-0771.9.2.151
3. Danhaive R.A., Mueller C.T. Combining parametric modeling and interactive optimization for high-performance and creative structural design. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2015.
4. Rolvink A., van de Straat R., Coenders J. Parametric Structural Design and beyond. International Journal of Architectural Computing. 2010. Vol. 8(3). Pp. 319–336. DOI: 10.1260/1478-0771.8.3.319
5. Reisinger J., Knoll M., Kovacic I. Parametric Structural Design for automated Multi-Objective Optimization of Flexible Industrial Buildings. Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020: From Demonstration to Practical Use - To New Stage of Construction Robot. 2020.
6. Apellániz D., Vierlinger R. Enhancing structural design with a parametric FEM toolbox. Steel Construction. 2022. Vol. 15(3). Pp. 188–195. DOI:10.1002/stco.202200004
7. Lee S.II, Bae J.S., Cho Y.S. Efficiency analysis of Set-based Design with structural building information modeling (S-BIM) on high-rise building structures. Automation in Construction. 2012. Vol. 23(2). Pp. 20–32. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.12.008
8. Rempling R., Mathern A., Ramos D.T., Fernández S.L. Automatic structural design by a set-based parametric design method. Automation in Construction. 2019. Vol. 108. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102936
9. Aish R., Bredella N. The evolution of architectural computing: From Building Modelling to Design Computation. Architectural Research Quarterly. 2017. Vol. 21(1). Pp. 65–73. DOI: 10.1017/S1359135517000185
10. Buelow P. Von. Paragen: Performative exploration of generative systems. Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures. 2012. Vol. 53(4). Pp. 271–274
11. Vasilkin A.A. To integration of tools of structural organization into CAD [K integrirovaniyu instrumentov strukturnoj optimizatsii v

SAPR]. Industrial and Civil Engineering. 2018. Vol. 9. Pp. 55–60. EDN YLLDGH. (rus)

12. Zotkina I.A., Ignatova E.V. Automation of calculation of air exchange in premises on the basis of building information model data [Avtomatizatsiya rascheta vozduhoobmena v pomeshcheniyah na osnove dannyh informacionnoj modeli zdaniya]. Industrial and Civil Engineering. 2018. Vol. 9. Pp. 73–78. EDN YLLDHF. (rus)

13. Babchuk V. I., Shilova L. A., Evstratov V. S. Automation of the process of reinforcing the retaining wall of a hydraulic structure [Avtomatizatsiya processa armirovaniya podpornoj stenki gidrotekhnicheskogo sooruzheniya]. Industrial and Civil Engineering. 2022. Vol. 12. Pp. 37–44. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.12.37-44. EDN PGVYEG. (rus)

14. Semenov A.A., Safiullin M.N., Porivaev I.A., Malyarenko A.A. Automated generation of scad simulation models using api tools [Avtomatizirovannoe sozdanie raschetnyh modelej SCAD pri pomoshchi sredstv API]. Industrial and Civil Engineering. 2014. Vol. 3. Pp. 32–35. EDN RYGLFL. (rus)

15. Saleh M. Features of developing unique architectural solutions using digital methods based on visual programming [Osobennosti razrabotki unikal'nyh arhitekturnykh reshenij s ispol'zovaniem cifrovyyh metodov na osnove vizual'nogo programmirovaniya]. Construction Materials and Products. 2022. Vol. 5(1). Pp. 54–59. DOI 10.34031/2618-7183-2022-5-1-54-59. EDN NOYMKD. (rus)

16. Sattler L., Lamouri S., Pellerin R., Maigne T. Interoperability aims in building information modeling exchanges: A literature review. IFAC-PapersOnLine. 2019. Vol. 52(13). Pp. 271–276. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.180

17. Fedorik F., Makkonen T., Heikkilä R. Integration of BIM and FEA in automation of building and bridge engineering design. ISARC 2016 - 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction. 2016. DOI: 10.22260/ISARC2016/0089

18. Tishchenko D. Sapfir-generator visual programming system - a component of BIM-technology [Sistema vizual'nogo programmirovaniya SAPFIR-GENERATOR - komponent BIM-tekhnologii]. CAD and graphics. 2018. Vol. 4(258). Pp. 12–15. (rus)

19. Klekovkin E.A., Suntsov A.S. Application of visual programming for automation tasks in construction [Primenenie vizual'nogo programmirovaniya dlya zadach avtomatizatsii v stroitel'stve]. Construction and geotechnics. 2023. Vol. 14(2). Pp. 128–143. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.10. EDN SRAXWK. (rus.)

20. Georgiev N. G., Shumilov K. A., Semenov A. A. Visual programming in the problems of modeling building structures [Vizual'noe programmirovaniye v zadachah modelirovaniya stroitel'nykh konstrukcij]. Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. 2021. Vol. 4(38). Pp. 117–123. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-117-123. EDN ZPSGCJ. (rus.)

21. Dagaev V.A., Purvin G.M., Shkoliar F.S. Optimization of determination and application of complexly distributed loads on a double curvature cable-stayed covering [Optimizatsiya opredeleniya i prilozheniya slozhnoraspredelennykh nagruzok na vantovoe pokrytie dvoyakoj krivizny]. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023. Vol. 18(11). Pp. 1713–1730. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.11.1713-1730 (rus)

22. Grasshopper course for engineer [Kurs Grasshopper dlya inzhenera]. URL: https://www.structuristik.com/grasshopper_dlya_ingenera (date of treatment: 26.09.2024).

23. Nedviga P.N., Kukina A.A., Tachkov M.A. Optimization of pile field structural calculations based on CPT data [Optimizatsiya konstruktivnykh raschetov svajnogo polya na osnove dannyh staticheskogo zondirovaniya]. Construction: Science and Education. 2023. Vol. 13(4). Pp. 19–48. (rus)

24. Perelmutter A.V., Slivker V.I. Analytical models of structures and possibility of their analysis [Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost' ih analiza]. 4th. ed. Moscow: Publsisher SCAD Soft, 2011. 736 p. (rus)

25. Verhagen W.J.C., Bermell-Garcia P., Dijk R. V., Curran. R. A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges. Advanced Engineering Informatics. 2012. Vol. 26(1). Pp. 5–15. DOI:10.1016/j.aei.2011.06.004

26. Suntsov A. S., Klekovkin E. A. Algorithm of parameterization of information and analytical model developing using visual programming [Algoritm parametrizatsii razrabotki informacionnoj i analiticheskoy modelej karkasov odnoetazhnykh promyshlennykh zdaniy s ispol'zovaniem vizual'nogo programmirovaniya]. Construction Production. 2024. Vol. 1. Pp. 80–85. DOI: 10.54950/26585340_2024_1_80. EDN FRJOMV. (rus.)

27. Naumov A., Kucherenko A., Bobrovnikov E., Korolskaya A. Parametric library elements as an effective tool for improving information modeling technologies in construction [Parametricheskie bibliotechnye elementy kak effektivnoe sredstvo sovershenstvovaniya tekhnologij informacionnogo modelirovaniya v stroitel'stve]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. Vol. 8(2). Pp. 20–

28. DOI 10.34031/2071-7318-2022-8-2-20-28. EDN ALCZUO. (rus)

28. Klelovkin E. A. Parametrization of modeling of load-bearing structures of one-storey industrial buildings with a girder roofing system using grasshopper [Parametrizaciya modelirovaniya kar-kasov odnoetazhnyh promyshlennyh zdaniy s balochnoj sistemoj pokrytiya v srede grasshopper]. Proceedings of VII international conference BIM in construction and architecture. 2024. Pp. 340–347. DOI 10.23968/BIMAC.2024.046. EDN CGIKEJ. (rus)

29. Darko A., Chan A.P.C., Effah E.F., Owusu E. K., Pärn E. A., Edwards D. J. Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. International Journal of Construction Management. 2019. Vol. 19(5) Pp. 436–452. DOI:10.1080/15623599.2018.145209830.

30. Rybakova A. Development of an Integrated Information Model Based on Standard Modular Elements of the Maximum Readiness Basis. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 231. Pp. 211–219. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_22

Information about the authors

Klekovkin, Evgenii A. Postgraduate student. E-mail: z0h0e0n0y0a@gmail.com. Kalashnikov Izhevsk State Technical University; 42 Studencheskaya street, Izhevsk, 426069

Received 20.11.2024

Для цитирования:

Клековкин Е.А. Алгоритмическое проектирование несущих конструкций промышленных зданий в среде визуального программирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 4. С. 56–68. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-4-56-68

For citation:

Klekovkin E.A. Algorithmic design of load-bearing structures of industrial buildings using visual programming. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 4. Pp. 56–68. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-4-56-68