

УДК 624.046.2

## Интеграция BIM-модели стойки опоры с расчетом по диаграммам предельных состояний

Д. В. Боль, С. Е. Свинцов, А. П. Ледяев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Боль Д. В., Свинцов С. Е., Ледяев А. П. Интеграция BIM-модели стойки опоры с расчетом по диаграммам предельных состояний // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 3. — С. 750–760. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-750-760

### Аннотация

Интеграция расчетных модулей с программами информационного моделирования (BIM) является актуальным направлением цифровизации проектных процессов в строительстве. На сегодняшний день отсутствуют широко внедренные решения, обеспечивающие полноценный обмен инженерными данными между BIM-моделью и расчетными модулями без участия промежуточных преобразователей или ручного ввода. **Цель:** Экспериментальная проверка возможности односторонней интеграции цифровой информационной модели (ЦИМ), построенной в среде «nanoCAD BIM Строительство», с расчетным веб-приложением «Диаграммы предельных состояний» на основе использования внешнего источника данных в формате Excel. **Методы:** Включают инженерное моделирование, параметризацию цифровой модели железобетонного элемента, применение табличного структурирования данных, автоматизированную передачу информации между системами, а также сравнительный и визуальный анализ точности и устойчивости результатов. Основу подхода составляют принципы совместимости форматов, без применения программных API и скриптовой интеграции. **Результаты:** Показали, что передача параметров геометрии, материалов и армирования из BIM-модели в расчетную систему обеспечивает полную воспроизводимость расчетной диаграммы без искажений и с устранением типовых ошибок ввода. Выявлено снижение временных затрат в два раза по сравнению с ручным вводом. **Практическая значимость:** Состоит в возможности интеграции предложенного подхода в реальные проектные процессы и в потенциале его развития для организации двустороннего обмена данными между BIM-моделями и расчетными модулями в рамках цифровых двойников строительных конструкций.

**Ключевые слова:** Технологии информационного моделирования (ТИМ), Building Information Modeling (BIM), цифровая информационная модель, интеграция программного обеспечения, параметрическое моделирование, диаграммы предельных состояний, диаграммы взаимодействия.

### Введение

Интеграция расчетных моделей и цифровых информационных моделей (ЦИМ) предполагает осуществление связи между моделями для передачи данных. В настоящий момент полноценная интеграция между моделями не реализована ни в каком зарубежном или отечественном программном обеспечении [1, 2] и представлена в боль-

шинстве случаев упрощенным экспортом геометрии из ЦИМ в один или несколько различных расчетных комплексов. Тем не менее интеграция расчетных моделей и ЦИМ играет ключевую роль в повышении производительности труда на этапе проектирования с применением технологий информационного моделирования (ТИМ), а также является важным элементом создания

цифровых двойников сооружений [3, 4]. С точки зрения повышения производительности труда данная интеграция позволяет сократить трудовые затраты, связанные с созданием моделей с нуля, и минимизировать ошибки передачи данных между различным программным обеспечением [2]. С точки зрения создания цифровых двойников сооружений интеграция моделей требуется для решения аналитических задач, связанных с использованием цифровых двойников в той же среде, в которой консолидируются данные из системы мониторинга и информация из ЦИМ.

На практике интеграция может быть реализована несколькими способами [3]:

- односторонний экспорт данных (из ЦИМ в расчетную модель или наоборот);
- создание единой гибридной модели;
- динамическая связь между моделями через внешний источник данных.

Наибольший интерес представляет последний подход, так как он обеспечивает динамическое обновление информации и гарантирует ее полноту, что критически важно как при проектировании с применением ТИМ, во время которого появляется новая информация, требующая отражения в моделях, так и для цифровых двойников, требующих постоянного информационного взаимодействия между своими составными элементами для обеспечения их полноценного функционирования, включающего в себя консолидацию актуальных данных и инструменты для анализа и прогнозирования [3].

Необходимо отметить, что расчетная модель может быть представлена не только конечно-элементной моделью сооружения или отдельного элемента, но и модулем или набором модулей для выполнения задач расчета отдельных элементов, сечений и т. п. При этом способы реализации интеграции моделей остаются теми же.

Так, для расчета прочности железобетонных элементов применяется способ, основанный на

построении диаграмм предельных состояний, отражающих граничные значения усилий, которые может воспринимать сечение при различных сочетаниях продольной силы и изгибающего момента. Этот подход позволяет перейти от частных проверок по отдельным критериям прочности к более универсальной и визуально интерпретируемой модели оценки несущей способности [5, 6].

Диаграмма предельных состояний представляет собой расчетную область, ограничивающую допустимые значения усилий в плоскости  $N - M$  (продольная сила — изгибающий момент). Она строится на основе прочностных характеристик материалов, геометрии сечения и схемы армирования и позволяет в рамках единого графического решения учесть как нормальные, так и эксцентрично приложенные нагрузки. В инженерной практике такие диаграммы используются не только для проверки отдельных сечений, но и для подбора и оптимизации армирования [7], сравнения различных проектных решений, оценки предельного состояния конструкций при температурных нагрузках [8].

Одним из преимуществ метода является его пригодность для включения в расчетные модули, ориентированные на визуализацию и автоматизированную проверку сечений [9]. Такой подход особенно актуален в контексте информационного моделирования зданий и сооружений, где требуется увязка графических и аналитических представлений объекта. При этом диаграммы предельных состояний могут служить не только инструментом статической проверки, но и основой для формирования аналитических правил в рамках цифрового двойника конструкции.

В контексте данной работы расчетный модуль «Диаграммы предельных состояний» [10] реализует построение таких диаграмм для железобетонных элементов мостовых сооружений в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011

на базе параметров сечения, заданных пользователем, с возможностью экспорта результатов в универсальном табличном формате. Это делает возможным их дальнейшее использование в цифровых информационных моделях, созданных в среде «nanoCAD BIM Строительство». Таким образом, рассматриваемый расчетный модуль можно интерпретировать как связующее звено между инженерной аналитикой и цифровым моделированием, что соответствует современной тенденции интеграции расчетных и информационных моделей в едином цифровом контуре.

Основные цели исследования:

1. Практическая проверка возможности осуществления связи между расчетной моделью и ЦИМ через внешний источник данных в рамках отечественного ПО для информационного моделирования.

2. Подтверждение функциональности программы «Диаграммы предельных состояний» и расчетных веб-приложений в целом в части экспорта и передачи результатов расчетов для их дальнейшего использования в качестве исходных данных для автоматизированного формирования ЦИМ.

## Методы

**Расчетный модуль «Диаграммы предельных состояний»** [10] представляет собой специализированное веб-приложение, предназначенное для расчета железобетонных сечений, находящихся под действием продольной силы и изгибающего момента по требованиям СП 35.13330.2011. Его работа основана на численной реализации деформационной модели, что позволяет учитывать нелинейную работу материалов на стадии предельного состояния без итерационных вычислений.

Пользователь задает геометрию сечения, характеристики арматуры, класс бетона и прочностные параметры, после чего производится автоматизированный расчет несущей способ-

ности в виде предельной кривой в координатах «продольная сила — изгибающий момент». Диаграмма формируется как совокупность точек, каждая из которых соответствует конкретному положению нейтральной оси и определенному эксцентриситету.

Одной из ключевых особенностей модуля является возможность импорта расчетных данных из табличного файла формата *Microsoft Excel*. Структура шаблонного файла ориентирована на машинную обработку, что облегчает внедрение результата в автоматизированные проектные процессы.

**Цифровая информационная модель** представляет собой объектно-ориентированную модель. Это означает, что данные в ней представлены в виде взаимосвязанных объектов с геометрическими и атрибутивными характеристиками. Таким образом, ЦИМ можно условно разделить на три уровня: геометрический — содержащий трехмерную информацию об объеме, форме и положении объектов в пространстве; семантический — содержащий негеометрическую информацию об объектах, например наименования, типы, материалы и их характеристики; реляционный — определяющий связи между объектами в модели.

Архитектура ЦИМ открывает широкие возможности для параметризации, что необходимо для осуществления передачи данных в модель с последующим автоматическим внесением в нее изменений.

Важно отметить, что общие принципы архитектуры ЦИМ не зависят от применяемого программного обеспечения, что позволяет адаптировать решения к различным проприетарным форматам моделей.

Выбранный в данной работе **механизм передачи данных** из расчетного модуля для формирования ЦИМ элемента в среде «nanoCAD BIM Строительство» основано на взаимодействии программного обеспечения с помощью внешнего

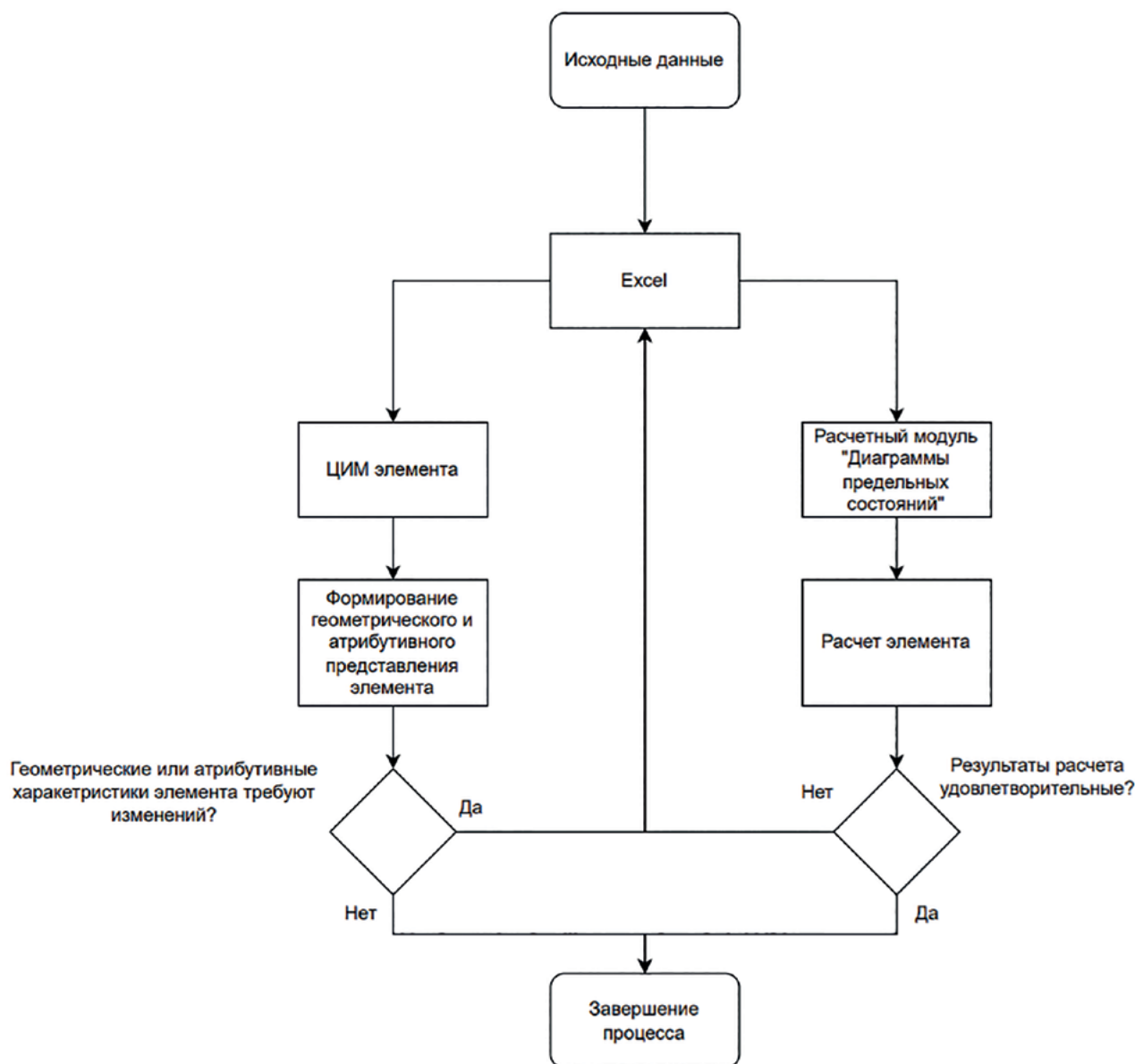


Рис. 1. Схема передачи данных

источника данных, в данном случае представленного таблицей в формате *xlsx*.

Данный способ позволяет осуществлять динамическую взаимную связь между ЦИМ и расчетным модулем. Таким образом, в данном случае не важна последовательность создания модели и выполнения расчета. Взаимное обновление связанных данных происходит в любом случае. Схема механизма передачи данных представлена на рис. 1.

Выбранный способ связи расчетного модуля и ЦИМ не является единственным вариантом инте-

грации с использованием внешнего источника данных и был выбран в данном случае как наиболее оптимальный с точки зрения сложности реализации с учетом возможностей применяемого программного обеспечения. Внешний источник данных может быть также представлен в виде текстового файла для импорта, отдельного интерфейса, алгоритма в среде визуального программирования или любой другой форме представления данных в зависимости от целей интеграции и применяемого программного обеспечения.

## Результаты

В рамках проверки работоспособности интеграции между цифровой информационной моделью, разработанной в среде «nanoCAD BIM Строительство», и расчетным модулем «Диаграммы предельных состояний» была реализована передача исходных параметров конструкции в ЦИМ из внешнего источника данных и из ЦИМ в расчетную систему. В качестве исследуемого объекта был принят железобетонный элемент — стойка опоры моста прямоугольного сечения с размерами  $400 \times 600$  мм, армированная четырьмя продольными стержнями диаметром 32 мм, размещенными симметрично по углам сечения. Применен класс бетона В30 и арматуры А400.

В «nanoCAD BIM Конструкции» были созданы следующие объекты: бетонный элемент стойки и два массива арматурных стержней, расположенных в ней. Данные массивы стержней соответствуют тем, что рассчитываются в рамках модуля «Диаграммы предельных состояний». Созданным элементам были заданы наборы параметров, определяющие их геометрическое и атрибутивное представление, в том числе параметры значения которых предполагается импортировать из внешнего источника данных. Элементы были параметризированы — была установлена зави-

симость между рядом геометрических и атрибутивных характеристик: между расстоянием от центра тяжести арматурных стержней до грани элемента и защитным слоем; защитным слоем, диаметром стержней и расположением стержней в теле элемента; защитным слоем, диаметром, количеством стержней в ряду и шагом.

В шаблоне таблицы в формате *xlsx* были заполнены требуемые характеристики элемента, приведенные выше. Заполненный шаблон представлен на рис. 2. Шаблон таблицы был объединен с аналогичной по форме таблицей, созданной в «nanoCAD BIM Строительство». С помощью встроенных инструментов программы между таблицей «nanoCAD BIM Строительство» и внешним файлом *xlsx* была установлена динамическая связь. Таблица в «nanoCAD BIM Строительство» представлена на рис. 2.

Далее в «nanoCAD BIM Строительство» была создана отдельная таблица, служащая промежуточным звеном между таблицей, связанной с внешним источником данных, и элементом в модели. Данная таблица была связана с ячейками таблицы импорта и с соответствующими атрибутами элемента ЦИМ с помощью инструментов программы, реализующих связь между объектами модели и таблицами. Таблица представлена на рис. 3.

	A	B	C	D
1			Класс бетона	B30
2			Класс арматуры	A400
3			Длина элемента	2
4			Тип заземления, коэф.	1
5			Высота сечения, м	0.6
6			Ширина сечения, м	0.4
7			Диаметр арматуры снизу, мм	32
8			Расстояние от ц.т. до гр. снизу, мм	46
9			Кол-во стержней снизу, шт.	2
10			Диаметр арматуры сверху, мм	32
11			Расстояние от ц.т. до гр. сверху, мм	46
12			Кол-во стержней сверху, шт.	2

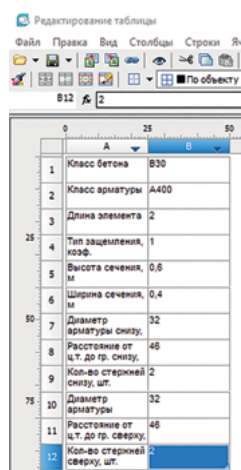
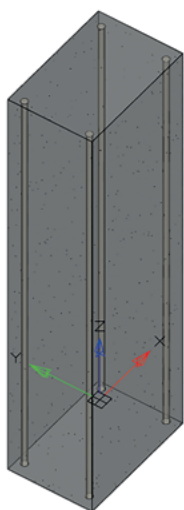


Рис. 2. Заполненный исходными данными шаблон таблицы в формате *xlsx* и таблица для импорта данных в «nanoCAD BIM Строительство»

	A	B	C
1	Класс бетона	B30	
2	Класс арматуры	A400	
3	Длина элемента, мм	2000	
4	Тип заземления, коэф.	1	
5	Высота сечения, мм	600	
6	Ширина сечения, мм	400	
7	Диаметр арматуры снизу,	32	
8	Расстояние от ц.т. до гр. снизу,	46	
9	Кол-во стержней снизу, шт.	2	
10	Диаметр арматуры	32	
11	Расстояние от ц.т. до гр. сверху,	46	
12	Кол-во стержней сверху, шт.	2	

Рис. 3. Таблица для осуществления связи с элементом модели

При загрузке исходных данных в таблицу для импорта геометрические и атрибутивные характеристики элемента обновляются автоматически. Обновленные геометрические и атрибутивные представления элемента представлены на рис. 4.



Параметр	Значение
<b>1_СТБП</b>	
Класс бетона	B30
Марка по водонепроницаемости	W4
Марка по морозостойкости	B20
Способ определения морозостойкости	1
<b>Имя объекта</b>	Железобетонная колонна
<b>К.К. Арматура</b>	
Класс арматуры	A400
Диаметр арматуры снизу	32
Диаметр арматуры сверху	32
<b>Свойства</b>	
Идентификатор материала	BT 015
Имя материала	Бетон B30 F200 W4
Материал	Бетон B30 F200 W4
<b>Классификация ИЭС</b>	
Класс ИЭС	36РФФ
Конструктивная функция	11000
Расположение	Верх
<b>Размеры</b>	
Высота	2000
Длина	600
Ширина	400
<b>Свойства</b>	
Высота	2000
Длина	600
<b>Элементы сечения</b>	
Диаметр стержня снизу	30
Диаметр стержня по толщине	30
Диаметр стержня сверху	30
<b>Объем</b>	
Расстояние от в.т. 1	46
Расстояние от в.т. 2	46
Шаг арматуры	200
Шаг арматуры 2	200
Остаток от расстояния арматуры с регулированием	3
Требование к стержням арматуры 1	2
Требование к стержням арматуры 2	2

Рис. 4. Геометрическое представление элемента после загрузки обновленных данных и атрибутивное представление элемента после загрузки обновленных данных

После установки связи атрибутов элемента с ячейками таблицы управление элементом производится через таблицу. Сама таблица может быть экспортирована в *Excel*.

На следующем этапе *Excel*-файл с исходными данными стойки был обработан и считан расчетным модулем «*Диаграммы предельных состояний*». Для этого в модуле была реализована функция загрузки входных параметров из внешнего источника с верификацией формата данных и их единиц измерения. Данные автоматически распознавались и подставлялись в поля формы, исключая необходимость ручного ввода. Рабочее окно программы «*Диаграммы предельных состояний*» представлено на рис. 5.

После загрузки параметров был выполнен расчет диаграммы предельных состояний. Результаты включали координаты точек граничной кривой в плоскости  $N - M$ , которые возможно экспортировать в формате *Excel*, а также графическое отображение расчетной области. Полученная диаграмма была построена на основе тех же параметров, что использовались в ЦИМ, без ручной коррекции.

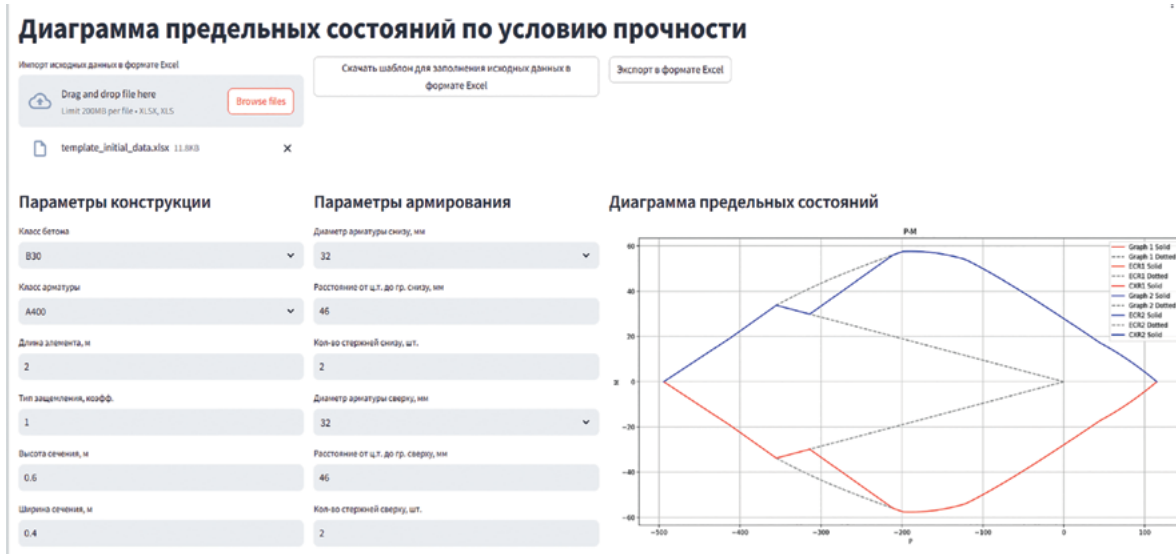


Рис. 5. Рабочее окно программы «Диаграммы предельных состояний»

В случае изменения исходных данных в таблице изменение ЦИМ происходит автоматически. Перерасчет несущей способности в расчетном модуле производится при загрузке обновленного файла в веб-приложение.

Для анализа точности и корректности передачи данных был проведен контроль соответствия выгруженных из «nanoCAD BIM Строительство» значений и тех, что были использованы в расчетах.

Для оценки эффективности автоматизации процесса была выполнена имитация ручного ввода аналогичных данных в расчетный модуль и зафиксированы трудозатраты (см. таблицу).

Сравнение трудозатрат при интеграции параметров

Этап интеграции	Ручной ввод	Импорт из BIM
Получение параметров конструкции	—	2 мин
Ввод параметров вручную	5 мин	—
Проверка корректности	3 мин	2 мин
Время повторного расчета при изменении модели	2 мин	< 1 мин (автообновление)
Общее время	10 мин	5 мин

## Анализ

Проведенная практическая реализация интеграции ЦИМ, разработанной в среде «nanoCAD BIM Строительство», с расчетным модулем «Диаграммы предельных состояний» позволила не только подтвердить техническую осуществимость данной связки, но и выявить ряд закономерностей, которые имеют принципиальное значение для оценки ее эффективности и применимости в инженерной практике.

Прежде всего стоит отметить, что корректность передачи параметров конструкции из ЦИМ в расчетную систему была обеспечена при соблюдении требований к структуре выходного *Excel*-файла и единообразию обозначений параметров. Все данные, необходимые для построения диаграммы, — геометрические размеры, характеристики бетона и арматуры, расположение стержней — были переданы автоматически без участия пользователя, что позволило исключить ошибки, связанные с человеческим фактором. При верификации не было зафиксировано ни одного случая расхождения между значениями, использованными в «nanoCAD BIM Строительство» и переданными в расчетный модуль. Это свидетельствует о высокой



степени надежности представленного способа передачи данных.

Сравнение трудозатрат между ручным вводом параметров и автоматизированной интеграцией показало существенное преимущество последнего подхода. Автоматический импорт данных сократил общее время подготовки расчетной задачи в среднем в два раза. Особенно ярко различие проявляется при повторной необходимости выполнения расчета. В случае изменения геометрии сечения или состава армирования обновление данных в ЦИМ и в расчетном модуле производится автоматически.

Преимущество автоматизированного подхода также проявилось в устойчивости к ошибкам. Данный эффект не столь значителен при моделировании и расчете одного элемента, тем не менее возможно масштабирование представленного метода для работы с большим количеством моделируемых и рассчитываемых элементов. В условиях, когда модель включает значительное количество элементов, ручной ввод параметров в ЦИМ и значений в расчетный модуль становится не только трудоемким, но и практически неприемлемым с точки зрения точности. При ручном вводе данных для ЦИМ и расчетного модуля (который дублируется) существует ряд типичных ошибок: неправильное указание единиц измерения, неверное округление значений и пропуски строк в форме расчета и значений параметров в элементах ЦИМ. Во всех этих случаях автоматический импорт устранил потенциальные риски.

Следует отметить и гибкость расчетного модуля, который способен адаптироваться к входным данным, сформированным на основе ЦИМ. Универсальность структуры входного файла (табличный формат *Excel*) позволила обеспечить совместимость без написания специализированного кода, что делает метод применимым не только для работы в «nanoCAD BIM Строительство», но и потенциально в другом ПО для

информационного моделирования, поддерживающем экспорт и импорт параметров в табличном виде.

Однако вместе с тем были зафиксированы ограничения текущей реализации. В частности, взаимодействие осуществляется в одностороннем режиме: расчетный модуль получает данные, но не возвращает результаты напрямую в ЦИМ. Таким образом, результирующая диаграмма пока может быть проанализирована визуально или использована вручную, но результаты расчета не передаются и не отражаются в ЦИМ. Кроме того, устойчивость метода зависит от строгости соблюдения структуры выгрузки: изменение порядка столбцов или строк в *Excel*-файле может привести к сбоям при импорте данных в расчетный модуль.

Тем не менее даже с учетом указанных ограничений можно утверждать, что предложенный подход демонстрирует высокую практическую ценность и технологическую состоятельность. Он позволяет устранить разрыв между этапами информационного моделирования и расчета, интегрировать расчетную логику в цифровой контур проектирования и способствует возможности реализации концепции цифрового двойника на уровне отдельных конструктивных элементов.

Таким образом, анализ подтверждает обоснованность применения автоматизированной интеграции как инструмента повышения точности, надежности и эффективности проектной деятельности при использовании современных систем информационного моделирования и расчетных систем.

## Выводы

В ходе выполнения работы была продемонстрирована возможность реализации интеграции расчетного модуля «Диаграммы предельных состояний» с цифровой информационной моделью, разработанной в среде «nanoCAD BIM



Строительство». Отличительной особенностью предложенного подхода стало отсутствие необходимости в использовании стороннего программного обеспечения или разработке промежуточных конвертеров: передача исходных данных осуществлялась посредством экспорта параметров из ЦИМ в универсальный табличный формат, пригодный для прямого чтения расчетным модулем.

Проведенный эксперимент показал, что все основные параметры, необходимые для построения диаграммы предельных состояний, — геометрические характеристики, типы и размеры арматуры, прочностные свойства материалов — успешно передаются в расчетную систему без искажений. Были достигнуты высокая точность и воспроизводимость результатов, а также полное отсутствие ошибок, характерных для ручного ввода данных. Трудозатраты на подготовку входных данных были снижены в два раза по сравнению с традиционным методом, что особенно критично при работе с множеством элементов в составе сложных конструкций.

Интеграция позволила упростить цикл «модель — расчет», сделав его более технологичным, автоматизированным и надежным. Анализ показал, что полученный способ может быть эффективно применен в инженерной практике, в том числе при создании цифровых двойников конструкций, где необходима постоянная связь между геометрической моделью и аналитическим расчетом. Наряду с этим был выявлен ряд ограничений, связанных с односторонним характером передачи данных и необходимостью строгого соблюдения структуры входного файла. Тем не менее они не снижают общей ценности предложенного подхода.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что автоматизированная интеграция расчетных модулей и информационных моделей на базе отечественного программного обеспече-

ния возможна и эффективна, а дальнейшее развитие подобных решений будет способствовать повышению производительности труда, снижению количества ошибок и внедрению принципов сквозной цифровизации в строительной отрасли.

### Список источников

1. Ren R. BIM Interoperability for Structure Analysis / R. Ren, J. Zhang, H. Dib // Construction Research Congress. — 2018. — Pp. 470–479.
2. Дитин А. Е. Интеграция информационной модели с расчетными комплексами / А. Е. Дитин, Е. Р. Кирколуп // Ползуновский альманах. — 2025. — № 1. — С. 65–67.
3. Свинцов С. Е. Осуществление динамической связи между информационными и расчетными моделями с помощью внешнего источника исходных данных / С. Е. Свинцов // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. — СПб.: СПбГАСУ, 2025. — С. 402–412.
4. Ma L. Analysis of BIM technology applications in structural design / L. Ma, Y. Huo, Y. Zhang, W. Cheng // Advances in Engineering Innovation. — 2024. — № 14. — Pp. 55–59.
5. Плевков В. С. Особенности расчета прочности нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов с использованием областей относительного сопротивления / В. С. Плевков, И. В. Балдин, Р. А. Плевков // Строительство и реконструкция. — 2017. — № 1. — С. 56–66.
6. Боль Д. В. Составление диаграмм предельных состояний для расчета железобетонных элементов мостовых сооружений / Д. В. Боль, Г. И. Богданов // Научный журнал строительства и архитектуры. — 2024. — № 4(76). — С. 114–122.
7. Lee H. Optimum RC column reinforcement considering multiple load combinations / H. Lee, M. Aschheim, E. Hernández-Montes, L. Gil-Martín // Structural and Multidisciplinary Optimization. — 2008. — Vol. 36. — Pp. 217–234.
8. Bleyer J. Numerical Yield Design Analysis of High-Rise Reinforced Concrete Walls in Fire Conditions / J. Bleyer, D. T. Pham, P. de Buhan. — 2018.

9. Белокопытова И. А. Арбат — программа для расчета железобетонных строительных конструкций / И. А. Белокопытова, Э. З. Криксунов, М. А. Микитаренко, М. А. Перельмутер // *Архитектура и строительство*. — 2001. — № 4(9). — С. 59–63.

10. Свид. 2024683071 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «*Диаграммы предельных состояний по условию прочности для стержневых железобетонных элементов прямоугольного поперечного сечения*» / Д. В. Боль. — 2024.

Дата поступления: 18.06.2025

Решение о публикации: 22.07.2025

**Контактная информация:**

БОЛЬ Дмитрий Викторович — аспирант;  
dvsbol1240@gmail.com

СВИНЦОВ Степан Евгеньевич — аспирант;  
stiwosv@gmail.com

ЛЕДЯЕВ Александр Петрович — д-р техн. наук, проф.;  
ledyaev@yandex.ru

## Integration of BIM-Based Pier Model with Limit State Diagram Calculations

D. V. Bol, S. E. Svintsov, A. P. Ledyayev

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Bol D. V., Svintsov S. E., Ledyayev A. P. Integration of BIM-Based Pier Model with Limit State Diagram Calculations // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 3, pp. 750–760. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-750-760

### Summary

The integration of calculation modules and information modelling (BIM) represents a contemporary trend in the digitalisation of design processes within the construction industry. At present, there is a lack of solutions providing a comprehensive exchange of engineering data between the BIM model and calculation modules without using intermediate converters or manual input. **Purpose:** The experimental verification of the possibility of unilateral integration of a digital information model (DIM) built in the nanoCAD BIM Construction environment with the Limit State Diagrams calculation web application was conducted based on the external data source in Excel format. **Methods:** Engineering modelling, parameterization of a reinforced concrete structural element, data structuring using spreadsheet formats, automated data transfer between systems, and comparative and visual analysis to assess the accuracy and robustness of the results. The approach is based on format compatibility principles eschewing the use of custom APIs or external scripts. **Results:** The transfer of geometric, material, and reinforcement parameters from the BIM model to the analytical module has been demonstrated to ensure complete reproducibility of the calculated diagram, eliminate common input errors, and reduce the time required for data preparation by twofold compared to manual entry. **The practical significance:** The integration of the proposed approach into physical design processes and its potential for organising bilateral data exchange between BIM models and calculation modules within the framework of building structure digital twins have been demonstrated.

**Keywords:** Information modelling technologies, Building Information Modelling (BIM), Digital Information Model, software integration, parametric modelling, limit state diagrams, interaction diagrams.

## References

1. Ren R., Zhang J., Dib H. N. BIM Interoperability for Structure Analysis. Construction Research Congress, 2018, pp. 470–479.
2. Ditin A. E., Kirkolup E. R. Integratsiya informatsionnoy modeli s raschetnyimi kompleksami [Integration of information model with calculation complexes]. *Polzunovskiy al'manakh* [Polzunovsky almanac]. 2025, Iss. 1, pp. 65–67. (In Russian)
3. Svintsov S. E. Osushchestvleniye dinamicheskoy svyazi mezhdru informatsionnymi i raschetnyimi modelyami s pomoshch'yu vneshnego istochnika iskhodnykh dannykh [Implementation of dynamic link between information and calculation models using external data source]. *Informatsionnoye modelirovaniye v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury* [Information modeling in construction and architecture tasks]. St. Petersburg: SPbGASU Publ., 2025, pp. 402–412. (In Russian)
4. Ma L., Huo Y., Zhang Y., Cheng W. Analysis of BIM technology applications in structural design. *Advances in Engineering Innovation*, 2024, Iss. 14, pp. 55–59.
5. Plevkov V. S., Baldin I. V., Plevkov R. A. Osobennosti rascheta prochnosti normal'nykh secheniy zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s ispol'zovaniem oblastey otnositel'nogo soprotivleniya [Features of strength calculation of normal sections of reinforced concrete bending elements using relative resistance areas]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and reconstruction]. 2017, Iss. 1, pp. 56–66. (In Russian)
6. Bol D. V., Bogdanov G. I. Sostavleniye diagramm predel'nykh sostoyaniy dlya rascheta zhelezobetonnykh elementov mostovykh sooruzheniy [Compilation of limit state diagrams for calculation of reinforced concrete elements of bridge structures]. *Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury* [Scientific journal of construction and architecture]. 2024, Iss. 4(76), pp. 114–122. (In Russian)
7. Lee H., Aschheim M., Hernández-Montes E., Gil-Martín L. Optimum RC column reinforcement considering multiple load combinations. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2008, vol. 36, pp. 217–234.
8. Bleyer J., Pham D. T., de Buhan P. Numerical Yield Design Analysis of High-Rise Reinforced Concrete Walls in Fire Conditions, 2018.
9. Belokopytova I. A., Kriksunov E. Z., Mikitarenko M. A., Perel'muter M. A. Arbat — programma dlya rascheta zhelezobetonnykh stroitel'nykh konstruktsiy [Arbat — program for calculation of reinforced concrete construction structures]. *Arkhitektura i stroitel'stvo* [Architecture and construction]. 2001, Iss. 4(9), pp. 59–63. (In Russian)
10. Bol' D. V. *Diagrammy predel'nykh sostoyaniy po usloviyu prochnosti dlya sterzhnevnykh zhelezobetonnykh elementov pryamougol'nogo poperechnogo secheniya* [Limit state diagrams for strength condition of rod reinforced concrete elements with rectangular cross-section]. Svidetel'stvo RF, no. 2024683071, 2024. (In Russian)

Received: June 18, 2025

Accepted: July 22, 2025

### Author's information:

Dmitrii V. BOL — Postgraduate Student;

dvbol1240@gmail.com

Stepan E. SVINTSOV — Postgraduate Student;

stiwosv@gmail.com

Aleksande P. LEDYAEV — Dr. Sci. in Engineering,

Professor; ledyaev@yandex.ru