

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 3 / 2024, Vol. 16, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/54SAVN324.pdf>

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Скосырская, А. Д. Сравнительный анализ программных комплексов по расчету и моделированию мостовых сооружений / А. Д. Скосырская, Д. Ю. Диц, А. Н. Маринин // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/54SAVN324.pdf>

**For citation:**

Skosyrskaya A.D., Deatz D.Yu., Marinin A.N. Comparative analysis of software systems for the calculation and modeling of bridge structures. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(3): 54SAVN324. Available at: <https://esj.today/PDF/54SAVN324.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 69.04

**Скосырская Анастасия Дмитриевна**

ФГАОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
E-mail: skosyrskayanastya13@gmail.com

**Диц Денис Юрьевич**

ФГАОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
E-mail: deatzdenis@gmail.com

**Маринин Александр Николаевич**

ФГАОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
ФГБОУ ВО «Краснодарский государственный технологический университет», Краснодар, Россия  
Доцент  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: a-marinin@yandex.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1848-730X>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=625628](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=625628)

## Сравнительный анализ программных комплексов по расчету и моделированию мостовых сооружений

**Аннотация.** В статье представлен сравнительный анализ таких программных комплексов как Лира 10, SOFiSTiK и Midas Civil, используемых для расчетов мостовых конструкций. Целью исследований является сравнение, а также определение наиболее оптимального и эффективного решения.

Авторами были описаны основные возможности по расчету мостовых сооружений каждого из программных комплексов, рассмотренных в статье. В частности, для определения напряженно-деформированного состояния, а также для определения собственных частот колебаний.

Для анализа напряженно-деформированного состояния использовалась конструкция разрезного железобетонного балочного пролетного строения. Для динамического расчета, был принят металлический пешеходный мост, представляющий собой две металлические фермы с треугольной решёткой и вертикальными стойками из горячекатаного профиля.

Полученные результаты расчетов позволили проверить их сходимость и выявить отклонения. Сравнение величин показывает, что программный комплекс в рассмотренных задачах SOFiSTiK выдает заниженные значения по сравнению с другими.

Результатом динамического расчета стал график зависимости собственных частот от формы колебаний, отражающий сходство значений программных комплексов Лира 10 и Midas Civil, но при том же количестве форм колебаний SOFiSTiK показывает заниженные результаты частот, а значит деформации в нем выше.

В заключении авторами формируется таблица сравнения возможностей и удобства использования программных комплексов, в которой сведены достоинства и недостатки каждого из рассматриваемых программных комплексов.

**Ключевые слова:** мостовое сооружение; расчетный анализ; сравнительный анализ; программный комплекс; Лира 10; Midas Civil; SOFiSTiK; сравнение; напряженно-деформированное состояние

## Введение

Применение расчетных программных комплексов в проектировании строительных сооружений является важной и неотъемлемой частью строительного процесса, обеспечивающую еще на начальном этапе высокую надежность, точность и безопасность принимаемых проектных решений.

Строительство мостовых сооружений является перспективным направлением, играющим важную роль в развитии инфраструктуры России. При численном моделировании и расчёте строительных конструкций необходимо использовать апробированные, эффективные и зарекомендовавшие себя в сфере проектирования, расчётные программные комплексы, что в свою очередь позволит повысить скорость, точность и надежность проектирования [1].

## 1. Актуальность исследований

В наши дни российские проектировщики сталкиваются с проблемой нехватки доступного и эффективного программного обеспечения (ПО) для расчёта строительных конструкций, а также мостовых сооружений.

Сейчас наиболее актуален вопрос импортозамещения расчетных программных комплексов (ПК) отечественным продуктом или использование иностранных аналогов, разработчики которых готовы к сотрудничеству, независимо от внешних факторов [2].

Основная цель данной статьи заключается в осуществлении сравнительного анализа ведущих программных продуктов, применяемых для расчета мостовых сооружений. Цель этого анализа — определить наиболее оптимальное и эффективное решение.

В ходе исследования будут рассмотрены следующие программные продукты: SOFiSTiK, созданный компанией SOFiSTiK AG из Германии, Midas Civil, разработанный компанией из Южной Кореи MIDAS IT Co., Ltd, а также отечественная программа Лира 10 от компании ООО «ЛИРА софт».

Эти программные комплексы были выбраны для рассмотрения, поскольку они активно используются российскими инженерами для расчета мостовых сооружений. Несмотря на то, что функционал рассматриваемых программных комплексов неоднократно описывался разными авторами [3–10], дополнительный анализ функциональных и технических возможностей этих программных комплексов даст возможность выявить оптимальный продукт для расчета мостовых сооружений в современных условиях, когда вопрос импортозамещения имеет особую актуальность.

## 2. Описание программных комплексов, применяемых для расчета мостовых сооружений

**ПК Лира 10** — широко применяемый в нашей стране программный комплекс является универсальным инструментом для численного анализа прочности, устойчивости и автоматизированного проектирования строительных конструкций. Его разработка и постоянное совершенствование ведется с учетом интеграции в современные технологии информационного моделирования (BIM).<sup>1</sup>

Данный программный комплекс зарекомендовал себя как надежное решение для профессиональных инженеров-конструкторов, в том числе и проектировании транспортных сооружений [11].

Основные характеристики и возможности программного комплекса Лира 10 по заявлению разработчиков включают:

- Высокую производительность и точность расчетов.
- Модульную структуру для решения различных типов задач анализа.
- Интеграцию с другими программами и системами, такими как NanoCAD, Model Studio CS, Renga Structure и другие.
- Продвинутый графический интерфейс, специализированный под решение строительных задач.
- Различное множество модулей.
- Наличие сертификатов соответствия нормам проектирования Российской Федерации.
- Постоянные обновления и поддержку продукта компании.

ПК Лира 10 используется для расчета мостов, зданий и других сооружений. Данное программное обеспечение часто используют в строительной области и в научных исследованиях, благодаря чему обеспечивается безопасность и надежность строения.

**Midas Civil** — это программный комплекс для моделирования и расчетного анализа мостов, транспортных сооружений и строительных объектов различного назначения.<sup>2</sup>

Ключевыми особенностями Midas Civil являются:

- моделирование мостовых сооружений;
- проведение расчетов в соответствии с нормами проектирования РФ;
- широкая вариация задания сочетаний нагрузок для получения разных результатов: реакции, деформации, усилия и др.;
- автоматическое отображение табличных данных в виде графиков с необходимыми настройками в диалоговых окнах;
- постпроцессор, автоматически создающий сочетания нагрузок в соответствии с указанными нормами проектирования;

<sup>1</sup> ПК ЛИРА 10 — Программа для расчета и проектирования строительных конструкций URL: <https://lira-soft.com/> (дата обращения: 30.05.2024).

<sup>2</sup> Midas Civil NX // MIDAS IT: расчетные комплексы midas Civil и midas GTS NX URL: <https://midasoft.ru/products/midas-civil/> (дата обращения: 30.05.2024).

- возможность создания дополнительных сочетаний нагрузок в ручном режиме или изменения существующих сочетаний;
- визуализация результатов расчета с помощью эпюр, изополей и реакций;
- простой и интуитивно понятный интерфейс;
- локализация программы под российского пользователя;
- наличие сертификата соответствия нормам проектирования РФ.

**SOFiSTiK** — это программное обеспечение, использующее в своей основе метод конечно-элементного анализа (МКЭ) для расчета и проектирования строительных конструкций.<sup>3</sup> Данная программа способна решать различные задачи, обладает модульной структурой, благодаря чему можно выбрать необходимые модули для построения и моделирования конструкций.

Главные особенности SOFiSTiK перечислены ниже:

- модульная структура для построения и моделирования конструкций;
- интеграция с другими программами и системами, такими как AutoCAD, NanoCAD, Revit и другие;
- функциональный интерфейс с множеством различных возможностей для построения расчетных схем;
- параметризация расчетов;
- большая вариация различных модулей для многих типов строительных задач;
- наличие сертификата соответствия нормам проектирования Российской Федерации (РФ).

### 3. Возможности по расчету мостовых сооружений

#### *ПК Лира 10.*

В ПК **Лира 10** предусмотрен специальный модуль «Мост» для расчета мостовых сооружений.<sup>4</sup> Данный модуль специально применяется для построения линий влияния и определения усилий от подвижных нагрузок, а также расчета их комбинаций при динамическом и статическом воздействии.

Данный модуль также позволяет выполнять конструктивный расчет моста, моделировать и задавать временные движущиеся нагрузки от пешеходов, транспортных средств (АК) и нагрузки от одиночной четырехосной тележки (НК) согласно СП 35.13330.2011.<sup>5</sup> К сожалению, программой не предусмотрено задание временной железнодорожной нагрузки.

На основе определенных усилий модуль формирует расчетные сочетания нагрузок и усилий. Также стоит отметить, что модуль предоставляет возможность выполнять расчеты для многоярусных мостов.

<sup>3</sup> SOFiSTiK FEM, BIM and CAD Software for Structural Engineers URL: <https://www.sofistik.com/> (дата обращения: 30.05.2024).

<sup>4</sup> Модуль Мост // Модули ПК ЛИРА 10 URL: [https://lira-soft.com/pc\\_lira/modules/#Модуль%20Мост](https://lira-soft.com/pc_lira/modules/#Модуль%20Мост) (дата обращения: 30.05.2024).

<sup>5</sup> СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\* (с Изменением N 1, 2, 3): дата введения 2010-12-28. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 346 с.

Модуль «Мост» предоставляет множество способов создания траекторий движения: вручную по координатам, с помощью привязки, а также копированием уже созданных траекторий (рис. 1). Что может значительно упростить работу с исходными данными для многополосных и различных уникальных мостов.

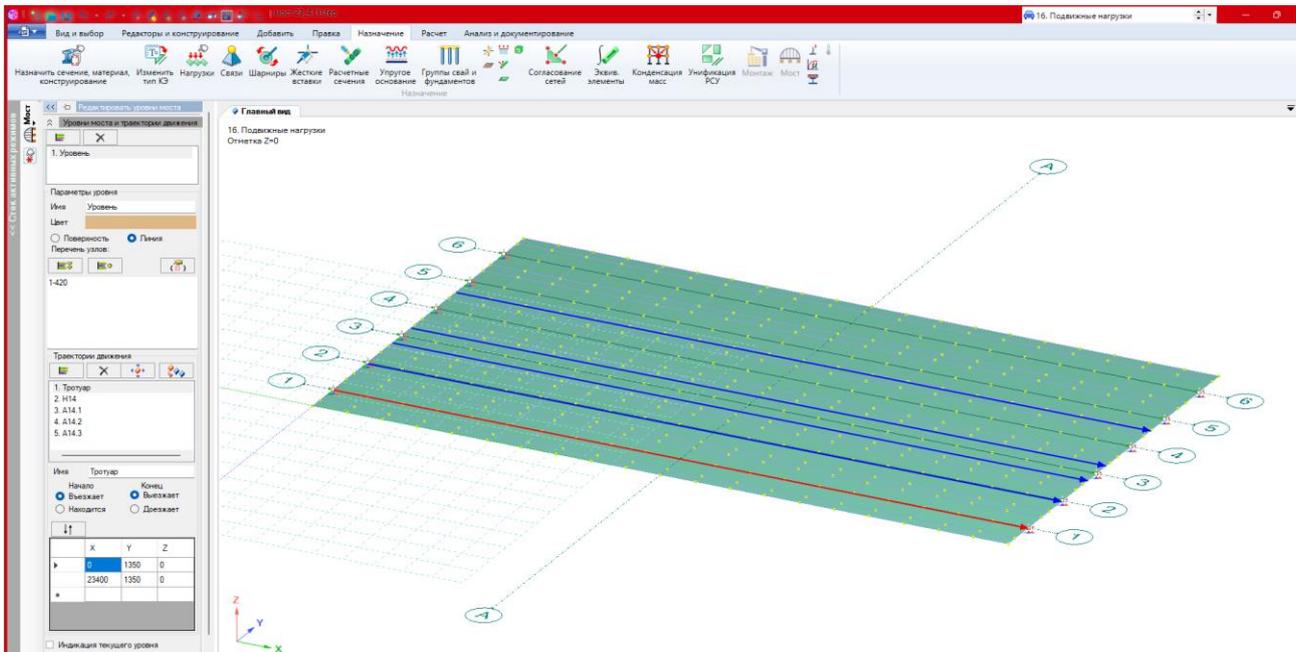


Рисунок 1. Пример работы в модуле «Мост» (составлено авторами)

### *Midas Civil.*

Графический интерфейс Midas Civil обеспечивает развитые возможности для работы с пространственными моделями. В структуре заданий можно контролировать процесс моделирования расчетной схемы, а также быстро редактировать её или добавлять к ней новые элементы.

Midas Civil предоставляет различные способы визуализации модели, включая просмотр «каркасной» модели, назначение прозрачности для отдельных элементов и использование окна визуализации. Это помогает корректностью создаваемой схемы. Проектировщик может в любой момент изменять свойства элементов, прилагаемых нагрузок и связей.

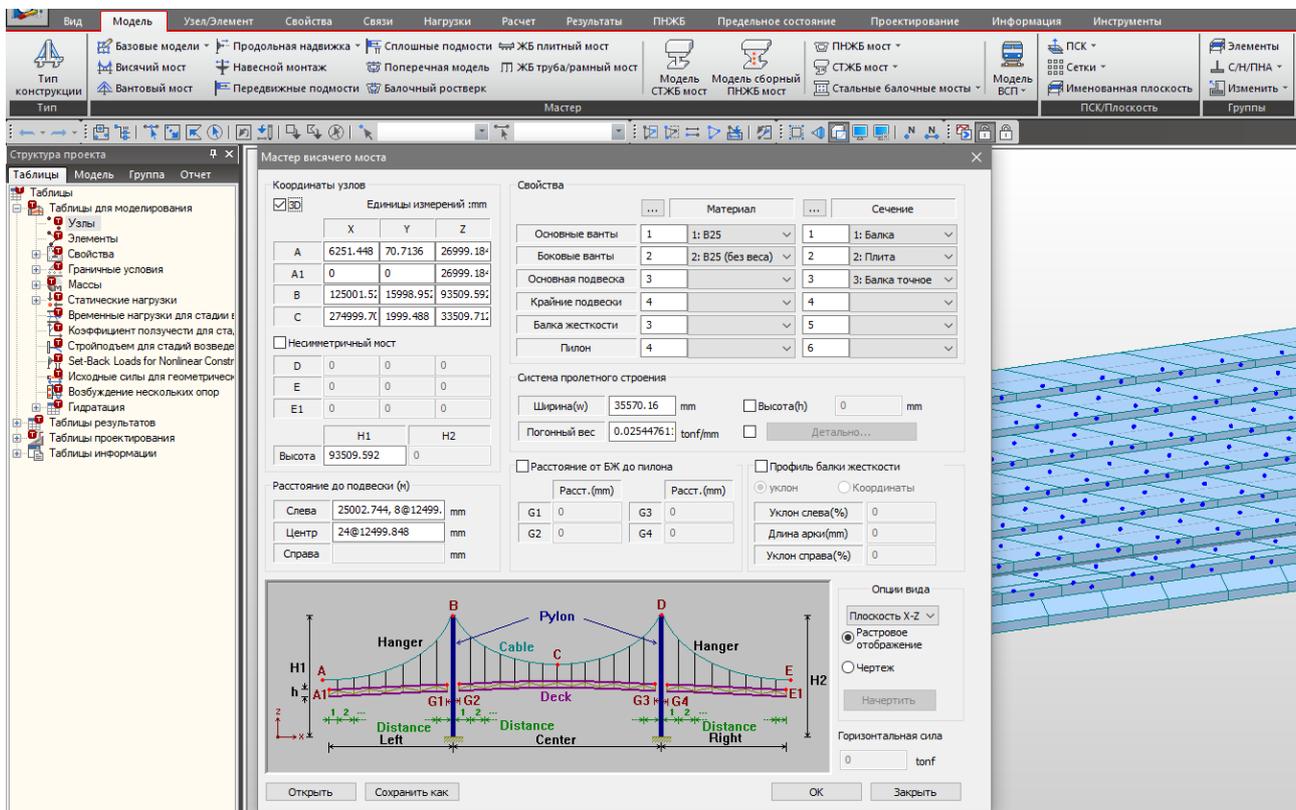
В программном комплексе предоставляется обширная библиотека материалов, основанная на различных нормативных документах таких как: нормы проектирования РФ, Eurocode, и другие. Поддерживается возможность использования ортотропных материалов.

Также предоставляются различные шаблоны, которые позволяют быстро создавать расчетные схемы<sup>6</sup>:

- Висячий мост: по основным размерам конструкции в табличном виде создается геометрическая модель пролетного строения (рис. 2).
- Вантовый мост: также как и в шаблоне висячего моста, задаются в таблице геометрические характеристики, присваиваются материалы и сечения.

<sup>6</sup> Информатика в строительстве (с основами математического и компьютерного моделирования): учебное пособие / коллектив авторов; под ред. П.А. Акимова. — М.: КНОРУС, 2017. — 420 с.

- Мост, возводимый методом продольной надвигки: для создания пролетного строения и аванбека, в всплывающем окне необходимо присвоить материал, сечение и геометрию, следом указать граничные условия и расположение преднапряженных канатов.
- Мост, возводимый методом навесного монтажа: первоначально задаются геометрические характеристики, следом указываются используемые материалы, параметры присваиваемого сечения и нагрузку, сосредоточенную на краю консоли.
- Мост, возводимый методом перемещаемых временных подмостей: необходимо заполнить графы аналогичные тем, которые заполняются при создании шаблона моста возводимого продольной надвигкой.
- Мост, возводимый методом перемещаемых временных опор: сперва необходимо ввести геометрические значения элементов в опоре, стыке, пролете и расположении канатов.
- Мост, возводимый путем объединения главных балок: при использовании данного шаблона необходимо заполнить характеристики часто применяющихся в других шаблонах и добавить значения прилагаемых нагрузок.
- Рамный мост: сначала задаются геометрические характеристики конструкции, сечения элементов, используемые материалы и нагрузки, прилагаемые к схеме.



*Рисунок 2. Создание расчётной схемы при помощи шаблона висячего моста (составлено авторами)*

Хочется отметить, что в большинстве случаев предусмотрено автоматическое задание стадий монтажа и преднапряженное состояние железобетонных конструкций.

## SOFiSTiK.

Программный комплекс SOFiSTiK использует объектно-ориентированный и параметрический подход к проектированию мостов и тоннелей. Для работы с мостовыми конструкциями в SOFiSTiK реализован специализированный препроцессор CABD (Computer Aided Bridge Design), который обеспечивает возможности по моделированию и описанию параметров мостов любой геометрической сложности.<sup>7</sup> Данный инструмент поддерживает технологию информационного моделирования строительных конструкций (BIM).

CABD — модуль в программном комплексе SOFiSTiK, который позволяет генерировать мостовые системы с привязкой к соответствующему выравниванию. Например, в качестве референции можно использовать ось дороги (рис. 3).

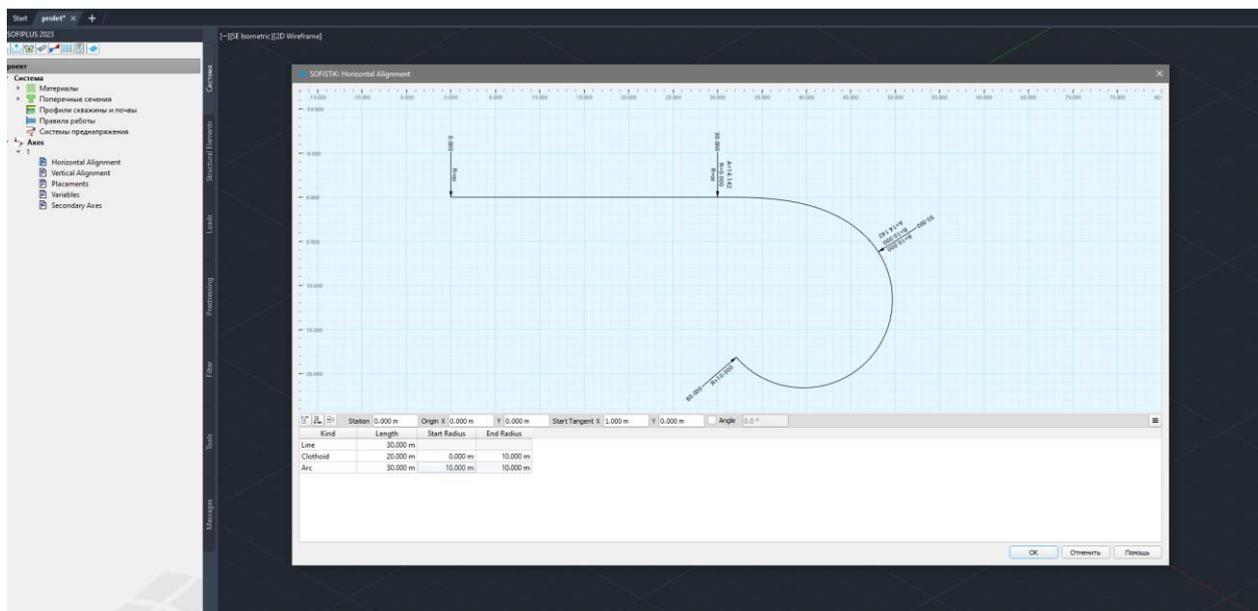


Рисунок 3. Задание оси моста в модуле CABD (составлено авторами)

Препроцессор CABD имеет ряд особенностей, таких как:

Разделение геометрии и структуры, то есть геометрических осей и структурной модели моста. Это позволяет быстро и легко внедрять любые изменения геометрических параметров в новую расчётную модель.

Определение специальных точек (так называемых размещений) вдоль определённой оси с дальнейшей соответствующей информацией о зависимостях, таких как строительные соединения, поперечины и расположение опор.

Возможность изменения поперечного сечения моста по его длине путём назначения переменных вдоль оси. Например, с помощью этих переменных можно определить сложные изменения поперечного сечения и эффективную ширину.

Есть возможность задания полос движения, анализа и оценки воздействия внешних подвижных нагрузок, в том числе согласно норм РФ, используя линии и поверхности влияния.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Bridge Design. CABD-Concept. — SSD Version 2010-5. — Nuremberg: SOFiSTiK AG, 2009. — 56 p.

Parametrics in Bridge Design (CABD) // SOFiPLUS 2022 URL: <https://docs.sofistik.com/2022/en/sofiplus/cabd/cabd.html> (дата обращения: 30.05.2024).

<sup>8</sup> ELLA. Extended Live Load Analysis. — ELLA Manual, Service Pack 2024-3 Build 144. — Nuremberg: SOFiSTiK AG, 2024. — 102 p.

Кроме того, в SOFiSTiK интегрированы средства для моделирования различных способов возведения мостовых конструкций, включая «пополетную сборку», надвижку, метод уравновешенной консоли и другие технологии.<sup>9</sup>

Исходя из этого с помощью модуля CABD, программный комплекс SOFiSTiK дает возможность спроектировать цифровую модель моста, вне зависимости от сложности и при полной соответствии нормам проектирования РФ.

#### 4. Возможности по динамическому расчету

Немаловажной задачей при проектировании современных мостовых сооружений является их расчет на динамическую нагрузку, в том числе и сейсмическую, учет колебаний, определение резонанса и тому подобное. Всё это необходимо для того, чтобы уже на стадии проектирования конструкций избежать резонанса и других аварийных ситуаций [12].

Все рассматриваемые в данной статье программные комплексы имеют функционал по динамическому расчету.

##### *ПК Ли́ра 10.*

ПК Ли́ра 10 — это программный комплекс, широко используемый в России для структурного анализа и проектирования, включая расширенные динамические расчеты.<sup>10</sup>

Виды динамического анализа:

- Модальный анализ: ПК Ли́ра 10 может выполнять модальный анализ для определения собственных частот и форм колебаний конструкции, которые необходимы для последующих динамических расчетов.
- Анализ временного нагружения: программное обеспечение поддерживает анализ временного нагружения, что позволяет инженерам оценивать производительность конструкций при определенных нагрузках, таких как сейсмические события или эксплуатационные нагрузки.
- Спектральный анализ: эта функция позволяет использовать спектры отклика для сейсмического анализа в соответствии с различными нормами проектирования.

Моделирование нагрузки:

- В ПК Ли́ра 10 применяются следующие типы динамических нагрузок: сейсмические, подвижные и любые пользовательские динамические нагрузки. Гибкость программного обеспечения при моделировании различных типов динамических воздействий является существенным преимуществом.
- Это также позволяет накладывать друг на друга различные нагрузки для моделирования сложных сценариев нагружения.

Нелинейный динамический анализ:

- ПК Ли́ра 10 оснащен всем необходимым для проведения нелинейного динамического анализа с учетом нелинейности материала (например, пластических деформаций), геометрической нелинейности и нелинейности граничных условий.

<sup>9</sup> CSM. Construction Stage Manager. — CSM Manual, Service Pack 2024-3 Build 144. — Nuremberg: SOFiSTiK AG, 2024. — 131 p.

<sup>10</sup> Модуль Динамика плюс // Модули ПК ЛИРА 10 URL: [https://lira-soft.com/pc\\_lira/modules/#Модуль%20Динамика%20плюс](https://lira-soft.com/pc_lira/modules/#Модуль%20Динамика%20плюс) (дата обращения: 30.05.2024).

Анализ результатов:

- ПК Лира 10 предоставляет комплексные инструменты для визуализации динамических реакций, включая анимацию, которая показывает, как ведут себя конструкции при динамической нагрузке.
- Выходные данные включают подробные отчеты и графики, которые помогают интерпретировать и представлять результаты, облегчая принятие решений и оптимизацию дизайна.

Также необходимо учитывать, что данный программный комплекс является разработкой отечественной компании, которая не зависит от политической ситуации в мире.

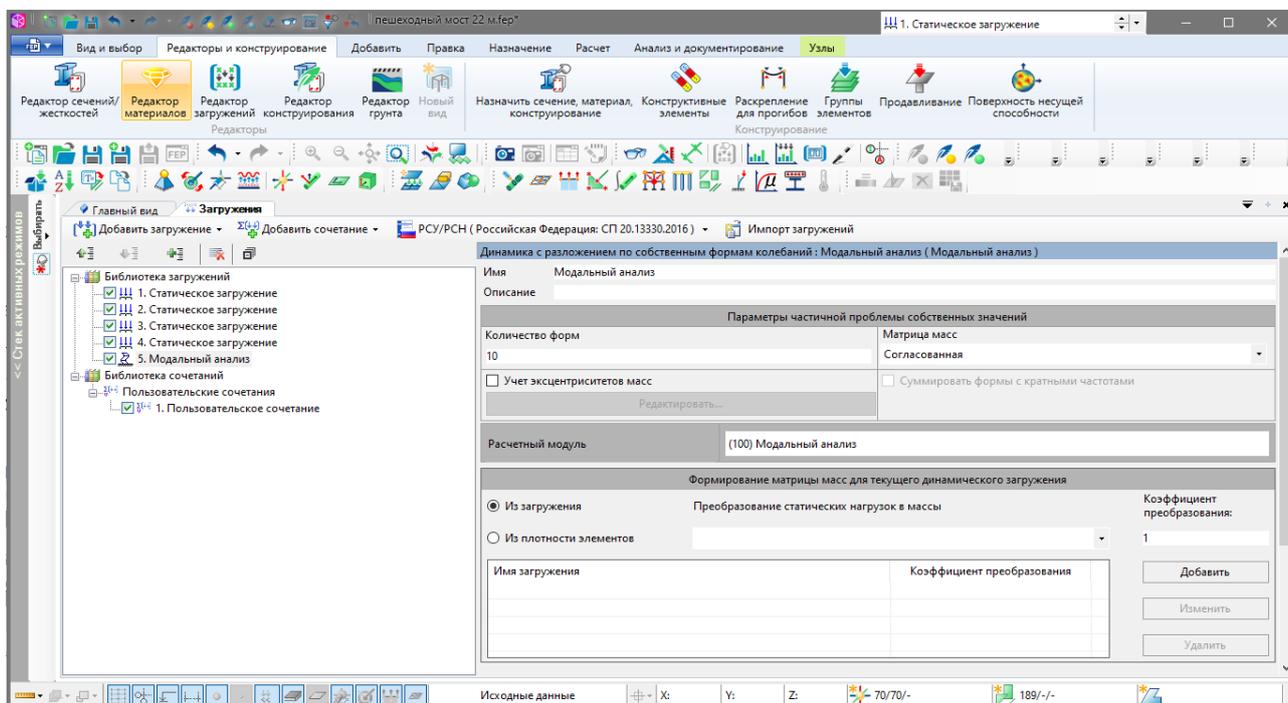


Рисунок 4. Сбор масс для модального анализа (составлено авторами)

### *Midas Civil.*

Midas Civil также имеет возможности для проведения динамического анализа различных мостовых сооружений.<sup>11</sup>

Виды динамического анализа:

- Модальный анализ: определяет собственные частоты и формы колебаний конструкции, которые имеют решающее значение для понимания ее динамического поведения.
- Динамический анализ: моделирует реакцию конструкций на динамические нагрузки с течением времени, используя линейный или нелинейный подходы. Это особенно полезно для оценки воздействия сейсмических событий, нагрузок от транспортных средств или других временных воздействий.
- Спектральный анализ: использует спектры откликов различных сейсмических кодов для оценки реакции конструкций при землетрясении, обеспечивая более быструю альтернативу анализу временного воздействия.

<sup>11</sup> Dynamic Analysis // midas Civil URL: <https://www.midasoft.com/civil-feature-dynamic-analysis> (дата обращения: 30.05.2024).

Моделирование нагрузки:

- Midas Civil позволяет проводить детальное моделирование динамических нагрузок. Включает сейсмические нагрузки, подвижные нагрузки (например, транспортные средства на мосту) и гармонические нагрузки (например, вибрации механизмов).
- Программное обеспечение может обрабатывать несколько одновременных динамических нагрузок, обеспечивая реалистичный сценарий для сложных конструкций.

Нелинейные возможности:

- Программное обеспечение включает в себя опции для нелинейного динамического анализа, которые могут учитывать нелинейность материала (например, текучесть стали или растрескивание бетона), геометрическую нелинейность (большие смещения) и нелинейность границ (например, взаимодействие грунта и структуры).

Соответствие нормам проектирования:

- Midas Civil соответствует мировым стандартам проектирования, в том числе нормам Российской Федерации. Что гарантирует соответствие анализа последним стандартам безопасности и проектирования.

Обработка результатов:

- Программное обеспечение предоставляет подробные параметры вывода, включая графики, таблицы и анимацию реакций. Это помогает инженерам лучше понимать динамическое поведение конструкций.
- Результаты динамического анализа могут быть использованы для дальнейшего проектирования и оптимизации, гарантируя эффективность конструкций и соответствие стандартам безопасности.

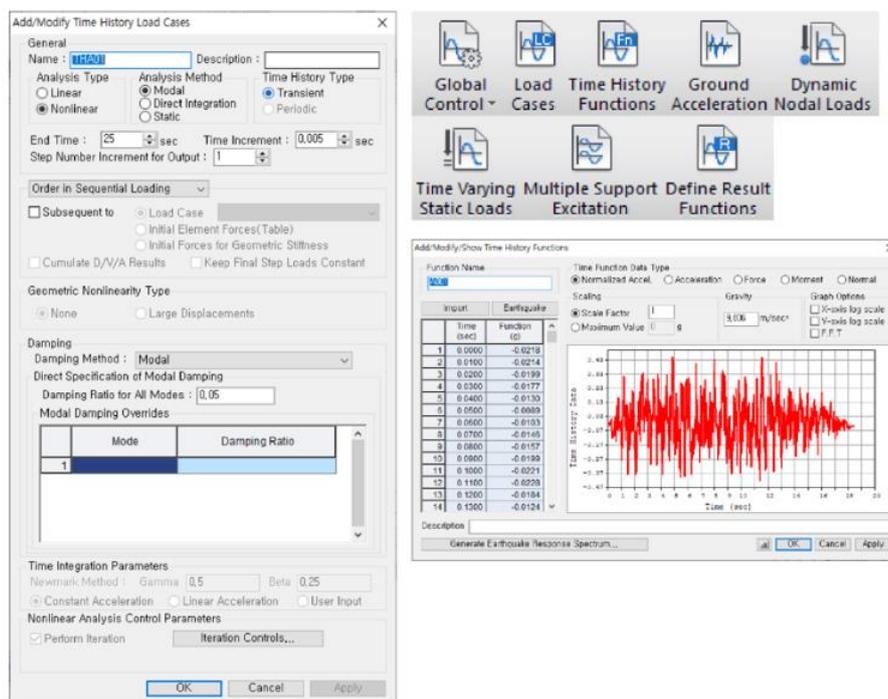


Рисунок 5. Возможности по динамическому расчету в Midas Civil<sup>11</sup>

Можно сказать, что Midas Civil является хорошим инструментом в руках опытного инженера-проектировщика, особенно при расчете на динамические воздействия и дает понимание поведения конструкции при учете её безопасности и соответствии с необходимыми нормативами.

### ***SOFiSTiK.***

Динамический анализ в SOFiSTiK выполняется с помощью модулей Advanced Solution Engine (ASE)<sup>12</sup> и Dynamic Analysis (DYNA)<sup>13</sup>, которые являются достаточно мощными инструментами для проведения динамического анализа конструкций.

Он особенно полезен в сценариях, где конструкции подвергаются динамическим нагрузкам, таким как землетрясения, столкновения с транспортными средствами или другие явления.

Типы анализа:

- **Линейный динамический анализ:** для конструкций, реагирующих в диапазоне упругости при динамических нагрузках. Этот анализ подходит для понимания начального динамического поведения конструкций.
- **Нелинейный динамический анализ:** полезен для сценариев, в которых реакция конструкции превышает предел упругости, что может привести к пластическим деформациям, растрескиванию или даже разрушению. Нелинейная динамика учитывает нелинейность материала, геометрическую нелинейность и нелинейность граничных условий.

Возможно моделировать различные динамические нагрузки. Такие как:

- **Сейсмические нагрузки:** моделирование движения грунта и его воздействия на конструкции.
- **Ударные нагрузки:** такие как столкновения или падение предметов, воздействующих на конструкцию.
- **Взрывные нагрузки:** взрывы и их влияние на целостность конструкции.

При динамическом приложении нагрузки может быть выполнен анализ временного воздействия и записан отчет, позволяющий получить подробную картину поведения конструкции в динамических условиях.

Получение результатов:

- Программа предоставляет комплексные инструменты для обработки результатов динамического анализа. Это включает в себя визуализацию перемещений, напряжений и других соответствующих структурных реакций с течением времени.
- Инженеры могут оценивать безопасность и эксплуатационные характеристики конструкций в динамических условиях, принимая обоснованные решения о необходимых усилениях или модификациях конструкции.

---

<sup>12</sup> ASE. General Static Analysis of FE Structures. — ASE Manual, Service Pack 2024-3 Build 144. — Nuremberg: SOFiSTiK AG, 2024. — 216 p.

<sup>13</sup> DYNA. Dynamic Analysis. — DYNA Manual, Service Pack 2024-3 Build 144. — Nuremberg: SOFiSTiK AG, 2024. — 97 p.

### 5. Пример определения напряженно-деформированного состояния железобетонного балочного пролетного строения

Для оценки возможностей и удобства использования различных программ был произведен тестовый расчет конструкции железобетонного балочного пролетного строения моста.

Работа по созданию конечно-элементной модели начиналось с задания расчетной схемы. Параметры пролетного строения представлены в таблице 1, схема поперечника изображена на рисунке 6.

Таблица 1

#### Исходные данные

Расчётный пролет L, м	Высота балки h, м	Габарит проезжей части Г, м	Ширина полосы безопасности П, м	Число полос движения	Ширина тротуара Т, м	Ширина барьерного ограждения, м
23,4	1,2	10	1,5	2	1,5	0,5

Составлено авторами

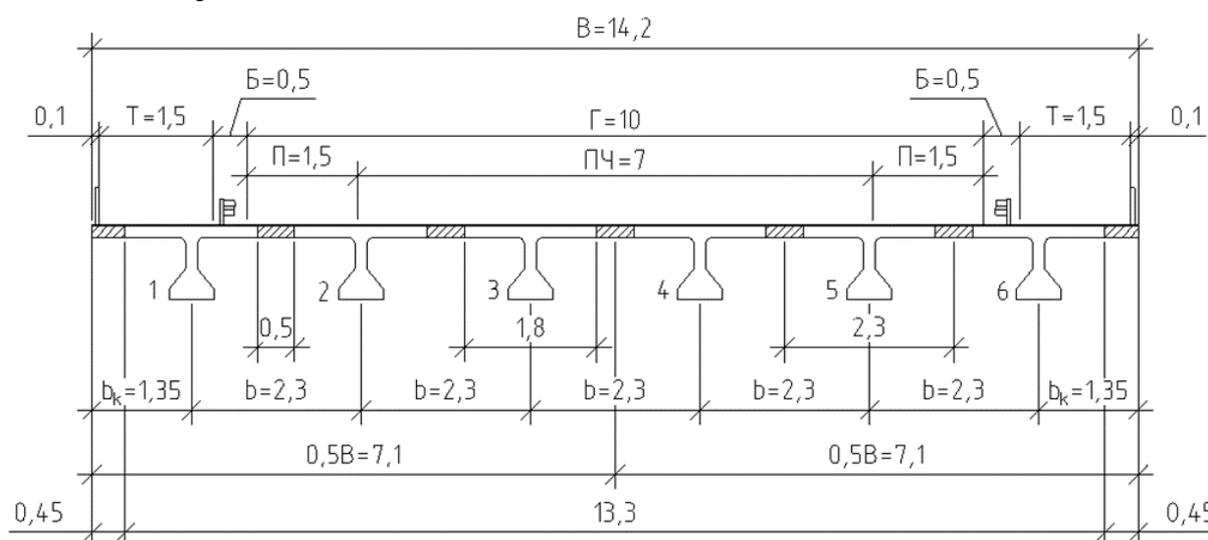


Рисунок 6. Схема поперечного сечения пролетного строения, используемой для расчета (размеры указаны в м) (составлено авторами)

На пролетное строение воздействуют постоянные и временные нагрузки.

Постоянные нагрузки:

- Нагрузка от собственного веса конструкций (определялись автоматически в программных комплексах).
- Нагрузка от веса дорожной одежды (табл. 2);

Таблица 2

#### Расчет нагрузки от веса покрытия проезжей части

Слой покрытия	Толщина слоя, м	Удельный вес, т/м <sup>3</sup>	Нормативная нагрузка, т/м <sup>2</sup>	Коэффициент надежности	Расчетная нагрузка, т/м <sup>2</sup>
Асфальтобетонное покрытие	0,09	2,4	0,2	1,5	0,3
Защитный слой	0,04	2,4	0,1	1,3	0,1
Гидроизоляция	0,006	1,7	0,01	1,3	0,01
Выравнивающий слой	0,045	2,4	0,1	1,3	0,1

Составлено авторами

Временные нагрузки:

- Пешеходная нагрузка.
- Нагрузка Н14.
- Нагрузка А14.

Временные нагрузки рассчитывались согласно СП 35.13330.2011.<sup>5</sup> В таблице 3 приведены сочетания постоянных и временных нагрузок для определения невыгодных загружений при определении усилий и деформаций в пролетном строении.

Таблица 3

Расчетные сочетания нагрузок

Сочетание	Загружение	Имя загрузки	Коэффициент к загрузению / коэффициент полостности	Коэффициент к расчетной нагрузке (коэффициент надёжности и динамический коэффициент)
1	1	Собственный вес	1	1,1
	2	Покрытие ПЧ	1	1,4
	3	Ограждение (перильное и барьерное)	1	1,1
2	1	Собственный вес	1	1,1
	2	Покрытие ПЧ	1	1,4
	3	Ограждение (перильное и барьерное)	1	1,1
	4	Пешеходная	2	1,2
3	1	Собственный вес	1	1,1
	2	Покрытие ПЧ	1	1,4
	3	Ограждение (перильное и барьерное)	1	1,1
	5	Н14 (сер.)	1	1,1
4	1	Собственный вес	1	1,1
	2	Покрытие ПЧ	1	1,4
	3	Ограждение (перильное и барьерное)	1	1,1
	6	Н14 (кр.)	1	1,1
5	1	Собственный вес	1	1,1
	2	Покрытие ПЧ	1	1,4
	3	Ограждение (перильное и барьерное)	1	1,1
	4	Пешеходная	1	1,2
	7	1 А14 тележка (сер.)	1	2,1
	8	2 А14 тележка (сер.)	0,6	2,1
	9	3 А14 тележка (сер.)	0,3	2,1
	13	1 А14 полосовая	1	1,15
	14	2 А14 полосовая	0,6	1,15
	15	3 А14 полосовая	0,3	1,15
6	1	Собственный вес	1	1,1
	2	Покрытие ПЧ	1	1,4
	3	Ограждение (перильное и барьерное)	1	1,1
	4	Пешеходная	1	1,2
	10	1 А14 тележка (кр.)	1	2,1
	11	2 А14 тележка (кр.)	0,6	2,1
	12	3 А14 тележка (кр.)	0,3	2,1
	13	1 А14 полосовая	1	1,15
	14	2 А14 полосовая	0,6	1,15
	15	3 А14 полосовая	0,3	1,15

Сочетание	Загружение	Имя загрузки	Коэффициент к загружению / коэффициент полостности	Коэффициент к расчетной нагрузке (коэффициент надёжности и динамический коэффициент)
7	4	Пешеходная	1	1,2
	7	1 А14 тележка (сер.)	1	2,1
	8	2 А14 тележка (сер.)	0,6	2,1
	9	3 А14 тележка (сер.)	0,3	2,1
	13	1 А14 полосовая	1	1,15
	14	2 А14 полосовая	0,6	1,15
15	3 А14 полосовая	0,3	1,15	
8	4	Пешеходная	2	1,2
9	5	Н14 (сер.)	1	1,1

Составлено авторами

### ПК Лира 10.

В ПК Лира 10 в однооконном режиме одновременно выполняются задание расчетной модели, расчет и просмотр результатов (рис. 7–11).

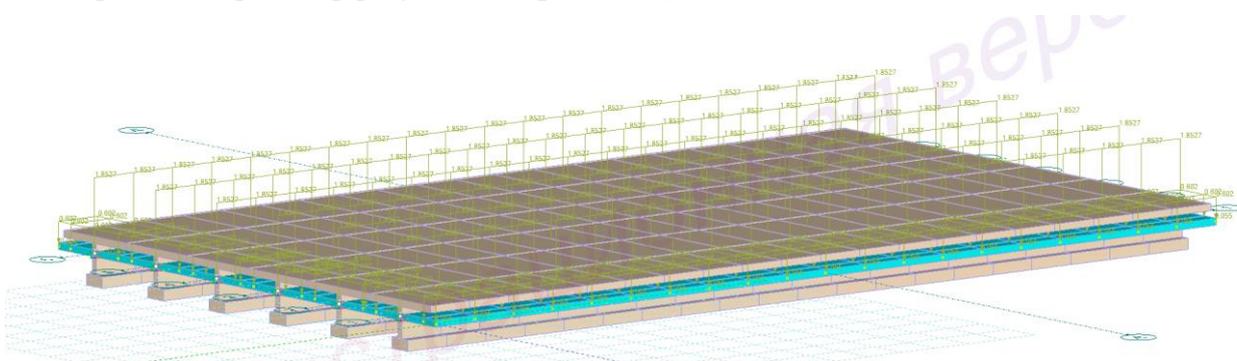


Рисунок 7. Расчетная схема в виде структурных элементов с приложенными нагрузками (составлено авторами)

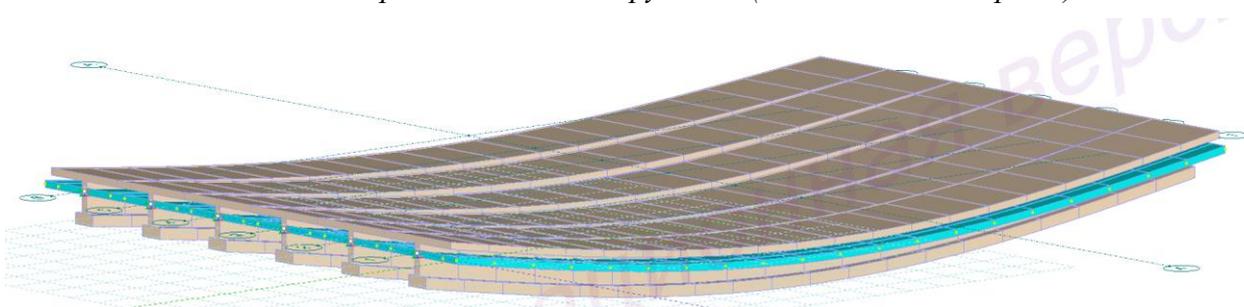


Рисунок 8. Деформированная конечно-элементная модель (составлено авторами)

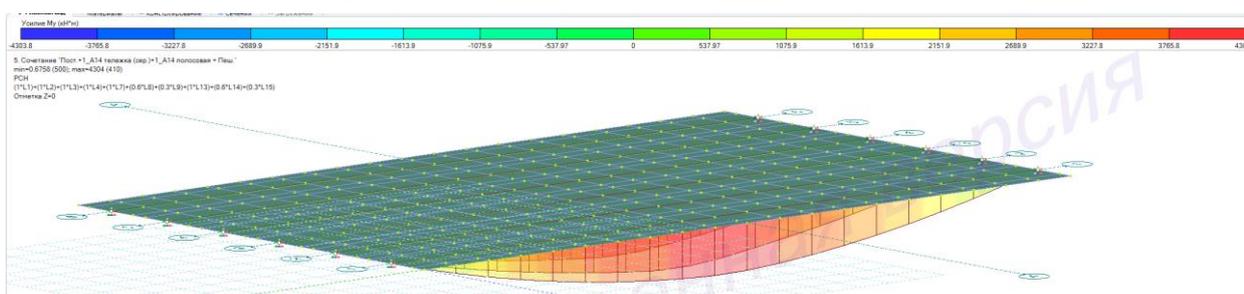


Рисунок 9. Эпюра изгибающих моментов  $M_x$  от сочетания № 5, тс·м (составлено авторами)

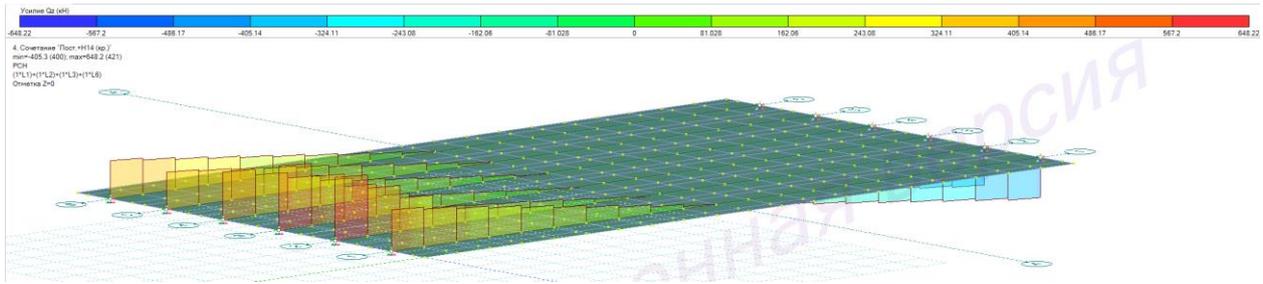


Рисунок 10. Эпюра поперечных сил  $Q_z$  от сочетания № 4, тс (составлено авторами)

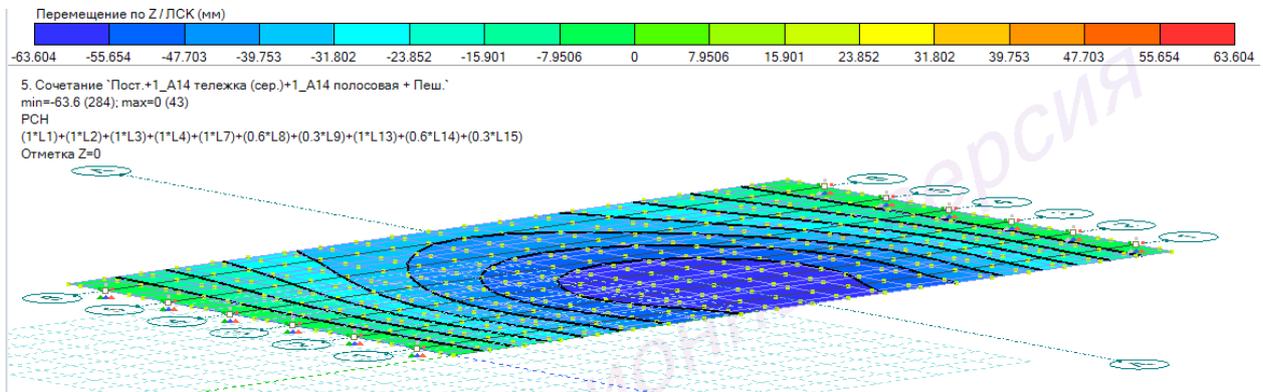


Рисунок 11. Эпюра вертикальных перемещений по оси Z от сочетания № 5, мм (составлено авторами)

*Midas Civil.*

Midas Civil также ведет работу с моделью в одном окне программы (рис. 12–16).

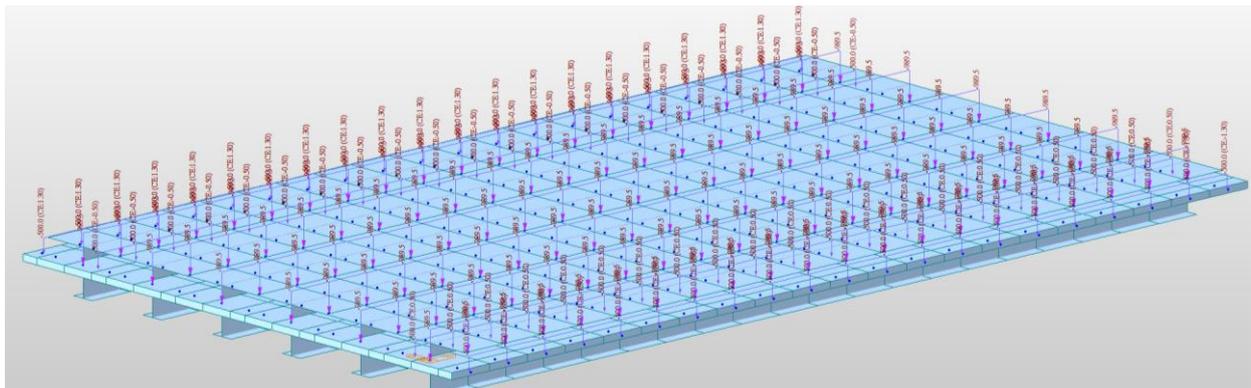


Рисунок 12. Расчетная схема в виде структурных элементов с приложенными нагрузками (составлено авторами)

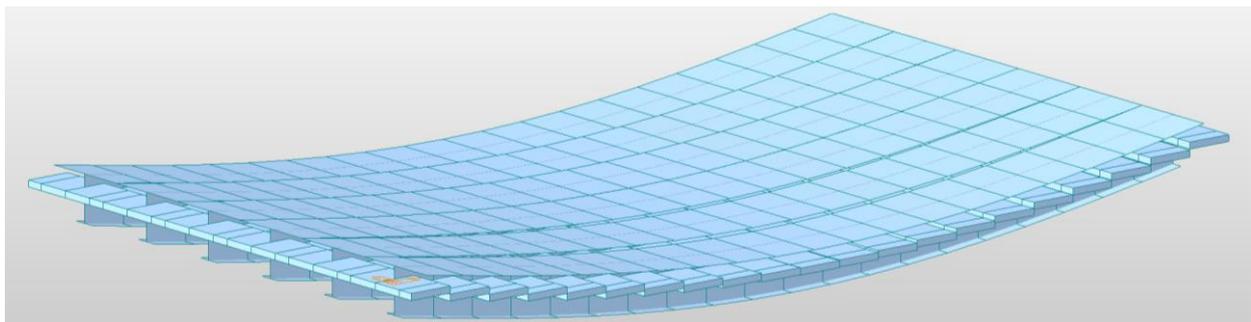
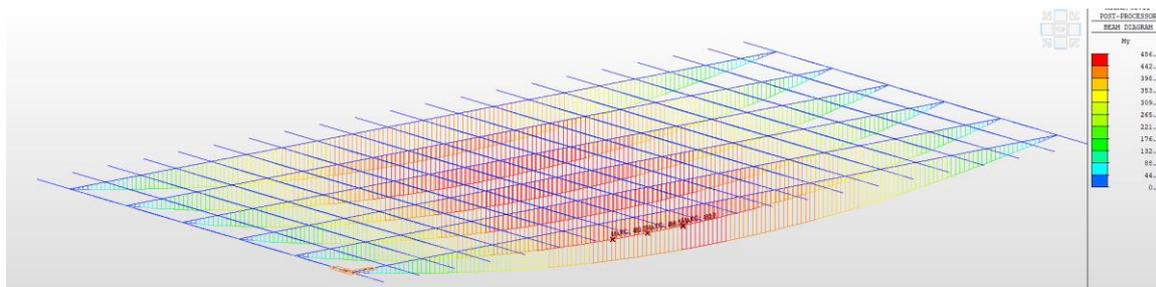
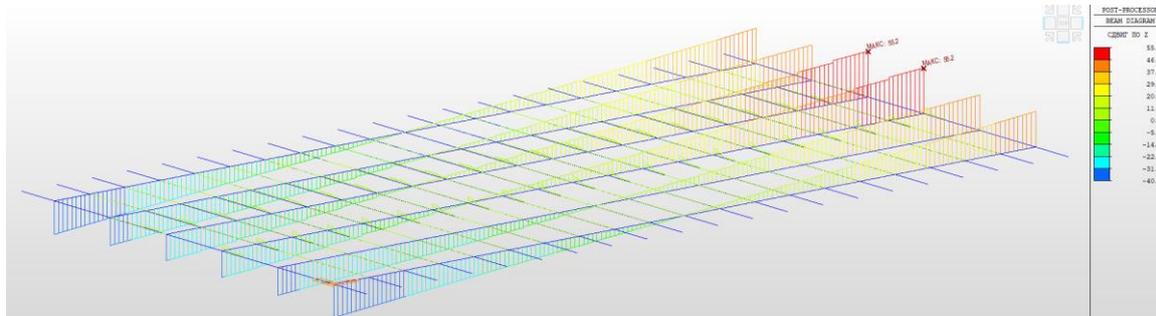


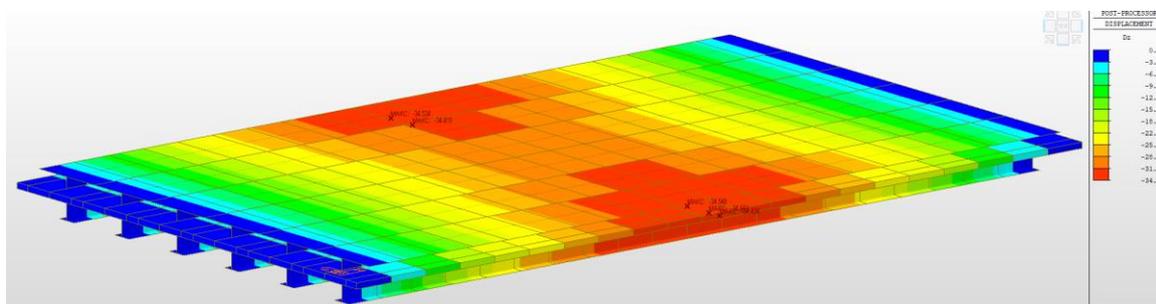
Рисунок 13. Деформированная конечно-элементная модель (составлено авторами)



**Рисунок 14.** Эпюра изгибающих моментов  $M_u$  от сочетания № 5, тс·м (составлено авторами)



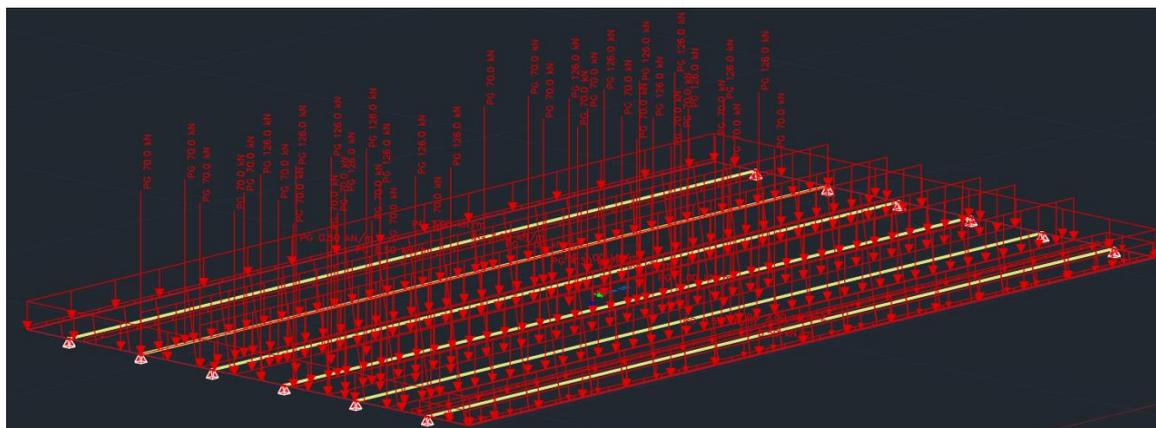
**Рисунок 15.** Эпюра поперечных сил  $Q_z$  от сочетания № 4, тс (составлено авторами)



**Рисунок 16.** Эпюра вертикальных перемещений по оси Z от сочетания № 5, мм (составлено авторами)

### **SOFiSTiK.**

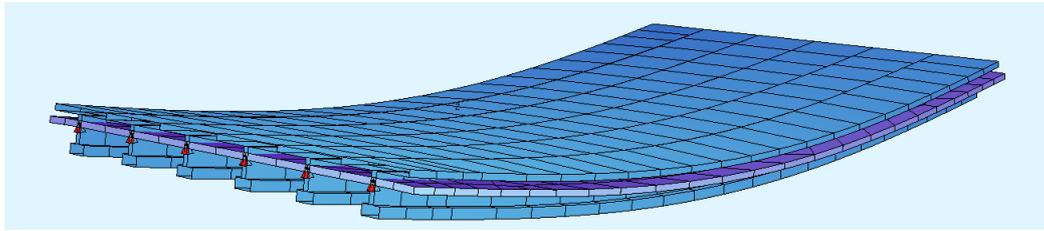
В отличие от ПК Лира 10 и Midas Civil в графическом интерфейсе SOFiSTiK работа с моделью выполняется в различных модулях (рис. 17–21).



**Рисунок 17.** Расчетная схема в виде структурных элементов с приложенными нагрузками, созданная в SOFiPLUS (составлено авторами)

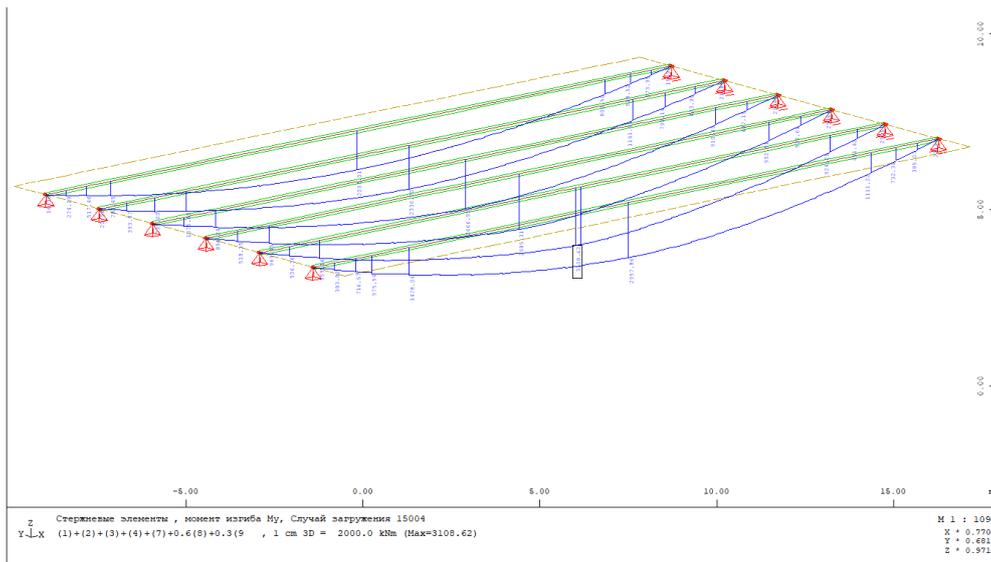
Создание расчетной схемы осуществляется с помощью отдельного препроцессора *SOFiPLUS*, в котором создается модель и задаются нагрузки (рис. 17).

Следом модель, полученная в модуле *SOFiPLUS* преобразуется в конечно-элементную.

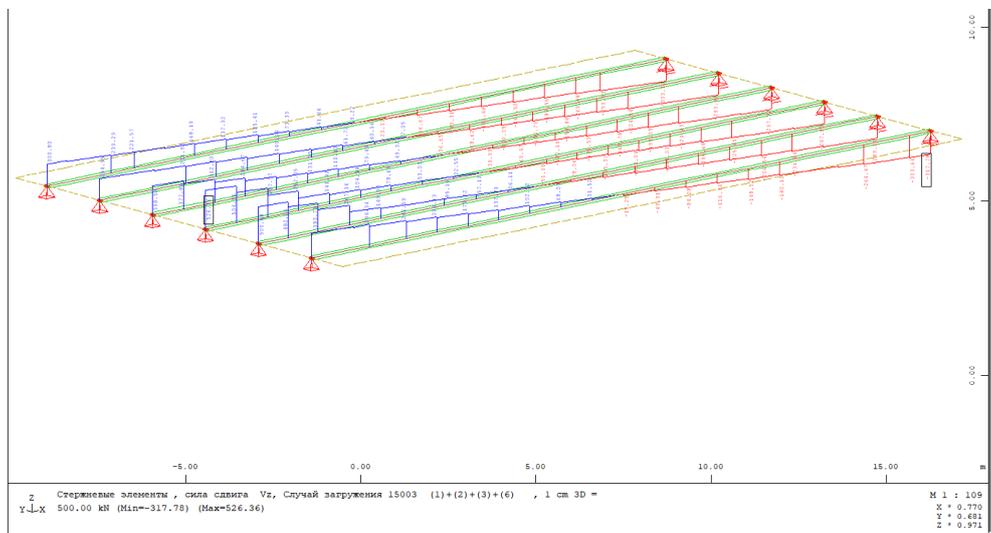


**Рисунок 18.** Деформированная конечно-элементная модель в *SOFiStiK* (составлено авторами)

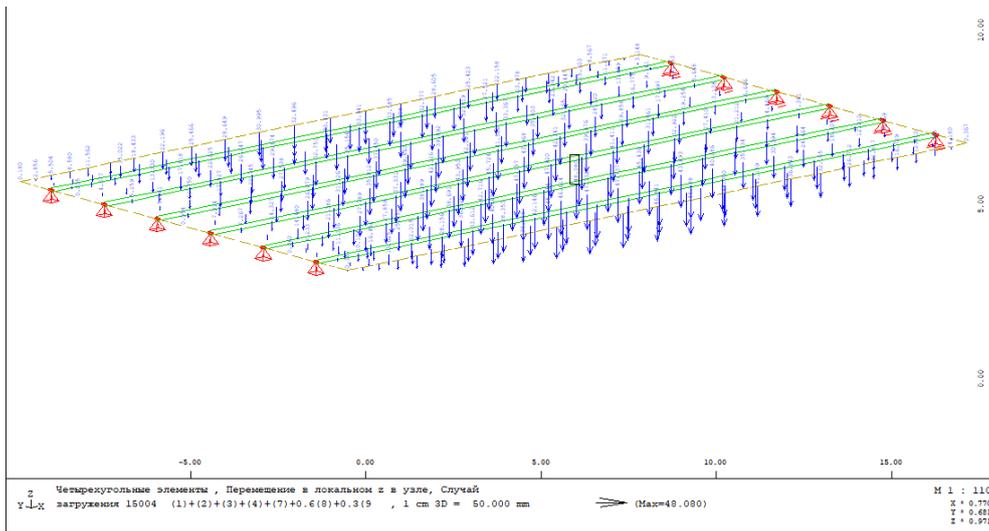
В программном комплексе *SOFiStiK* присутствует модуль *Graphic* для визуализации результатов расчета.



**Рисунок 19.** Эюра изгибающих моментов  $M_y$  от сочетания № 5 в модуле *Graphic*, кН·м (составлено авторами)



**Рисунок 20.** Эюра поперечных сил  $Q_z$  от сочетания № 4 в модуле *Graphic*, кН (составлено авторами)



**Рисунок 21.** Эпюра вертикальных перемещений по оси Z от сочетания № 5 в модуле Graphic, кН (составлено авторами)

**Сравнительный анализ результатов расчета.**

Для наглядного сравнения результаты были сведены в таблицы 4–6.

При сравнении результатов вычислялось отклонение от базовых значений расчета программного комплекса Лира 10. Стоит отметить, что хоть результаты ПК Лира 10 и были взяты за базовые значения, но это не обеспечивает их достоверность.

**Таблица 4**

**Сравнение значений изгибающих моментов Mu**

1	Изгибающий момент Mu, тс·м			Отношение, %	
	2	3	4	5	6
	Лира 10 (L)	SOFiSTiK (S)	Midas Civil (M)	$\frac{S - L}{L} \cdot 100$	$\frac{M - L}{L} \cdot 100$
Максимальное значение	438,86	310,8	486,5	-29,1	10,9

Составлено авторами

**Таблица 5**

**Сравнение значений поперечных сил Qz**

1	Поперечная сила Qz, тс			Отношение, %	
	2	3	4	5	6
	Лира 10 (L)	SOFiSTiK (S)	Midas Civil (M)	$\frac{S - L}{L} \cdot 100$	$\frac{M - L}{L} \cdot 100$
Максимальное значение	66,1	52,6	55,2	-20,4	-16,5

Составлено авторами

**Таблица 6**

**Сравнение значений вертикальных перемещений Z**

1	Вертикальные перемещения Z, мм			Отношение, %	
	2	3	4	5	6
	Лира 10 (L)	SOFiSTiK (S)	Midas Civil (M)	$\frac{S - L}{L} \cdot 100$	$\frac{M - L}{L} \cdot 100$
Максимальное значение	63,6	48,1	70,0	-24,4	10,1

Составлено авторами

Сравнение величин изгибающих моментов показывает, что ПК SOFiSTiK дает заниженные по сравнению с ПК Лира 10 результаты на величину до 29,1 %, а вот Midas Civil дает завышенные результаты, которые достигают 10,9 %.

Сравнение величин поперечных сил показывает, что SOFiSTiK дает заниженные результаты на величину до 20,4 %, а Midas Civil тоже дает заниженные результаты, которые достигают 16,5 %.

Сравнение величин прогибов показывает, что SOFiSTiK дает заниженные результаты на величину до 24,4 %, а Midas Civil завышенные результаты, которые достигают 10,1 %. В SOFiSTiK пролетное строение ведет себя жестче, чем в других расчетных ПК.

### 5. Пример определения собственных частот колебаний для металлического пешеходного моста

Для анализа была принята конструкция металлического пешеходного моста длиной 22 м. Рассматриваемая конструкция представляет собой две металлические фермы с треугольной решёткой и вертикальными стойками. Поперечные сечения элементов выполнены из стальных горячекатаных равнополочных уголков в соответствии с ГОСТ 8509-93.<sup>14</sup> Исходные данные указаны в таблице 7.

Таблица 7

Исходные данные

Расчетная длина $L$ , м	Высота фермы $H$ , м	Расстояние в осях ферм $B$ , м	Длина панели фермы $b$ , м
22,0	1,5	2,0	2,0

Составлено авторами

В качестве постоянной нагрузки принята нагрузка от собственного веса.

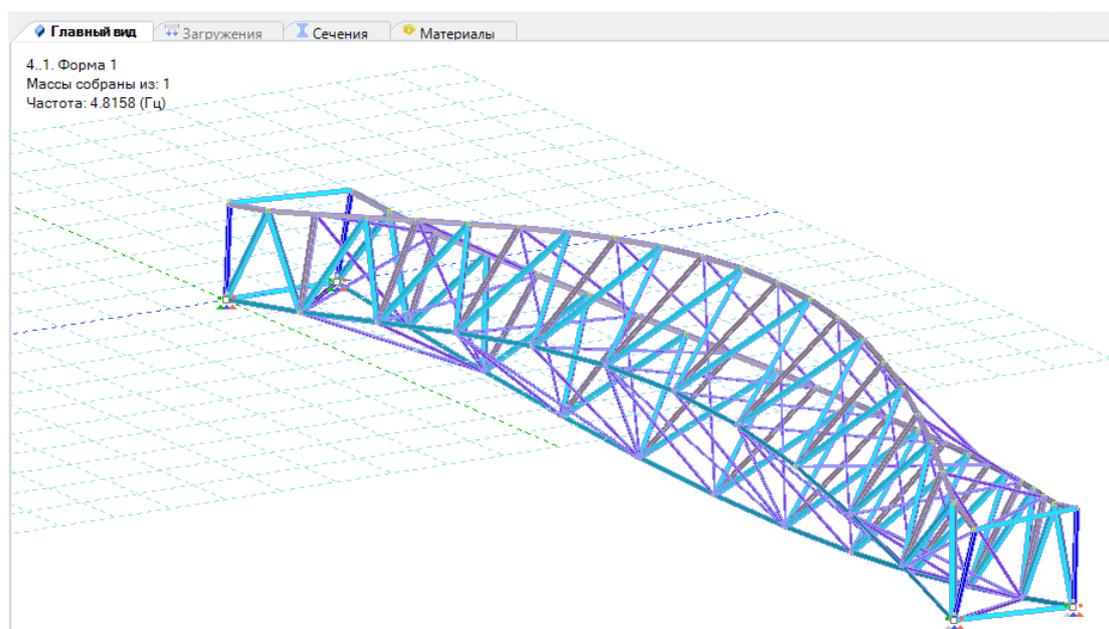
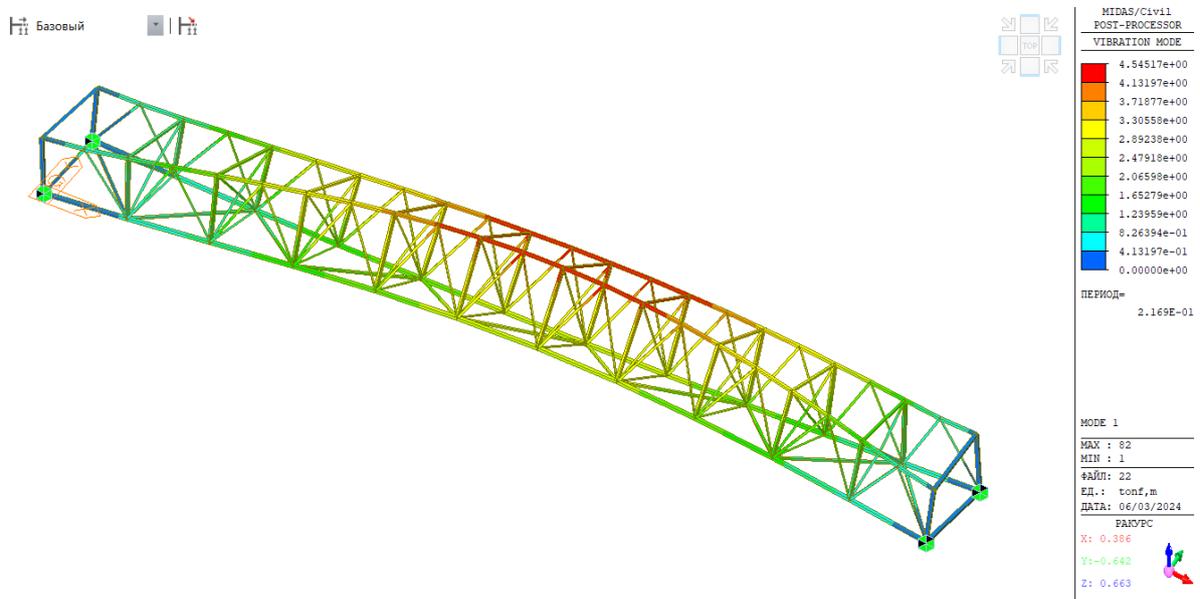


Рисунок 22. Деформированная конструкция в Лире 10 при первой форме колебаний (составлено авторами)

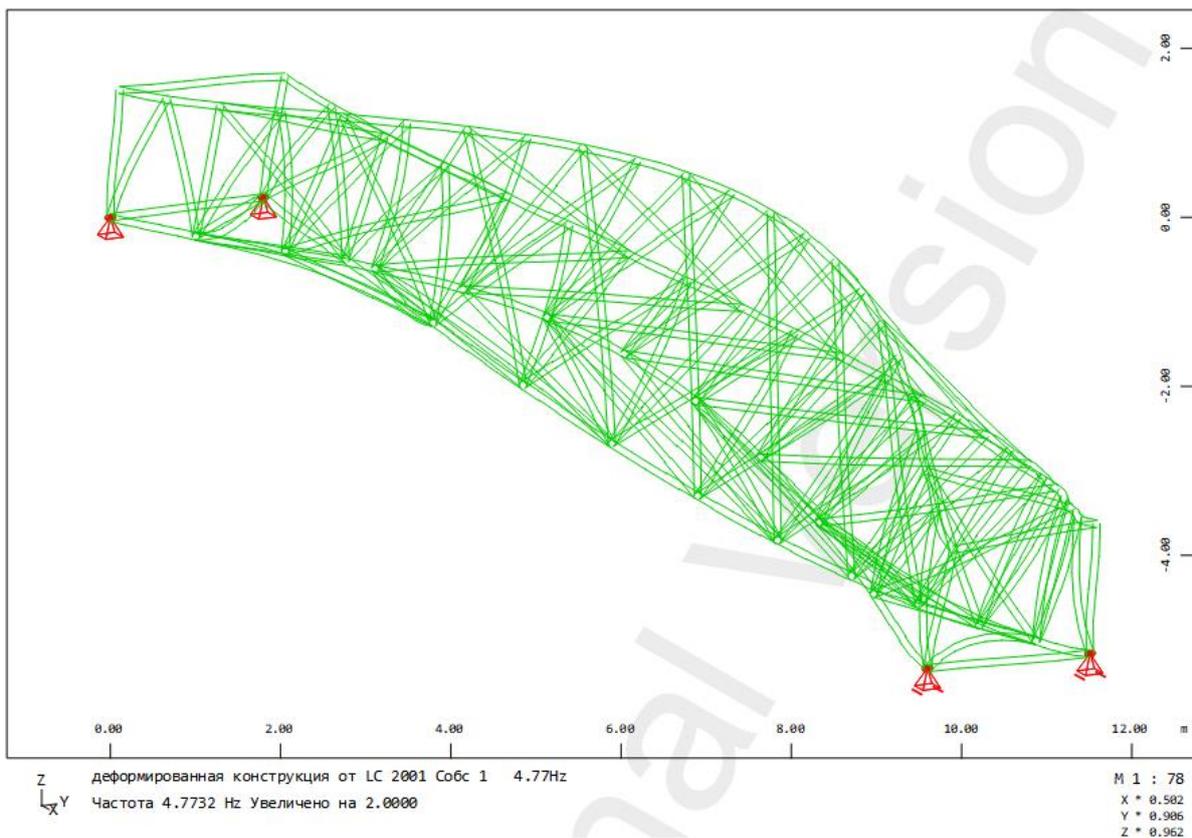
<sup>14</sup> ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент/ — Текст: электронный. — URL: <https://docs.cntd.ru/document> — 11 с.

Для сравнения определим собственных частоты колебаний пешеходного моста. При этом рассмотрим первые 10 форм колебаний.

Чем ниже частота собственных колебаний, тем больше деформации и амплитуда колебаний, а как следствие опаснее для сооружения. На рисунках 23, 24 для сравнения приведены собственные частоты первой формы колебаний в трех программных комплексах.

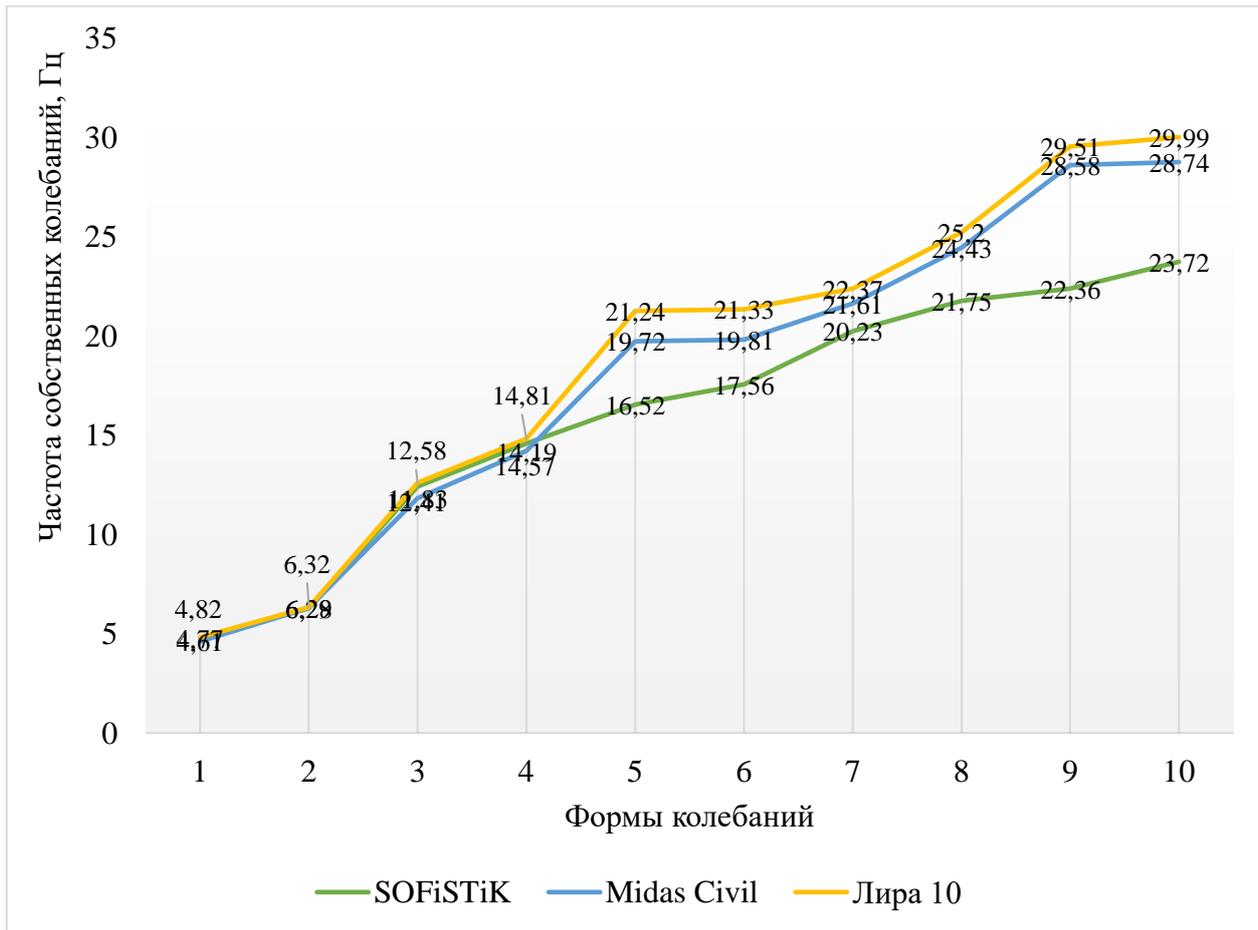


**Рисунок 23.** Деформированная конструкция в Midas Civil при первой форме колебаний (составлено авторами)



**Рисунок 24.** Деформированная конструкция в SOFiSTiK при первой форме колебаний (составлено авторами)

Зависимость результатов изменения частоты собственных колебаний от форм колебаний в каждом расчетном комплексе представлена на рисунке 25.



**Рисунок 25.** График зависимости собственных частот от формы колебаний (составлено авторами)

Анализируя полученные значения, можно заметить, что все программные комплексы показывают достаточно близкие значения при первых формах, но при этом далее имеются незначительные отклонения. Результаты расчета в программных комплексах показывают, что значения с 1 по 4 форму колебаний находятся в пределах погрешности, а с 5 по 10 имеются расхождения. При одинаковом количестве форм колебаний SOFiSTiK показывает заниженные результаты частот собственных колебаний, а значит деформации в нем выше.

### Заключение

Полученные результаты расчетов позволили провести сравнительный анализ, выявив как сильные, так и слабые стороны каждого программного комплекса. Это включает проверку сходимости результатов, что отражает их надежность и точность.

Проанализировав программные комплексы хочется выделить следующее:

- Программное обеспечение Midas Civil изначально было оптимизировано под расчет мостовых сооружений и конструкций, благодаря этому в нем предусмотрены, различные стандартные типы поперечных сечений мостовых балок, что отсутствует в SOFiSTiK и Ли́ра 10.

- В программном комплексе Midas Civil предусмотрена обширная база материалов и сечений, используемая при проектировании мостовых сооружений и конструкций.
- Во всех программах присутствует возможность создания пользовательских сечений и материалов, но данный процесс более трудоемкий, нежели использование готовых.
- В каждой программе предусмотрена возможность задания подвижных нагрузок на мостовые сооружения, но уровень проработки разный.
- По мнению авторов самый удобный для освоения и использования интерфейс имеет программный комплекс Лира 10, схожий с ним имеет Midas Civil. Из-за большого количества модулей интерфейс SOFiStiK сложен для освоения неопытному пользователю, в частности из-за недостаточной локализации и большого количества всевозможных расчетных модулей, но для опытных пользователей он является серьезным рабочим инструментом.
- Высокая оптимизация программного комплекса SOFiStiK позволяет решать сложные задачи с относительно высокой скоростью, в сравнении с другими программами.
- Все программные комплексы имеют действующие сертификаты соответствия нормам проектирования РФ.
- Программный комплекс Лира 10, более устойчив на российском рынке, так как разрабатывается отечественной компанией и не подвержен влиянию санкций со стороны других государств.

Возможности и удобство использования рассматриваемых программных комплексов сведены в таблицу 8.

**Таблица 8**

**Сравнение возможностей и удобство использования программных комплексов**

	SOFiStiK	Midas Civil	Ли́ра 10
1. Возможность задания стандартных поперечных сечений мостовых балок	-	+	-
2. Наличие библиотеки материалов мостовых сооружений	-	+	-
3. Возможность создания пользовательских сечений и материалов	+	+	+
4. Возможность задания подвижных нагрузок на мостовое сооружение	+	+	+
6. Скорость расчета	+	-	-
5. «Дружелюбность» интерфейса	-	+	+
6. Наличие русскоязычного интерфейса	- (частично)	+	+
7. Наличие сертификата соответствия проектирования нормам РФ	+	+	+
8. Устойчивость продукта от внешнеполитической ситуации на рынке РФ	-	-	+
9. Интеграция с российским программным обеспечением в сфере проектирования	-	-	+

*Составлено авторами*

При выполнении сравнительного анализа данные программные комплексы показали свои достоинства и недостатки, но в современных реалиях, отечественный продукт должен находиться в приоритете при выборе программного обеспечения для проектирования строительных конструкций. ПК Ли́ра 10 имеет большие возможности для развития, за счет

поддержки пользователей и адаптивования функционала у аналогичных конкурентных программ.

Немаловажно, что рассмотренные расчетные программные комплексы в той или иной мере обеспечивают функционирование в системе информационного моделирования [13; 14].

В целом, каждый из этих программных комплексов имеет свои уникальные особенности и преимущества, которые могут быть ценными в различных инженерных задачах. Выбор программного комплекса зависит от специфики проекта, предпочтений инженера и требований заказчика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адылов, А.М. Обеспечение достоверности результатов компьютерного моделирования поведения мостовых конструкций / А.М. Адылов, И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников [и др.] // Транспортные сооружения. — 2019. — Т 6. — № 3. — URL: <https://t-s.today/PDF/32SATS319.pdf>. — DOI: 10.15862/32SATS319. (дата обращения: 30.05.2024).
2. Импортзамещение ПО для проектирования мостовых сооружений // Мостовые сооружения. XXI век. — 2021 — № 4(51) — С. 80–83.
3. Райкова, Л.С. Выбор автоматизированной системы для проектирования мостовых сооружений / Л.С. Райкова, М.Б. Акимов // САПР и ГИС автомобильных дорог. — 2015. — № 2(5). — С. 78–85. — DOI 10.17273/CADGIS.2015.2.12. — EDN ULNWSZ.
4. Скрыпник, М.Э. Краткий обзор и сравнение существующего программного обеспечения для проектирования пролетных конструкций мостового типа / М.Э. Скрыпник, И.А. Мамонтов, А.В. Рыбалкина // Синтез науки и образования как механизм перехода к постиндустриальному обществу: сборник статей Международной научно-практической конференции, Иркутск, 17 ноября 2021 года. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2021. — С. 37–40. — EDN QTRRXS.
5. Бондарь, И.С. Системы автоматизированного проектирования для расчета мостов / И.С. Бондарь, М.Е. Исаметова, Б.К. Жасболатов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева. — 2017. — № 4(103). — С. 13–23. — EDN YLGDLR.
6. Провора, Д.А. Программные продукты для расчета мостов: преимущества и недостатки / Д.А. Провора // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ имени В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля — 20 2021 года. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, 2021. — С. 2255–2261. — EDN YTTSCC.
7. Кисин, Б.С. Расчет железобетонных ребристых пролетных строений мостов / Б.С. Кисин, А.Н. Маринин // Красная линия: журнал современных строительных технологий. — 2010. — № 47. — С. 28–30. — EDN VCYHTO.

8. Диц, Д.Ю. Сравнение расчетных программ при анализе работы несущих конструкций пешеходного моста / Д.Ю. Диц, А.Д. Скосырская // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: Материалы X Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 24–29 апреля 2023 года / Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой. — Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. — С. 45–47. — EDN RHVOEU.
9. Диц, Д.Ю. Сравнение программных комплексов конечно-элементного анализа для расчета конструкций пешеходного моста / Д.Ю. Диц, А.Д. Скосырская // Дорожная наука — дорожной отрасли: Материалы региональной научно-практической конференции, Тюмень, 26 апреля 2023 года / Отв. редактор С.П. Санников. — Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. — С. 5–11. — EDN RPYIUC.
10. Смирнов, А.А. Анализ и сравнение САПР для расчета и проектирования пешеходного моста / А.А. Смирнов, А.Н. Маринин // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2023: Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года. — Москва: Московский государственный строительный университет (национальный исследовательский университет), 2024. — С. 771–775. — EDN HVEGHC.
11. Кравченко, А.Е. Теория и практика научных исследований в дорожно-транспортном комплексе / А.Е. Кравченко, А.Н. Маринин. — Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2024. — 299 с. — EDN VHKB AQ.
12. Овчинников, И.И. Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия. Часть 1. Причины / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, В.О. Филиппова // Интернет-журнал Науковедение. — 2015. — Т. 7, № 6(31). — С. 146. — DOI 10.15862/07KO615. — EDN VOBHSX.
13. Маринин, А.Н. Проблемы использования технологии BIM в мостостроении / А.Н. Маринин — Текст: непосредственный // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». — 2020. — № 8. — С. 711–718.
14. Кулешов, В.А. Предпосылки внедрения BIM-технологий в мостовом хозяйстве. Оценка современных систем автоматизированного проектирования мостов и их готовности к информационному моделированию / В.А. Кулешов, П.А. Елугачев, С.С. Марников // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2018. — Т. 20, № 3. — С. 184–195. — DOI 10.31675/1607-1859-2018-20-3-184-195. — EDN XQWPHN.

**Skosyrskaya Anastsia Dmitrievna**

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: skosyrskayanastya13@gmail.com

**Deatz Denis Yurievich**

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
E-mail: deatzdenis@gmail.com

**Marinin Alexander Nikolaevich**

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia  
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia  
E-mail: a-marinin@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1848-730X>

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=625628](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=625628)

## Comparative analysis of software systems for the calculation and modeling of bridge structures

**Abstract.** This article presents a comparative analysis of software systems such as Lira 10, SOFiSTiK and Midas Civil, used for calculations of bridge structures. The purpose of the research is to compare, as well as to determine the most optimal and effective solution.

The authors described the main possibilities for calculating bridge structures of each of the software complexes discussed in the article. In particular, to determine the stress-strain state, as well as to determine the natural frequencies of vibrations.

The design of a reinforced concrete girder superstructure was used to analyze the stress-strain state. For dynamic calculation, a metal pedestrian bridge was adopted, which consists of two metal trusses with a triangular lattice and vertical posts made of hot-rolled profile.

The obtained calculation results made it possible to verify their convergence and identify deviations. A comparison of the values shows that the SOFiSTiK software package produces underestimated values compared to others.

The result of the dynamic calculation was a graph of the dependence of natural frequencies on the waveform, reflecting the similarity of the values of the Lira 10 and Midas Civil software complexes, but with the same number of waveforms SOFiSTiK shows underestimated frequency results, which means that deformations are higher in it.

In conclusion, the authors form a comparison table of the capabilities and usability of software complexes, which summarizes the advantages and disadvantages of each of the considered software complexes.

**Keywords:** bridge construction; computational analysis; comparative analysis; software package; Lira 10; Midas Civil; SOFiSTiK; comparison; stress-strain state