

ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ SCAD ТА MIDAS CIVIL

Тагієва А.Р., ДМ-51-20, Купченко Є.А., ДМ-41-17, ХНАДУ

Керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ – Бережна К.В.

Використання сучасних інформаційних технологій в проектуванні транспортних споруд дозволить збільшити міжремонтні терміни, покращити якість проектів та зменшити час на їх розробку. Швидкісне рішення складних завдань в проектуванні дозволяє в прогностичному режимі вивчати поведінку складних мостових споруд на будь-які поєднання навантажень і впливів, приймаючи оперативні рішення щодо можливих методів їх посилення. Конкуренція серед виробників програмного забезпечення з моделювання будівельних конструкцій і їх розрахунку спонукає розробників впроваджувати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, «заготовки» найбільш вживаних проектних рішень, службу підтримки з порад щодо їх використання. Все це дуже полегшує роботу інженерів-проектувальників, але все рівно потребує від них складання і розуміння математичних моделей транспортних споруд.

Для складання математичних моделей мостів необхідно знати:

- теоретичні основи розрахунку мостів;
- правила побудови математичних і чисельних моделей;

- особливості архітектури і інтерфейсу програмно-обчислювального комплексу.

Сучасні програмні продукти для автоматизації проєктування будівельних споруд, умовно можна поділити на три групи:

1. Обчислювальні системи, призначені для аналізу міцності конструкцій.

2. Програми для виконання перевірок несучої здатності елементів конструкцій на відповідність чинним нормам проєктування.

3. Проєктувальні програми, що виконують формування та випуск робочих креслень, специфікацій та інших матеріалів, передбачених проєктом.

Умовність такого поділу пояснюється тим, що до складу обчислювальних систем можуть входити, наприклад, модулі для підбору арматури в елементах залізобетонних конструкцій чи перевірки перерізів металевих конструкцій, а до складу програм другої групи — модулі випуску робочих креслень.

Крім того, існує велика кількість допоміжних програм, що використовуються для інформаційної підтримки процесу проєктування, наприклад, бази даних матеріалів, сортаменти металопрокату, арматури і т. ін., електронні довідники з нормативною документацією, а також спеціалізовані програми для формування та розрахунку перерізів, встановлення значень навантажень і впливів, обчислення коефіцієнтів пружної основи та ін. Допоміжні програми можуть бути автономними або мати інформаційний зв'язок з іншими програмами.

Список програм першої групи, призначених для розв'язання задач міцності будівельної механіки, вражає своїм розмаїттям та широтою функціональних можливостей. Спільним для всіх цих програм є використання для розрахунку методу скінченних елементів і наявність розвинених графічних засобів створення розрахункової моделі та аналізу результатів. Тут присутні потужні універсальні обчислювальні системи, такі, наприклад, як ANSYS, ADINA, COSMOS, NASTRAN, не прив'язані до якоїсь певної сфери застосувань. Їхню відмінну особливість становить орієнтація на багатодисциплінарність проблеми (пружність, пластичність, теплофізика, магнітодинаміка, гідрогазодинаміка та ін.) і на розв'язання задач із сотнями тисяч і мільйонами невідомих.

Існує велика кількість систем, орієнтованих на аналіз міцності конструкцій будівель та споруд. Серед них такі популярні в Україні системи, як ЛІРА [1] та SCAD [2], зарубіжні програми Sofistic, Midas Civil [3, 4], SAP 2000, GTSTRUDL, STAD, ROBOT та ін. Їхня особливість полягає у тому, що графічні засоби створення розрахункової схеми (препроцесор) та аналізу результатів (постпроцесор) зорієнтовані на специфіку проектування об'єктів будівництва. Крім того, до них підключаються каталоги профілів та матеріалів, використовуваних у будівництві, вони містять специфічні модулі аналізу (наприклад, для побудови ліній впливу, обчислень із врахуванням сейсмічних впливів та пульсацій вітрового навантаження і т. п.).

Особливу популярність у проєктувальників здобули об'єктно орієнтовані програми для перевірки елементів конструкцій на відповідність вимогам норм проєктування (ми віднесли їх до другої групи). Інколи їх називають "калькуляторами". Ці програми можуть бути спеціалізованими та перевіряти елементи певного виду (наприклад, тільки елементи сталевих конструкцій). До них можна віднести КРИСТАЛЛ, АРБАТ, КАМИН, які входять до складу інтегрованої системи SCAD Office, ОМ СНиП Железобетон, ПРУСК, Фундамент та ін. Перевагою таких програм є детальна розробка розрахункових положень нормативних документів та простота звернення (зручність користувацького інтерфейсу), що робить їх незамінним інструментом інженерів-проєктувальників. Існують і універсальні програми, в яких виконуються перевірки елементів конструкцій різного виду, наприклад, Structural Engineering Library, СПИН. І ті, й інші програми можуть мати засоби для виготовлення креслень, специфікацій, хоча це, найчастіше, ескізи високого рівня готовності, а не готова проєктна документація.

Нарешті, до третьої групи входять так звані проєктувальні програми та системи, які на основі результатів аналізу міцності конструкцій та нормативних розрахунків елементів формують проєктну документацію. Серед них можна виділити систему ALLPLOT (система проєктування у складі комплексної системи архітектурно-будівельного проєктування ALLPLAN), програми МОНОЛИТ та КОМЕТА (у складі SCAD Office), ФОК, модулі БАЛКА, КОЛОННА, ПЛИТА, СТИНА (у складі програмного

комплексу проектування конструкцій каркасних будівель (МОНОМАХ).

Серед найбільш придатних для проектування будівельних конструкцій варто відзначити ПК: STRAP (Ізраїль), NASTRAN, STRUDL, ANSYS, COSMOS, ADINA (США), DIANA (Голландія), ROBOT (Франція), STARK (Росія), SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ (Україна).

Спеціалісти, який займається безпосередньо проектуванням будівельних об'єктів, звичайно, надають перевагу тому ПК, що має конструктивні системи, в яких реалізовані стандарти та норми того регіону, для якого спеціаліст виконує проектування.

Американські програми, які мають конструювальні підсистеми (виконують підбір та перевірку перерізів ЗБК і металевих конструкцій, видають робочі креслення), в основному реалізують норми США і Канади. Європейські програми, включаючи STARK, SCAD і ЛІРА, реалізують Єврокод. У ПК STARK, SCAD, ЛІРА, МОНОМАХ реалізовані також норми країн СНГ, тому для нашого регіону саме ці ПК є найпривабливішими.

Інтегрована система SCAD Office призначена для чисельного дослідження міцності і стійкості широкого класу конструкцій об'єктів будівництва, визначити напружено-деформований стан конструкцій від статичних і динамічних дій, а також виконати ряд функцій проектування елементів конструкцій. [2]

До складу системи входять програми чотирьох видів:

1. обчислювальний комплекс Structure CAD (SCAD), який є ядром пакету. Це універсальна розрахункова система аналізу

конструкції за дискретними моделями методу скінчених елементів (МСЕ);

2. допоміжні програми, призначені для «обслуговування» SCAD, які орієнтовані на формування і обчислення геометричних характеристик різного виду перетинів стержньових елементів (Конструктор перетинів, КОНСУЛ, ТОНУС, СЕЗАМ), визначення навантажень і дій на споруду (ВЕСТ), обчислення коефіцієнтів постелі, необхідних при розрахунку конструкцій на пружній основі (КРОС), а також препроцесор ФОРУМ, що використовується для формування укрупнених моделей при імпорті даних із архітектурних систем;

3. проєктно-аналітичні програми КРИСТАЛ, АРБАТ і КАМІН, які призначені для вирішення специфічних задач перевірки і розрахунку елементів сталевих, залізобетонних і кам'яних конструкцій відповідно до вимог нормативних документів (СНіП, ДБН, Eurocode і т.і.);

4. проєктно-конструкторські програми КОМЕТА і МОНОЛІТ, призначені для розробки конструкторської документації на стадії детального опрацювання проєктного рішення.

Всі програми-сателіти мають спільний формат представлення даних, способи управління, перевірки нормативних вимог і показу результатів роботи та документування. При цьому будь-яка з програм, що входить в пакет SCAD Office, може використовуватися в автономному режимі.

Обчислювальний комплекс Structure CAD практично не має обмежень на розмір і форму споруд, які досліджуються.

Програмно-обчислювальний комплекс **Midas Civil** - інтегрований пакет програм розрахунку мостів і цивільних конструкцій різного призначення, розроблений Корейським інститутом комп'ютерного проектування конструкцій [3]. Область застосування Midas Civil - мости всіх типів, тунелі, труби, опори, фундаменти, електростанції, котли, аеропорти, станції, дамби, транспортні засоби та ін.

Основні можливості midas Civil: необмежене число вузлів і елементів в моделі; розвинена бібліотека скінчених елементів, що дозволяє створювати різні моделі мостів; формування характеристик жорсткості скінчених елементів моделей різних типів мостів (залізобетонних, металевих, сталезалізобетонних); статичні лінійні і нелінійні розрахунки; завдання різних силових впливів (навантажень) в розрахункових моделях мостів; розрахунок мостів на рухомі навантаження (автодорожні, залізничні та пішохідні) з урахуванням автоматичного навантаження ліній і поверхонь впливу; динамічні лінійні і нелінійні розрахунки; спеціальні «Майстри конструкцій» для створення готових розрахункових моделей різних типів мостів, шляхом зручного параметричного введення даних; лінійний розрахунок стійкості (визначення критичного навантаження і форм втрати стійкості); калькулятор властивостей перерізів (підпрограма призначена для створення різних перерізів елементів мостів, а так само імпорту перерізів з AutoCAD в midasCivil);

розрахунок стадій зведення споруд з урахуванням властивостей змінюваних в часі (повзучість, усадка і набір міцності бетону); перевірка перерізів елементів мостів відповідно до нормативних документів; геометрична нелінійність (великі переміщення елементів, нелінійні розрахунки вантових і підвісних мостів); скінчені елементи моделюють нелінійні властивості зв'язків в конструкціях (демпфери, опорні частини, свинцево-гумовий опорний ізолятор, фрикційно-маятникові системи та ін.); розрахунок тепловиділення при гідратації бетону. розрахунки теплопередачі; розрахунок з урахуванням фізичної нелінійності і зміцнення в матеріалах; тривимірне моделювання складних об'єктів з автоматизацією нанесення сіток скінчених елементів; нелінійна деформаційна модель для розрахунку на міцність загальних перерізів.

Швидко створення найбільш поширених типів перетинів в розрахункових моделях мостів шляхом параметричного введення даних, або імпорту:

- типові перетини елементів залізобетонних мостів;
- різні форми перетинів головних балок ЗБ і ПНЗБ прогонових будов;
- перетину головних балок збірно-монолітних прогонових будов;
- типові перетину елементів сталевих і стале-залізобетонних мостів;
- різні форми перетинів головних балок сталевих і стале-залізобетонних прогонових будов;

- перетину довільної форми, створені в спеціальному редакторі;
- створення на основі імпорту перетинів довільної форми з AutoCAD.

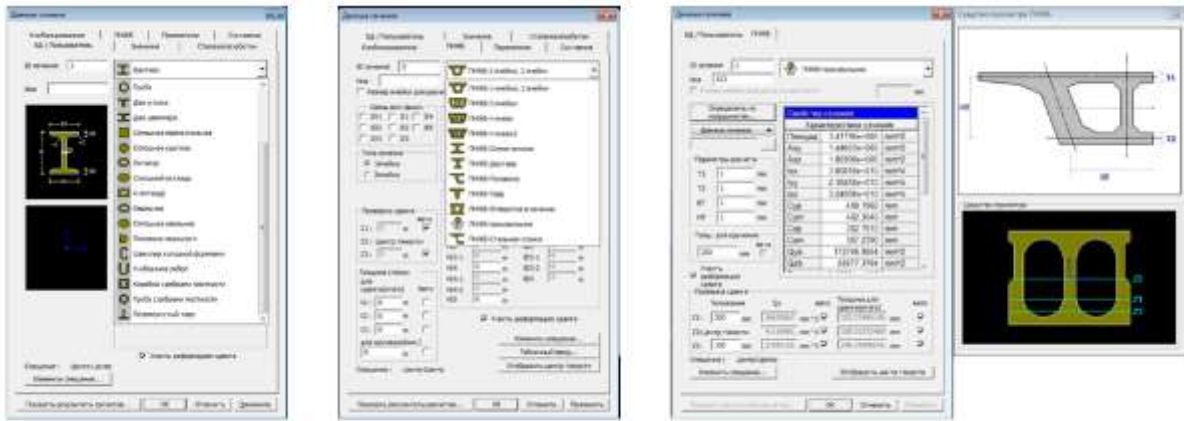


Рисунок 1 – Діалогові вікна з різними типами перерізів елементів мостів

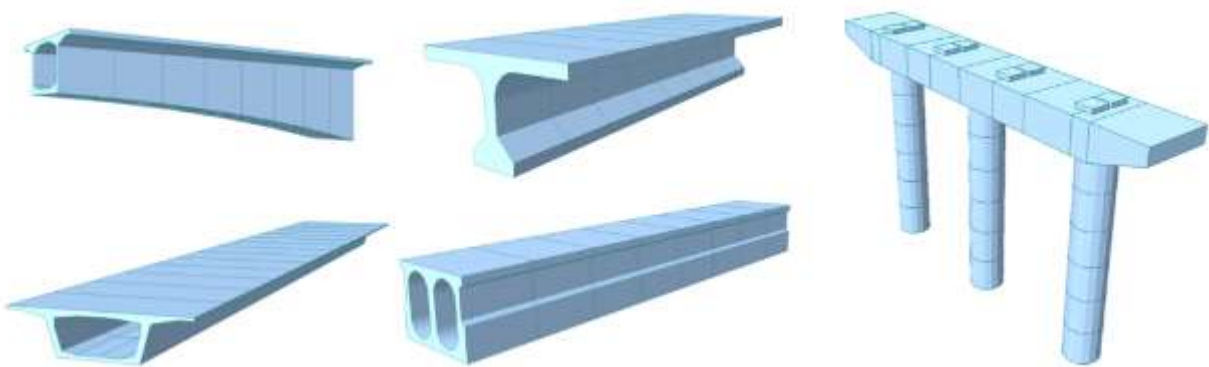


Рисунок 2 – Візуалізація перерізів заданих стрижневими елементами

Midas FX є препроцесором до **midas Civil** для високоефективного скінчено-елементного моделювання в інтерактивному візуалізованому середовищі, при розрахунковому аналізі різних мостових конструкцій. **midas FX** включає:

- повну лінійку препроцесорну складання розрахункової моделі перед розрахунковим аналізом в **midas Civil** (створення

геометрії, розбиття на скінчені елементи, завдання граничних умов і навантажень);

- розвинену графічне середовище CAD моделювання з можливістю імпорту моделей з інших систем тривимірного моделювання геометричних об'єктів;

- багатофункціональні і зручні засоби автоматичного нанесення сіток скінчених елементів, аппроксимируючих області геометричних об'єктів з можливістю контролю якості.

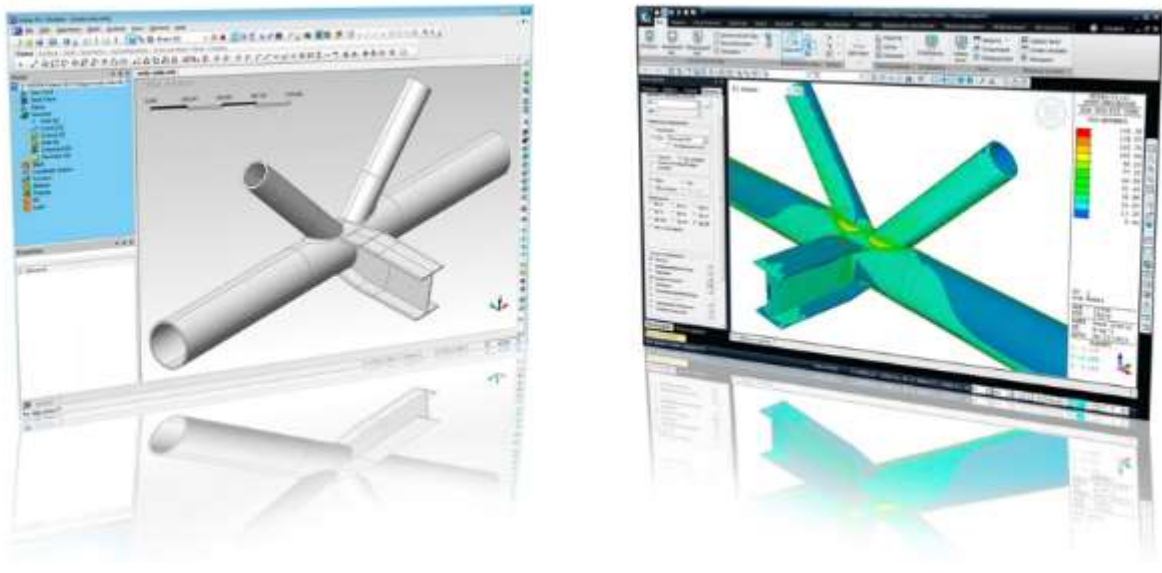


Рисунок 3 – Робоче середовище детального моделювання розрахункових схем в midas FX+

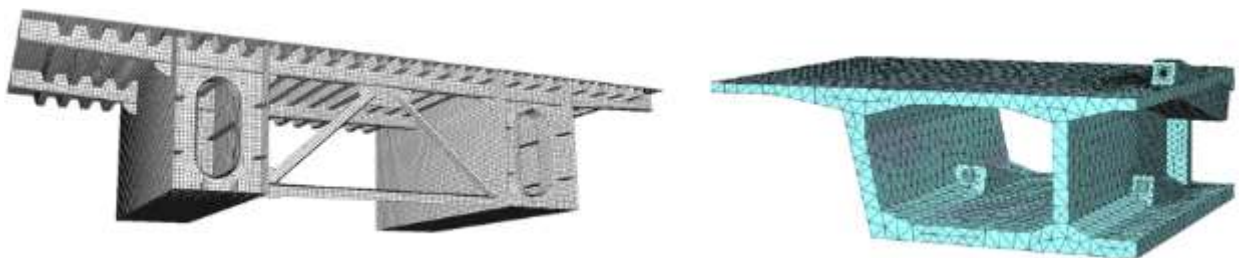


Рисунок 4 – Приклад згенерованої сітки скінчених елементів

У midas Civil передбачено завдання в розрахунковій моделі матеріалів з бази даних стандартних матеріалів. Можна вказати

бетон і сталь різних класів, композитні матеріали (наведені), ортотропні матеріали. У програмі також враховуються реологічні властивості бетону, такі як повзучість, усадка і набір міцності. Також передбачено врахування нелінійних властивостей матеріалів: фізична нелінійність бетону, фізична нелінійність арматурної сталі, фізична нелінійність в сталевих конструкціях і ґрунтах. [4]

У midas Civil закладено низку зручних Майстрів конструкцій для створення розрахункових моделей. Майстри конструкцій охоплюють базові моделі (балкові, аркові, фермові, рамні та ін.), Моделі мостів що зводяться методом поздовжнього насунання, моделі мостів що зводяться методом попрогонового бетонування і на помості. Також Майстри конструкцій можуть створювати моделі плитних, коробчатих, сталезалізобетонних прогонових будов, і створювати моделі мостів вантових і підвісних систем.

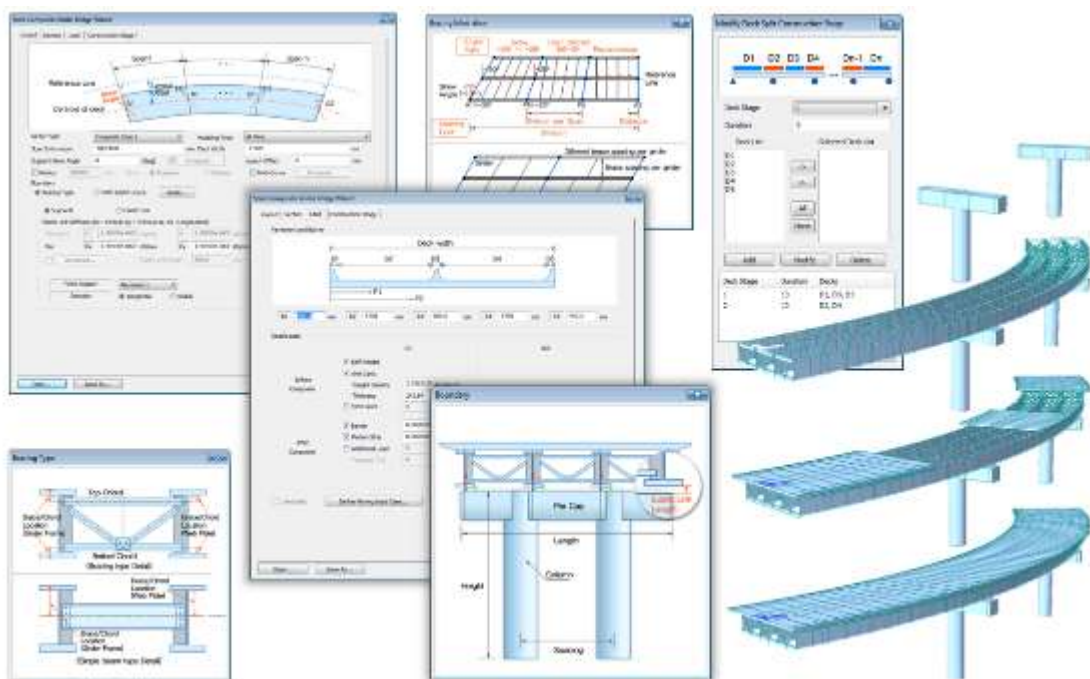


Рисунок 5 – Ключові можливості створення конструкцій

У midas Civil можна здійснити симуляцію поведінки конструкцій на етапі будівництва і демонтажу мостів. Весь стадійний процес ділиться на певне число етапів, на кожному з яких можна вказати активацію і деактивацію елементів, граничних умов, навантажень, властивостей розрахункової моделі і відобразити реальну поведінку моста при його будівництві. Число етапів не обмежено. Також, при розрахунку бетонування плити проїжджої частини сталезалізобетонних або збірномонолітних мостів, можна враховувати поетапну зміну геометричних характеристик, вказуючи включення в роботу різних частин перерізу елементів моста.

При розрахунках на рухомі навантаження програма будує лінії і поверхні впливу в розрахунковій моделі, завантажує їх схемами рухомих навантажень і виводить максимальні і мінімальні зусилля, реакції і переміщення. У програмі можна задавати стандартні схеми рухомих навантажень автодорожніх і залізничних мостів за нормами проектування СНиП 2.05.03-84 або СП 35.13330.2011. Також, можна створювати довільні схеми рухомих навантажень і різні варіанти їх поєднань.

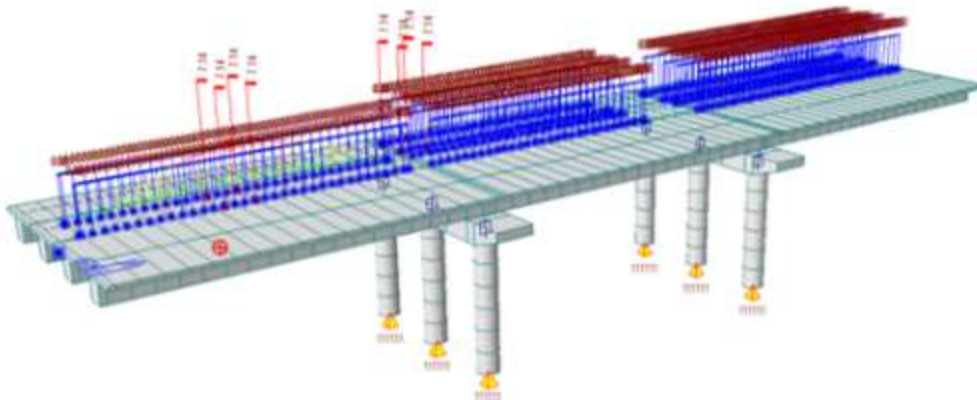


Рисунок 6 – Рухомі навантаження

При динамічних розрахунках в *midas Civil* можна відобразити поведінку моста при навантаженнях, величини яких змінюються в часі. Програма дозволяє виконати розрахунок власних форм коливань конструкції за різними методами, гармонійний аналіз (аналіз усталеного відгуку на зовнішнє навантаження, що залежить від частоти), аналіз спектра відгуків. У розрахунку на сейсмічну дію при динамічному методі розрахунку в моделі можна врахувати демпфери, свинцево-гумові опорні ізолятори, фрикційно-маятникові системи тощо.

За результатами виконаних розрахунків в *midas Civil* інженер отримує всю необхідну інформацію про напружено-деформований стан мосту. Виводяться дані деформованого вигляду моделі, реакцій в вузлах, зусилля і напруги в розрахункових перетинах елементів. Програма може відображати також і детальну інформацію про напружений стан в окремо обраному перетині елемента. При розрахунку на рухомі навантаження відображаються лінії і поверхні впливу, а також схема навантаження рухливими навантаженнями. За результатами розрахунку можна також сформувати графіки зусиль, переміщень, реакцій в елементах і вузлах розрахункової моделі, вивести дані в табличному вигляді з подальшим експортом в Excel. У процесі зведення конструкції виводиться інформація про зміну напружено-деформованого стану.

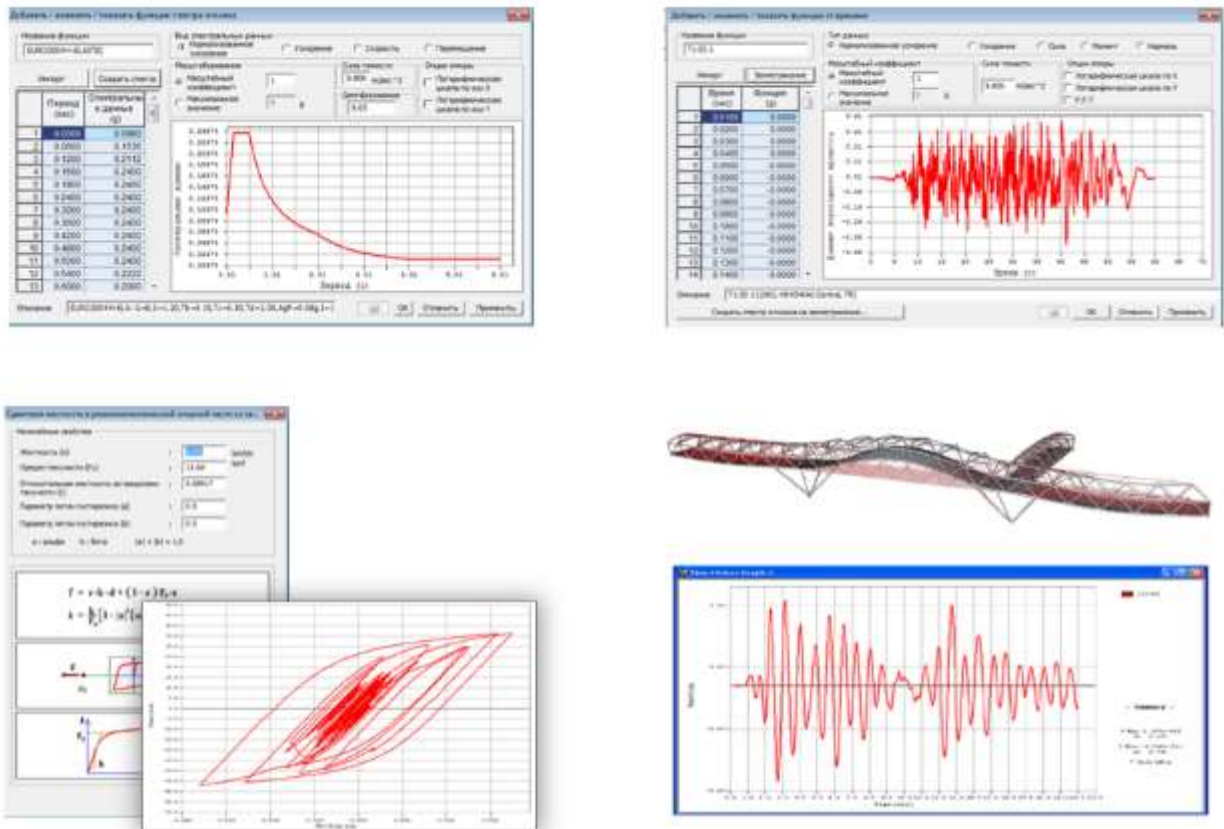


Рисунок 7 – Аналіз результатів розрахунку

Виконання розрахунку несучої здатності елементів мостів по перетинах, відповідно до вимог норм проектування

У midas Civil передбачена автоматична перевірка несучої здатності елементів звичайних залізобетонних мостів, попередньо-напружених залізобетонних мостів, сталевих мостів з ортотропними плитами і сталезалізобетонних мостів. Всі перевірки виконуються відповідно до нормативних документів, таких як СНиП 2.05.03-84 і СП 35.13330.2011. Також перевірки можуть виконуватися і по нормам Європи, Америки і Азії. Перевірки виконуються за всіма групами граничних станів відповідно до пунктів нормативних документів. При виконанні перевірок програма відображається епюри коефіцієнтів запасу в

графічному і табличному вигляді. Інженер може згенерувати звіти про виконані перевірки в зручному форматі.

На всіх етапах життєвого циклу транспортної споруди необхідне застосування комп'ютерних технологій для прискорення вирішення різноманітних задач. Популярні програмні комплекси з автоматизації проектування та розрахунків оновлюються раз на рік, а деякі два та більше. Конкуренція на ринку комп'ютерних технологій вимагає глобальних змін в інтерфейсі, алгоритмі роботи і навіть зміни формату файлів.

Література:

1. Моделювання мостових конструкцій в LIRA Навч. Посіб. / А. Козлов Издательство «ЛИРА СОФТ» 2016р.-180с.
2. Вычислительный комплекс SCAD Office / В. Карпиловский, Э. Криксунов, А. Маляренко, М. Микитаренко, А. Перельмутер, М. Перельмутер, - М.: Издательство «СКАД СОФТ», 2009-656с.
3. Design guide for Midas Civil. Prestressed Box Girder Design. Composite Steel Box Girder Design. Composite Plate Girder Design [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docplayer.net/93389591-Design-guide-for-midas-civil-prestressed-box-girder-design-composite-steel-box-girder-design-composite-plate-girder-design.html>.
4. Midas Civil On-line Manual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://manual.midasuser.com/EN_TW/Civil/830/index.htm.