

УДК 378.147

**Девін Владлен В'ячеславович**

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський, Україна  
dvvkr.123@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-2994-3144

**Ткачук Василь Сергійович**

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський, Україна  
twsk@i.ua  
ORCID: 0000-0001-5414-2387

**Бурдега Василь Юрійович**

Канд. техн. наук, доцент, асистент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський, Україна  
burdega\_vasil@ukr.net

**Семенішена Руслана Володимирівна**

Канд. пед. наук, доцент, асистент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський, Україна  
alexrusl@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-2969-3635

## **КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗРАХУНКУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКЛАДЕНИХ ПЕРЕРІЗІВ**

**Анотація.** Жоден із розрахунків деталей машин, елементів конструкцій і споруд на міцність, жорсткість та стійкість не може бути виконано без використання геометричних характеристик перерізів. До них належать: площа перерізу, осьові, відцентровий і полярний моменти інерції, радіуси інерції, осьові та полярний моменти опору тощо. У статті розглянуто проблему підвищення якості підготовки студентів технічних спеціальностей засобами інформаційних технологій. Проведено огляд і запропоновано методику використання програмного забезпечення для розрахунку геометричних характеристик перерізів. Виділено дві групи комп'ютерних програм: 1) програми розроблені викладачами закладів вищої освіти для використання в освітньому процесі; 2) промислове програмне забезпечення для інженерів конструкторів, яке також може бути використане в освітньому процесі. На прикладі розрахунку геометричних характеристик складного перерізу сформованого із декількох профілів прокату демонструється, що використання програм «Geom 2006», «Компас 3D», «Консул» і «Конструктор сечений» має ряд переваг: суттєво зменшуються витрати зусиль і часу на рутинні математичні обчислення, полегшується пошук і виправлення помилок, допущених в ручному розрахунку під час самостійної роботи, що позитивно впливає на процес навчання; виконання розрахунково-графічних завдань з використанням комп'ютерних програм істотно підвищує інтерес студентів до дисципліни, яка вивчається і сприяє кращому закріпленню теоретичних знань і практичних умінь; студенти набувають навичок створення розрахункових схем, підготовки вихідних даних, аналізу отриманих результатів, які необхідні в подальшій роботі з програмними комплексами з розрахунку конструкцій в ході курсового і дипломного проектування; особливо корисно використовувати пропоновані програми в умовах дистанційного навчання як ефективний засіб організації самостійної роботи.

**Ключові слова:** геометричні характеристики перерізів; програмне забезпечення; методика розрахунку.

**Постановка й обґрунтування актуальності проблеми.** Жоден із розрахунків деталей машин, елементів конструкцій і споруд на міцність, жорсткість та стійкість не може бути виконано без використання геометричних характеристик перерізів. До них

належать: площа перерізу, осьові, відцентровий і полярний моменти інерції, радіуси інерції, осьові й полярний моменти опору тощо.

Розрахунок геометричних характеристик для перерізів простої форми не викликає труднощів, в багатьох підручниках і довідниках наведені формули для їх обчислення. Визначення геометричних характеристик для перерізів, які складаються з декількох простих фігур або прокатних профілів – набагато складніша задача.

Досвід викладання дисциплін «Технічна механіка», «Прикладна механіка», «Опір матеріалів», «Механіка матеріалів і конструкцій», «Будівельна механіка» показує, що обчислення геометричних характеристик складних перерізів викликає у студентів великі труднощі і забирає багато часу на громіздкі арифметичні розрахунки, в яких вони роблять багато помилок.

Використання сучасних комп'ютерних технологій допомагає вирішити цю проблему, дає студенту знання і практичні навички роботи з потужним програмним забезпеченням, надає можливість за рахунок зменшення витрат часу на математичні обчислення розв'язати більшу кількість задач, що сприяє кращому засвоєнню дисципліни і підвищенню якості професійної підготовки майбутніх фахівців.

**Аналіз основних досліджень.** На даний час в багатьох технічних вищих закладах освіти для обчислення геометричних характеристик використовуються авторські програми, розроблені викладачами цих ВЗО. До них можна віднести програму, складену в математичному пакеті MathCAD [1], автор Макаров Є.Г. Для підготовки вихідних даних увесь переріз розбивається на прості фігури: прямокутник, трикутник правий (лівий), коло, та півколо. Програма з великою точністю обчислює геометричні характеристики перерізів складених із простих геометричних фігур, але не може бути використана для перерізів із стандартних прокатних профілів. Натомість програма «Geom 2006» [2], автор Черногубов Д.Є. призначена для визначення геометричних характеристик плоских перерізів, складених з прокатних профілів: рівнобокий і нерівнобокий кутики, двотавр, швелер, штаба. Для розрахунку потрібно ввести розміри прокатних профілів, користуючись стандартами або довідниками. Програма автоматично проводить обчислення, визначає небезпечні точки перерізу і будує еліпс інерції. Якщо безкоштовно зареєструватись на сайті автора, можна отримати додаткову опцію – звіт в форматі текстового редактора MsWord.

Програма «GeomW» [3], автор Тухфатуллін Б.А. призначена для розрахунку геометричних характеристик перерізів будь-якої форми і складності, але призначена виключно для контролю правильності розрахунку. Геометричні характеристики всього перерізу є контрольними величинами і приховані від користувача, неправильно обчислені значення виділяються кольором. В даному випадку студент може знайти помилку в розрахунку перевіряючи величини геометричних характеристик по окремих фігурах.

За допомогою прикладного програмного забезпечення «MDSolids», розробленого професором Тімоті Філпотом (Timothy A. Philpot) [4], також можна обчислювати геометричні характеристики деяких форм поперечних перерізів.

В системі автоматизованого проектування «Компас 3D» [5, 6] передбачений набір сервісних команд, за допомогою яких можна обчислити геометричні характеристики перерізів, які складаються із простих геометричних фігур і із стандартних профілів прокату. Прокатні профілі вибираються із бібліотеки сортаменту, яка вбудована в програму.

В програмному комплексі для розрахунку будівельних конструкцій Scad Office [7] також є декілька спеціальних додатків. За допомогою додатку «Консул» можна створити переріз довільної форми засобами самого додатку, а можна імпортувати із тих графічних редакторів, які підтримують формат DXF і DWG (Компас 3D, AutoCAD, SolidWorks тощо).

Якщо потрібно обчислити геометричні характеристики перерізу, складеного із стандартних профілів прокату, найкраще підходить додаток «Конструктор сечений». В цьому додатку є велика бібліотека профілів, які використовуються не тільки в країнах СНД, а і за кордоном. Зручний інтерфейс дозволяє легко і швидко сконструювати переріз, обчислити його геометричні характеристики і навіть отримати звіт в форматі текстового редактора MsWord.

Велика кількість програм для розрахунку і проектування будівельних конструкцій мають вбудовані можливості для обчислення геометричних характеристик перерізів.

RISASection [8] це інструмент, який дозволяє користувачеві визначати будь-який тип складного поперечного перерізу, комбінуючи стандартні форми або визначаючи нові форми. В одному перерізі можливе використання декількох матеріалів. RISASection обчислює всі властивості перерізу, включно із сталою кручення. Результати розрахунків, отримані в RISASection, можна використовувати в RISA-3D, RISA-2D і RISAFloor. Програма має автоматичне накладення і вирівнювання, необмежену кількість відмін, а також можливість створювати красиві звіти з графічним зображенням поперечного перерізу і багато іншого. Програма підтримує британські та метричні одиниці вимірювання.

ShapeDesigner SaaS [9] це вдосконалений калькулятор загального перерізу балки. ShapeDesigner розраховує структурні характеристики поперечного перерізу при крученні і вигині, включно із сталою кручення, нормальні і дотичні напруження, величини деформації і зсуву. ShapeDesigner – корисний інструмент інженерів-будівельників для проектування або аналізу профілів зі сталі, алюмінію, полімерних або композитних матеріалів.

Cross Section Analysis & Design [10] потужна програма, яка може виконувати широкий спектр розрахунків поперечних перерізів, включаючи проектування залізобетонних секцій. Поперечні перерізи складаються з одного або декількох геометричних об'єктів і можуть бути накреслені безпосередньо за допомогою універсального інтерфейсу. Користувач також може імпортувати стандартні сталеві профілі з повної бібліотеки форм за всіма основними кодами (AISC, австралійсько-новозеландський, китайський, європейський, індійський тощо).

Промислові програми мають очевидні переваги з їх потужними можливостями і надійністю. Однак необхідно витратити чимало часу для того, щоби навчити студента працювати в цих програмах, які були розроблені для потреб досвідчених інженерів і експертів.

**Формулювання мети, постановка завдань.** Метою дослідження є обґрунтування доцільності використання вибраного програмного забезпечення для розрахунку геометричних характеристик перерізів під час вивчення дисциплін «Будівельна механіка», «Опір матеріалів», «Механіка матеріалів і конструкцій» студентами технічних вищих закладів освіти.

До завдань, які необхідно було розв'язати, увійшли:

– огляд, аналіз і визначення дидактичних можливостей програмного забезпечення для розрахунку геометричних характеристик перерізів;

– обґрунтування доцільності використання комп'ютерних програм «Geom 2006», «Консул», «Компас 3D» та «Конструктор сечений» в освітньому процесі для обчислення геометричних характеристик перерізів, необхідних для подальших розрахунків елементів конструкцій на міцність, жорсткість та стійкість.

**Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням отриманих результатів.**

У процесі вирішення завдань з опору матеріалів, що стосуються визначення напружень в балці при її вигині або крученні, перевірки стійкості стиснутих стержнів, а також при вирішенні деяких інших завдань потрібно знати окрім площі інші геометричні характеристики перерізу (момент інерції площі перерізу, момент опору, полярний момент

інерції). По-перше, вони потрібні для вирішення конкретного завдання про визначення напружень в даній балці із заданими розмірами поперечного перерізу. По-друге, вони потрібні для виконання порівняльного аналізу різних типів перерізів і вибору серед кількох різних перерізів з однаковою площею саме того, який буде краще чинити опір вигину або крученню, тобто для підбору оптимального перерізу для балки, яка працює в конкретно заданих умовах.

Рекомендована послідовність розв'язування задачі наступна:

1. Будують переріз у масштабі та вказують всі характерні розміри. За необхідності попередньо виписують необхідні для розв'язку дані із таблиць сортименту.

2. Вибирають найбільш раціональне розміщення допоміжних координатних осей, відносно яких визначають координати центра ваги перерізу.

3. Обчислюють значення координат і показують на рисунку центр ваги перерізу.

4. Проводять центральні осі, паралельні допоміжним осям і, використавши формули паралельного переносу, визначають відносно них величини осьових і відцентрового моментів інерції перерізу.

5. Визначають напрямки головних центральних осей і проводять головні центральні осі перерізу.

6. Обчислюють величини головних моментів інерції.

7. Обчислюють моменти опору відносно головних центральних осей.

Як показує досвід викладання, студенти часто допускають помилки саме в пункті 4. Цей пункт потребує значних і громіздких обчислень і дуже важливо не помилитись знаком відцентрового моменту інерції, який залежить від розташування площ складових частин перерізу відносно центральних осей.

В деяких випадках, якщо переріз складної форми сформовано не з профілів прокату, доцільно побудувати його в сторонньому графічному редакторі і імпортувати в конкретну програму для розрахунку геометричних характеристик в форматі DXF.

Можливість імпорту перерізів складної форми передбачена в програмі «Консул», яка входить до пакету Scad Office. На рис. 1 показано приклад розрахунку геометричних характеристик в програмі «Консул».

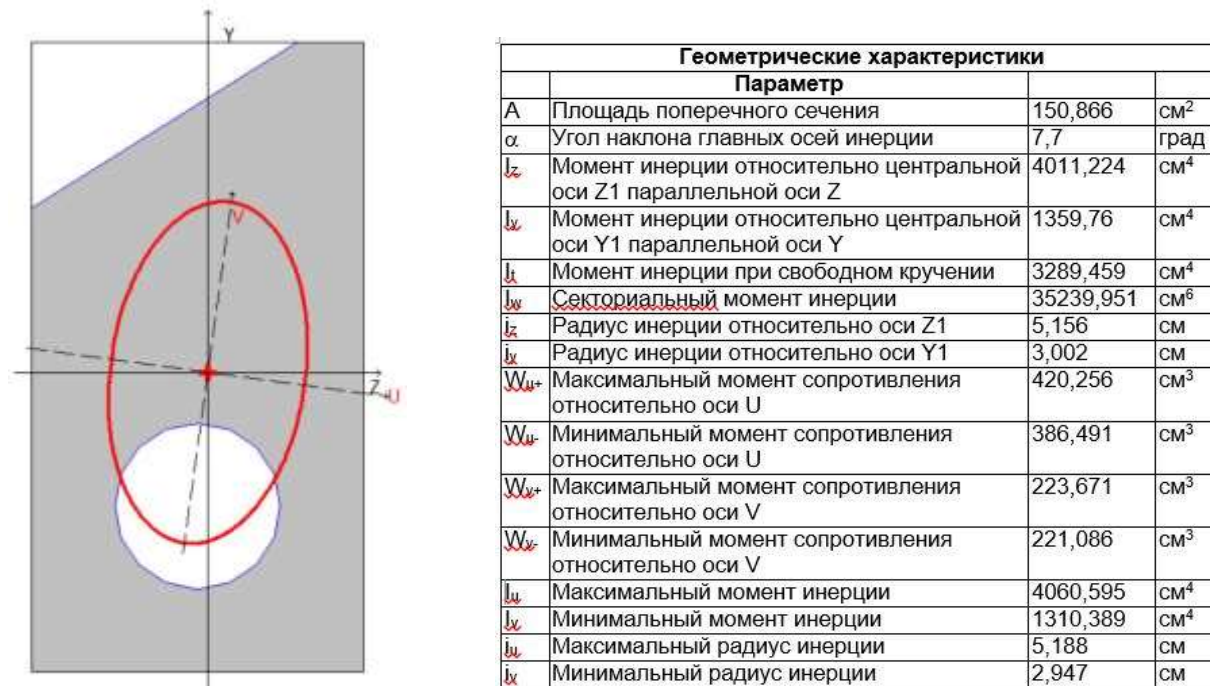


Рис. 1. Приклад розрахунку перерізу в програмі «Консул»

Окрім імпорту, в програмі «Консул» можна створювати довільні форми перерізів за допомогою миші на координатній сітці, або задавати вузлові точки перерізу у вигляді таблиці. Також ця програма може бути використана в освітньому процесі при розрахунку задач на косий згин і позацентровий розтяг-стиск. Програма в кольорі показує стиснуту і розтягнуту зони перерізу, контур нейтральної лінії, небезпечні точки перерізу і значення максимальних напружень в них (рис. 2).

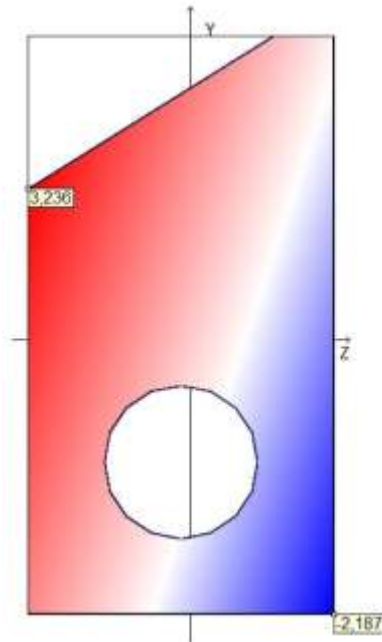
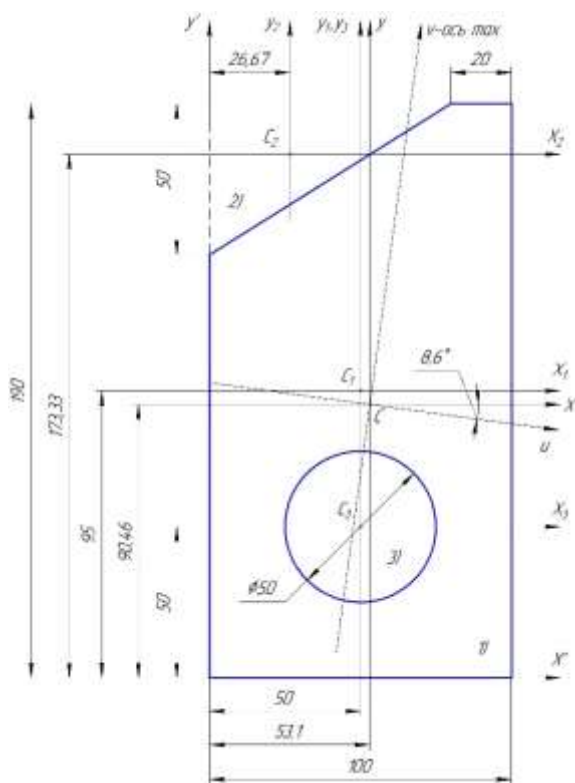


Рис. 2. Поля нормальних напружень перерізу в програмі «Консул»



Расчет МЦХ плоских фигур

Количество тел	N = 1
Количество отверстий	N1 = 1
Площадь	S = 150.37 см <sup>2</sup>
Центр масс	Xc = 5.31 см Yc = 9.05 см
В заданной системе координат:	
Осевые моменты инерции	Jx = 16305.11 см <sup>4</sup> Jy = 5598.45 см <sup>4</sup>
Центробежный момент инерции	Jxy = 7587.46 см <sup>4</sup>
В центральной системе координат:	
Осевые моменты инерции	Jx = 4001.51 см <sup>4</sup> Jy = 1358.17 см <sup>4</sup>
Центробежный момент инерции	Jxy = 364.53 см <sup>4</sup>
В главной центральной системе координат:	
Осевые моменты инерции	Jx = 1308.82 см <sup>4</sup> Jy = 4050.86 см <sup>4</sup>
Угол наклона главных осей	A = 82° 17' 24.86" (82.29°)

Рис. 3. Приклад розрахунку перерізу в програмі «Компас 3D»

Якщо переріз складається із стандартних профілів прокату, то краще використовувати програми «Geom 2006» (рис. 4), «Конструктор сечений» (рис. 5) або «Компас 3D» (рис. 6).

Найбільш точний результат можна отримати в програмі «Geom 2006» тому, що вихідні дані для розрахунків потрібно вводити вручну безпосередньо із таблиць сортаменту або довідників і програма проводить обчислення на основі цих даних. Програми «Компас 3D» і «Конструктор сечений» обчислюють геометричні характеристики графічних зображень профілів, які вставляються в документ із бібліотек. Недоліками програм «Geom 2006» і «Конструктор сечений» можна вважати те, що вони видають графічне зображення перерізу, який розраховується, в растровому форматі BMP, що не дозволяє доповнити або редагувати рисунок.

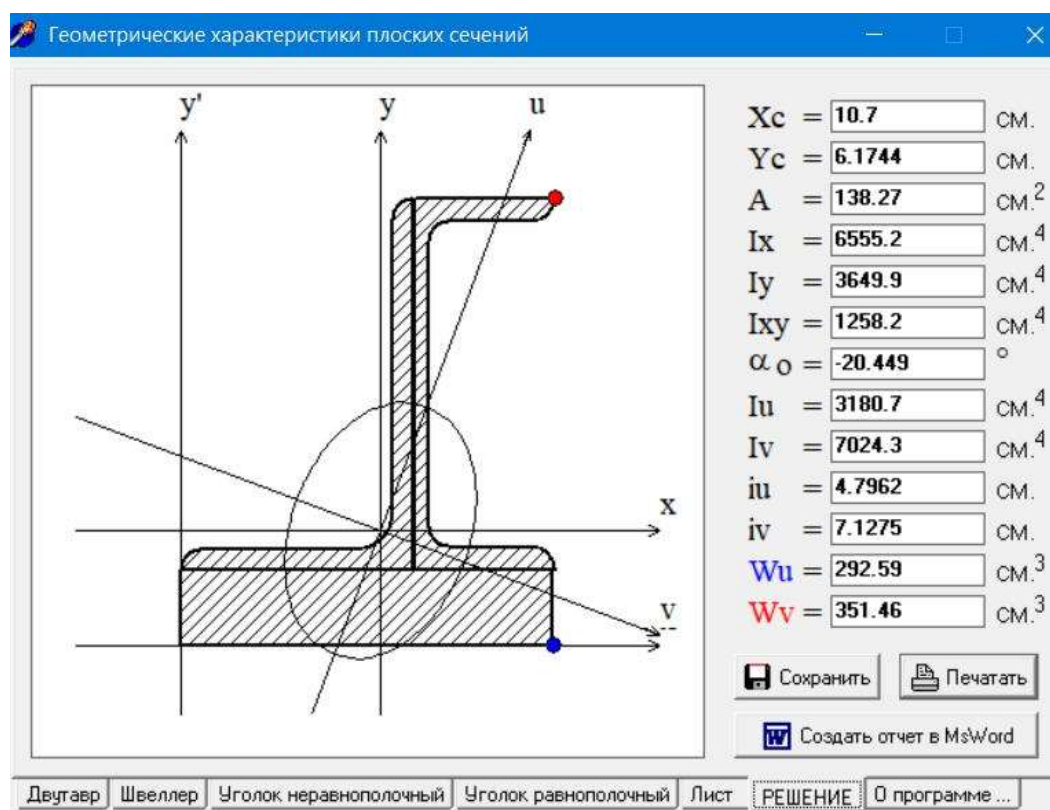


Рис. 4. Приклад розрахунку перерізу в програмі «Geom 2006»

У додатку «Конструктор сечений» можна обчислити геометричні характеристики перерізу складної форми, сформованого із стандартних профілів прокату без введення даних про ці профілі і без обчислення положення центра ваги кожного профілю. Програма сама визначає необхідні дані. Користувачу необхідно лише вказати вид і номер потрібного профілю і точки, в яких вони з'єднуються. Для встановлення кожного профілю в переріз в потрібне місце і під потрібним кутом передбачені зручні команди віддзеркалення і повороту.

Операція «Сдвиг начала координат» дозволяє зробити перенесення початку координат в точку із заданими координатами, в заданий користувачем вузол обраного елемента перерізу або в центр ваги перерізу. Оскільки програма обчислює, зокрема, моменти інерції щодо системи координат користувача, а не тільки щодо головних осей, перенесення початку координат може бути корисним при аналізі геометричних характеристик перерізу.

Корисною опцією додатку є можливість отримати інформацію про кожний елемент перерізу. Якщо натиснути кнопку «Информация об элементе», відкриється вікно «Элемент сечения», в якому можна побачити основні параметри елемента (його розміри, площу і моменти інерції).

Програма також дозволяє отримати поля нормальних напружень, якщо задані внутрішні зусилля в перерізі.

Розглянуті програми побудовані за схожими принципами, тому робота з ними відбувається за одним алгоритмом. Вибирається допоміжна система координат, за необхідності обчислюються координати центрів ваги фігур, з яких складається переріз, формується сам переріз, якщо потрібно – вводяться додаткові дані і проводиться обчислення геометричних характеристик.

Програми орієнтовані на розв'язання задач одного з розділів дисциплін, тому для того, щоби навчити студентів працювати з ними потрібно небагато часу. Як правило, для цього викладачу достатньо продемонструвати підготовку вихідних даних і виконання розрахунку на прикладі однієї типової задачі.

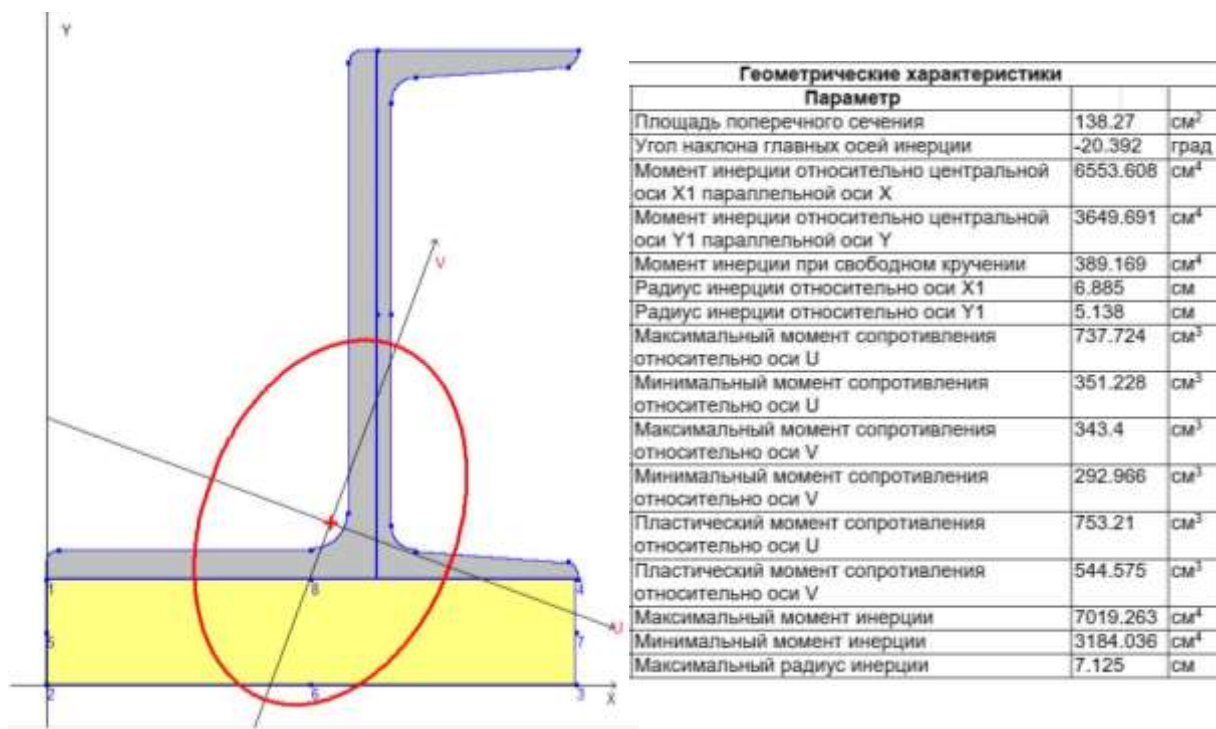


Рис. 5. Приклад розрахунку перерізу в додатку «Конструктор сечений»

В програмі «Компас 3D» (рис.3, рис.6) недостатньо просто сформувати переріз із потрібних профілів. Після того, як переріз сформовано необхідно включити команду «Обход границ по стрелке», яка не завжди працює коректно.

Перед тим, як користуватись цією командою необхідно задати одиниці вимірювання (міліметри, сантиметри чи метри) і потрібну точність розрахунку. За замовчуванням програма проводить обчислення з точністю до шостого знаку після коми, що в принципі не потрібно. Після того, як обчислення будуть проведені необхідно натиснути кнопку «Центр масс» щоб програма відобразила положення центру ваги перерізу на кресленку. Результати розрахунку можна зберегти в текстовому файлі. Програма «Компас 3D» обчислює не всі необхідні геометричні характеристики, але в ній можна отримати якісний векторний кресленик перерізу, який можна редагувати, провести необхідні осі, проставити розміри і зробити написи.

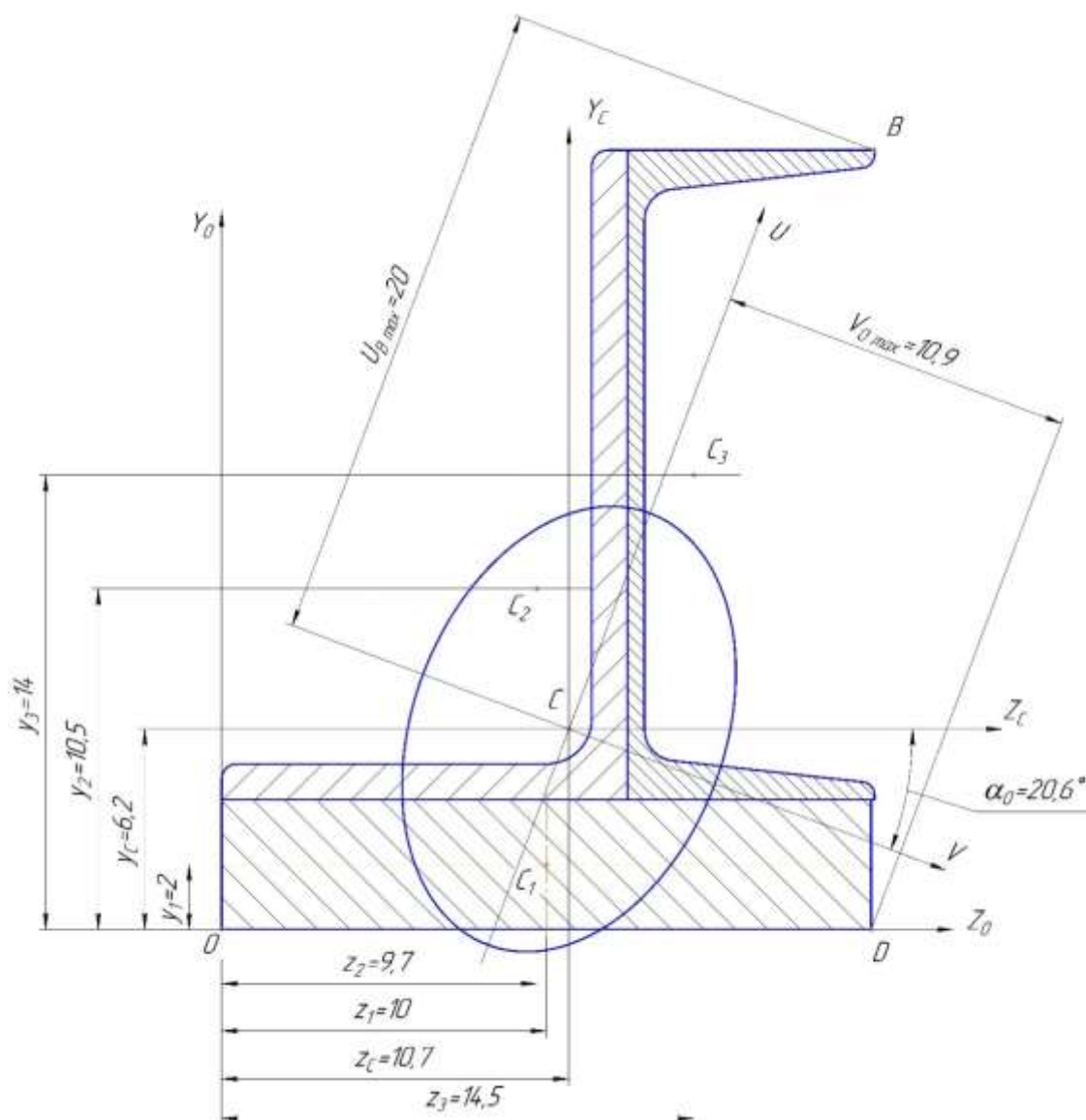


Рис. 6. Приклад розрахунку перерізу в програмі «Компас 3D»

**Висновки, рекомендації, перспективи подальших досліджень.** Використання пропонованого програмного забезпечення в освітньому процесі має ряд переваг: суттєво зменшуються витрати зусиль і часу на громіздкі математичні обчислення, полегшується пошук і виправлення помилок, допущених в ручному розрахунку під час самостійної роботи, що позитивно впливає на процес навчання; виконання розрахунково-графічних завдань з використанням комп'ютерних програм істотно підвищує інтерес студентів до дисципліни, яка вивчається і сприяє кращому закріпленню теоретичних знань і практичних умінь; студенти набувають навичок створення розрахункових схем, підготовки вихідних даних, аналізу отриманих результатів, які необхідні в подальшій роботі з програмними комплексами з розрахунку конструкцій в ході курсового і дипломного проектування; особливо корисно використовувати пропоновані програми в умовах дистанційного навчання як ефективний засіб організації самостійної роботи.

Здійснене дослідження не вичерпує всіх аспектів проблеми. Подальшого дослідження потребують питання розробки методики навчання та експериментальна перевірка системи застосування пропонованого програмного забезпечення для студентів різних спеціальностей.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Макаров Е.Г. Сопротивление материалов на базе Mathcad. Санкт-Петербург: БВХ-Петербург, 2004. 512 с.
2. Geom2006. Program for cross-section properties calculations. 2006. URL: <http://chernogubov.ru/?page=geom> (дата звернення: 13.03.2021).
3. Балки рамы. Строительная механика: сайт. Томск, сор. 2016. URL: [https://stroymeh.tom.ru/programmy/balki\\_ramy](https://stroymeh.tom.ru/programmy/balki_ramy) (дата звернення: 12.12.2016).
4. Девін В.В., Ткачук В.С., Скоробогатов Д.В. Використання програмного комплексу MDSOLIDS у викладанні дисципліни «Механіка матеріалів і конструкцій». Open educational e-environment of modern University. 2018. № 5. с.77-87.
5. Компас-Графік система автоматизованого проектування. URL: <http://kompas.ascon.ru/> (дата звернення: 16.03.2021).
6. Герасимов А. А. Новые возможности КОМПАС-3D V19 . Самоучитель - СПб.: БХВ. Петербург, 2021. 624 с.
7. Интегрированная система прочностного анализа и проектирования конструкций ScadSoft. ScadSoft. 2001-2021. URL: <https://scadsoft.com> (дата звернення: 14.03.2021).
8. Program for calculating builtup section properties RISASection. RISA. 2021. URL: <https://risa.com/products/risasection> (дата звернення: 14.03.2021).
9. Composite section properties calculator software for torsion constant and warping constant. Welcome to MechaTools. 2021. URL: <http://www.mechatools.com/en/shapedesigner.html> (дата звернення: 14.03.2021).
10. Software for the Analysis and Design of structural cross sections home. Engissol Ltd. Structural Engineering Software. 2018-2021. URL: <https://www.engissol.com/cross-section-analysis-design.html> (дата звернення: 14.03.2021).

## COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE CALCULATION OF GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF COMPLEX SECTIONS

### **Vladlen Devin**

PhD (technical sciences), Associate Professor of the Department of General Technical Sciences  
State Agrarian and Engineering University in Podilya, Kamianets-Podilskyi, Ukraine  
[dvvvp.123@gmail.com](mailto:dvvvp.123@gmail.com)  
ORCID: 0000-0003-2994-3144

### **Vasil Tkachuk**

PhD (technical sciences), Associate Professor of the Department of General Technical Sciences  
State Agrarian and Engineering University in Podilya, Kamianets-Podilskyi, Ukraine  
[twsk@i.ua](mailto:twsk@i.ua)  
ORCID: 0000-0001-5414-2387

### **Vasil Burdega**

PhD (technical sciences), Associate Professor of the Department of General Technical Sciences  
State Agrarian and Engineering University in Podilya, Kamianets-Podilskyi, Ukraine  
[burdega\\_vasil@ukr.net](mailto:burdega_vasil@ukr.net)

### **Ruslana Semenyshena**

PhD (pedagogical sciences), Associate Professor of the Department of General Technical Sciences  
State Agrarian and Engineering University in Podilya, Kamianets-Podilskyi, Ukraine  
[alexrusl@ukr.net](mailto:alexrusl@ukr.net)  
ORCID: 0000-0002-2969-3635

**Abstract.** None of the calculations for machine parts, structure elements and constructions for strength, rigidity and stability can be performed without using the geometric cross-section characteristics. These include: cross-sectional area, axial, centrifugal and polar moments of inertia, radius of gyration, axial and polar resistance moments of cross-section, etc. The article discusses the problem of technical specialties students' training quality improvement with information technologies aids. There is a review and proposed methodology of usage the software for calculating the geometric cross-sections properties. There are two groups of software: 1) software developed by teachers of higher educational institutions to use in the educational process; 2) industrial software for design engineers, which can also be used during the educational process. Using as an example the calculation of the geometric cross-sections properties of a complex section formed from several rolled profiles, it is demonstrated that the usage of programs "Geom 2006", "Compass 3D", "Consul" and "Constructor of sections" has the following advantages: decrease the costs of effort and time for routine mathematical calculations, makes it easier to find and correct errors made by manual calculations during individual study, which has a positive effect on the learning process; the implementation of calculation and graphic tasks using computer software significantly increases the interest of students for the discipline that is being studied and contributes to the better consolidation of theoretical knowledge and practical skills; students acquire skills in creating design schemes, preparing initial data, analyzing the obtained results, which are necessary for their further work with software systems for structures calculations during the course and for diploma design; it is especially useful to use the proposed programs for distance learning as an effective tool to organize individual study.

**Keywords:** geometric cross-sections properties; software; calculation method.

#### REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Makarov, E. (2004). *Soprotivlenie materialov na baze Mathcad*. Sankt-Peterburg: BXV-Peterburg. (in Russian)
2. Geom2006. (2006). Program for cross-section properties calculations. <http://chernogubov.ru/?page=geom>
3. Balky ramy. (2016). *Stroytelnaia mekhanyka*. December 12, 2016. [https://stroymeh.tom.ru/programmy/balki\\_ramy](https://stroymeh.tom.ru/programmy/balki_ramy)
4. Devin, V.V., Tkachuk, V.S., & Skorobohatov, D.V. (2018). Using the MDSOLIDS software package in teaching the discipline "Mechanics of materials and structures". *Open educational e-environment of modern University*, 5. 77-87. (in Ukrainian)
5. Kompas-Grafik sistema avtomatizovanogo proektuvannja. (2021). <http://kompas.ascon.ru/>
6. Gerasimov A. (2021). *Novye vozmozhnosti KOMPAS - 3D V19*. Sankt-Peterburg: BXV-Peterburg. (in Russian)
7. ScadSoft. (2001-2021). ScadSoft. <https://scadsoft.com>
8. Program for calculating builtup section properties RISASection. (2021). RISA. <https://risa.com/products/risasection>
9. Composite section properties calculator software for torsion constant and warping constant. Welcome to MechaTools. (2021). <http://www.mechatools.com/en/shapedesigner.html>
10. Software for the Analysis and Design of structural cross sections home. Engissol Ltd.-Structural Engineering Software. (2018-2021). <https://www.engissol.com/cross-section-analysis-design.html>