

При друку деталей із великою площею тіла у горизонтальній площині варто застосувати налаштування із температурою 220°C та примусовим охолодженням. В інших випадках – 200 °C із пасивним охолодженням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крохмаль А. С., Казакова Н. Ю. Применение 3D-печати в формировании образа современных городских пространств. // Вестник МГХПА «Декоративное искусство и предметно-пространственная среда». — № 1 — 2, 2020. — С. 260—267.
2. Сравнение ABS, PLA, SBS, PETG. Различие пластиков: свойства, хранение, применение. [Електронний ресурс] Режим доступу <https://rusabs.ru/blogs/blog/razlichie-mezhdu-abs-i-pla-dlya-3d-pechati>
3. PLA-пластик для 3D-печати [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://3d-plastic-spb.ru/pla-plastik/>
4. Що таке 3D друк? Як працює 3d принтер? [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://xn--3--klcb4a9av.xn--j1amh/%D1%89%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B5-3d-%D0%B4%D1%80%D1%83%D0%BA-%D1%8F%D0%BA-%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%8E%D1%94-3d-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80/>

УДК 539.4.01:004.42

ПРО КОМП'ЮТЕРНІ ПРОГРАМИ СПРОЩЕНОГО РОЗРАХУНКУ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК НА МІЦНІСТЬ І ЖОРСТКІСТЬ

Ю.С. Холодняк¹, О.А. Костіков², С.В. Капорович³

¹к.т.н., доцент, зав. кафедрою технічної механіки, е-mail: holodhjak.yuri@gmail.com

²к.ф.-м.н., доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, е-mail: alexkst63@gmail.com

³к.т.н., ст.викладач кафедри технічної механіки, е-mail: kaporovych@gmail.com

^{1, 2, 3} Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Анотація. Розроблено додатковий розрахунковий блок до раніше створених комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність статично визначуваних двотаврових балок. Удосконалені програми визначають опорні реакції балок, будують епюри поперечних сил і згинальних моментів, підбирають потрібні номери двотаврів, а також визначають шукані переміщення і будують графіки їх зміни по довжині балок. Впровадження цих програм у навчальний процес надасть студентам нові можливості в формуванні у них професійних навичок. Також розроблені програми будуть корисними і для фахівців-практиків при розв'язанні ними реальних технічних задач.

Ключові слова: двотаврові балки, міцність, переміщення, спрощені розрахунки, Mathcad, комп'ютерні програми.

ABOUT COMPUTER PROGRAMS FOR SIMPLIFIED STRENGTH AND STIFFNESS ANALYSIS OF I-BEAMS

Yuri Kholodniak¹, Alexander Kostikov², Svitlana Kaporovych³

¹Ph.D., Associate Professor, Head of Technical Mechanics Department, e-mail: holodnjak.juri@gmail.com

²Ph.D., Associate Professor of Manufacturing Processes and Automation Engineering Department, e-mail: alexkst63@gmail.com

³Ph.D., Senior Lecturer of Technical Mechanics Department, e-mail: kaporovych@gmail.com
^{1,2,3} Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Abstract. An additional calculation unit has been developed for previously created computer programs for simplified calculation of the strength of statically determined I-beams. Advanced programs determine the support reactions of beams, plot transverse forces and bending moments, select the necessary I-beam numbers, as well as determine the desired displacements and plot their changes along the length of the beams. The introduction of these programs into the educational process will provide students with new opportunities to develop their professional skills. The developed programs will also be useful for practitioners in solving real technical problems.

Keywords: I-beams, strength, displacement, simplified calculations, Mathcad, computer programs.

Введення. Стрімкий розвиток техніки вимагає підготовки високоосвічених фахівців для створення нових машин, механізмів, матеріалів, споруд. Успішному вирішенню цього глобального завдання покликане допомогти наповнення вузівських дисциплін інженерної підготовки новітніми досягненнями науки і техніки.

Опір матеріалів закладає основи інженерних розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість елементів машин і споруд. Тому від його наповнення новими знаннями і методичними підходами багато в чому залежить рівень підготовки майбутніх інженерів до вирішення складних технічних завдань.

Чимала увага в цьому курсі традиційно приділяється стрижневим конструкціям, перш за все балкам, які є важливими елементами багатьох машин і споруд.

Балки мають різні форми поперечних перерізів, проте найбільш поширеними серед них є двотаврові профілі (рис. 1), які поєднують в собі значні економічні переваги і зручності монтажу.

Розрахунки на міцність статично визначених двотаврових балок зазвичай включають такі послідовно виконувані дії [1], як визначення опорних реакцій, побудова епюр поперечних сил та згинаючих моментів, підбір номера двотавра з умови міцності по нормальним напруженням, перевірка його міцності по дотичним та еквівалентним напруженням.

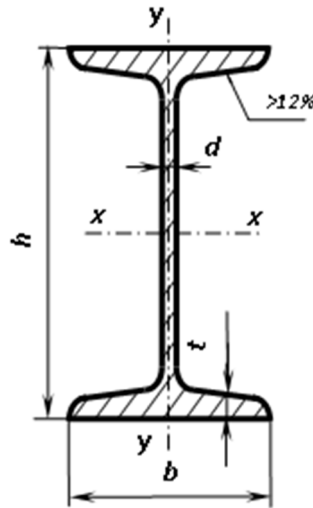


Рис. 1. – Двотавровий профіль (по ГОСТ 8239-89)

Зазначена послідовність дій у разі її реалізації традиційним «ручним» способом вимагає чималих витрат часу і достатньо високої кваліфікації виконавців, що є істотним недоліком такого роду розрахунків.

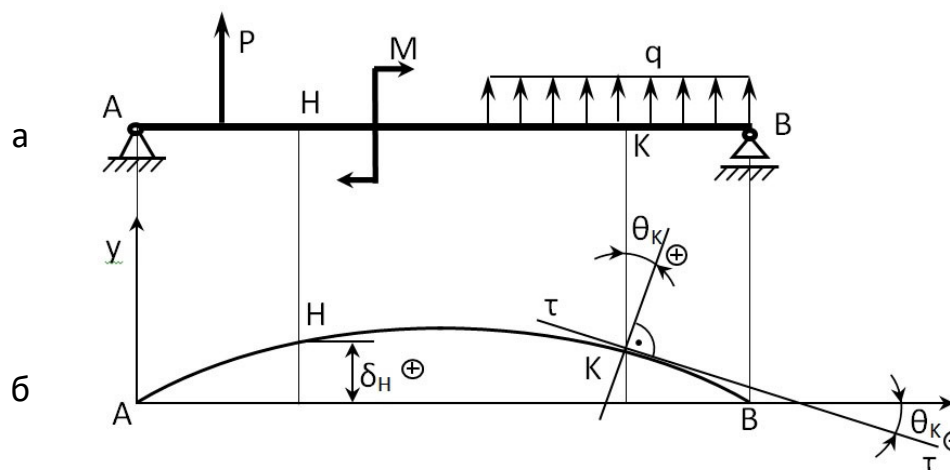
Певне спрощення цим розрахункам надає концепція використання так званих безпечних факторних просторів двотаврів, яка формалізує і значно спрощує два останні етапи розрахунку, залишаючи при цьому незмінними попередні [2, 3].

Для максимального використання переваг цієї концепції створені наскрізні комп'ютерні програми, що включають всі зазначені етапи розрахунку на міцність статично визначених двопорних і консольних двотаврових балок [4, 5].

Мета роботи. Метою даної роботи є розширення можливостей цих програм шляхом приєднання до них розрахункових блоків з визначення лінійних і кутових переміщень.

Матеріал і результати досліджень.

Пояснимо сутність зазначених переміщень. Для цього розглянемо балку з довільним навантаженням, що не приводить до появи в балці пластичних деформацій (рис. 2). Під дією цього навантаження балка втрачає свою спочатку пряму форму і стає опуклою. Поздовжня вісь балки, яку називають пружною лінією, викривляється і її точки отримують вертикальні лінійні переміщення-прогини, які зазвичай позначають буквою δ . Разом з цим поперечні перерізи балки отримують кутові переміщення – кути повороту навколо горизонтальних осей, що проходять через ту чи іншу точку пружною лінії. Кутові переміщення позначаються зазвичай буквою Θ . Зазначеним переміщенням присвоюють індекси відповідних точок.



а – навантажена балка; б – пружна лінія балки з позначеними переміщеннями точок

Рис. 2. – Схема до понять лінійних і кутових переміщень

Для визначення лінійних і кутових переміщень в балках скористаємося універсальним методом Мору [6]. Згідно з цим методом для визначення прогину балки в точці Н і кута повороту перетину К потрібно обчислити відповідні інтеграли:

$$\delta_H = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int_L M(z) \cdot \bar{M}(z) \cdot dz, \quad (1)$$

$$\theta_K = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int_L M(z) \cdot \bar{M}'(z) \cdot dz, \quad (2)$$

де $E \cdot J_x$ – жорсткість перерізу балки при згинанні у площині yz (див. рис. 2);

L – довжина балки;

$M(z)$ – закон зміни за довжиною балки згинального моменту від заданого навантаження;

$\bar{M}(z)$ – закон зміни за довжиною балки згинального моменту від вертикальної одиничної сили $P = 1$, що прикладена в точці Н;

$\bar{M}'(z)$ – закон зміни за довжиною балки згинального моменту від одиничного згинального моменту $M = 1$, який прикладений у перерізі К.

Закони $M(z)$ визначені у вищевказаних програмах розрахунків міцності балок.

Закони $\bar{M}(z)$ і $\bar{M}'(z)$ встановлені в даній роботі в залежності від місць прикладання до балок одиничних силових факторів.

Враховуючи, що графіки залежностей $M(z)$ в розрахунках балок на міцність будувалися по точках з кроком Δz , такий же підхід застосували і до залежностей $\bar{M}(z)$ і $\bar{M}'(z)$. Це дозволило замінити інтеграли в формулах (1) і (2) відповідними сумами:

$$\delta_H = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot \bar{M}_i \cdot \Delta z, \quad (3)$$

$$\theta_K = \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \sum_{i=1}^n M_i \cdot \bar{M}'_i \cdot \Delta z, \quad (4)$$

де $i=1 \dots n$ – номери кроків;

n – кількість кроків на довжині балки;

$M_i, \bar{M}_i, \bar{M}'_i$ – відповідно поточні значення згинальних моментів від заданого навантаження, одиничної сили і одиничного моменту (рис.3).

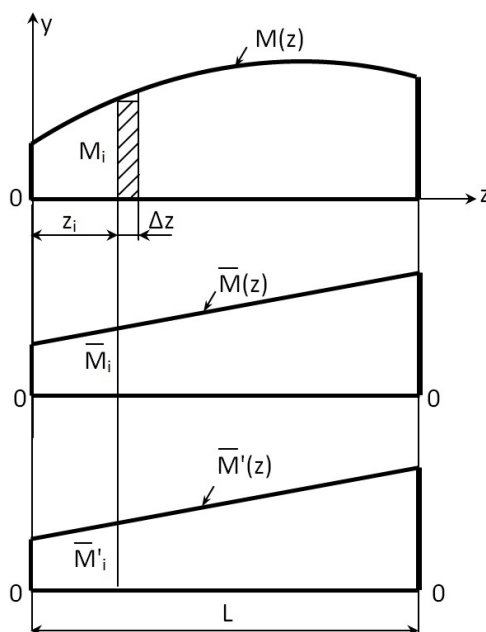


Рис. 3. – Схема к формулам (3) и (4)

Формули (3) і (4) є наближеними, але, враховуючи невелику величину кроків (1 ... 2 см), їх можна вважати досить точними.

Визначення переміщень є логічним продовженням раніше створених програм розрахунку на міцність двотаврових балок, приєднаним до них у вигляді додаткового розрахункового блоку. Для активації цього блоку необхідно ввести в доповнені програми відстані від лівого кінця балки до точок, в яких визначаються переміщення, – l_H і l_K .

Поряд з визначенням лінійних і кутових переміщень в окремих точках балок доповнені програми дозволяють також будувати графіки цих переміщень по довжині балок. Для цього слід вказати відповідні інтервали: $0 \leq l_H \leq L$ і $0 \leq l_K \leq L$.

Роботу доповнених програм оцінювали в серії розрахунків двотаврових балок різних типів зі сталі Ст.3 (рис. 4 – 6). У цих розрахунках прийняті: третя теорія міцності, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$. В якості ілюстрації роботи однієї з таких програм далі наведено комп'ютерний варіант розрахунку двохопорної балки, показаної на рис. 4.

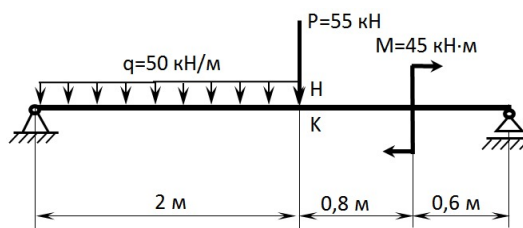


Рис. 4. – Схема двохопорної балки

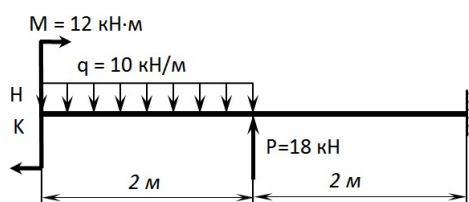


Рис. 5. – Схема консольної балки с опорю справа

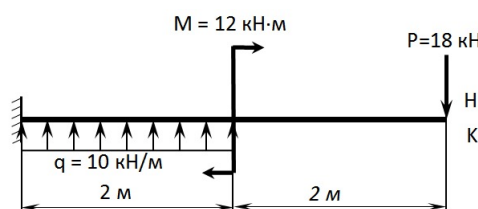


Рис. 6. – Схема консольної балки с опорю зліва

Для оцінки доповнених програм виконували також відповідні «ручні» розрахунки за традиційними методиками опору матеріалів [1].

Результати обох серій розрахунків, представлених в таблиці 1, свідчать про цілком достатню точність доповнених програм, практично не відрізняється від точності відповідних «ручних» варіантів розрахунку.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз варіантів розрахунку

Значення величин	Комп'ютерні розрахунки			Традиційні розрахунки		
	Балка, рис. 4	Балка, рис. 5	Балка, рис. 6	Балка, рис. 4	Балка, рис. 5	Балка, рис. 6

Номер двотавра	27а	14	27а	27а	14	27а
δ_n , мм	-5,986	-50,000	-37,200	-5,989	-50,117	-37,213
Θ_k , град	-0,124	-0,467	0,808	-0,124	-0,467	0,806

Приклад. Для заданої двохопорної балки (рис.4) визначити номер двотавра, достатній для забезпечення її повної міцності.

Рішення.

1. Введення зосереджених сил, моментів пар сил і їх розташування:

Введіть зосереджені сили P, їх розташування d, моменти пар сил M та їх розташування c

$$P := \begin{pmatrix} -55 \\ 0 \end{pmatrix} \text{kN} \quad d := \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad M := \begin{pmatrix} 45 \\ 0 \end{pmatrix} \text{kN}\cdot\text{m} \quad c := \begin{pmatrix} 2.8 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m}$$

2. Введення довжини балки, розташування опор на ній, розподілених навантажень, їх розташування і протяжності:

Введіть розподілені навантаження q, їх розташування a, протяжність b, довжину балки L та розташування опор на балці l₁ та l₂

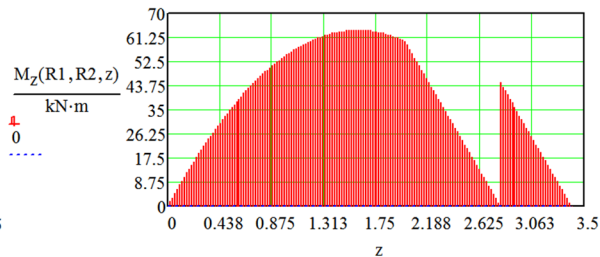
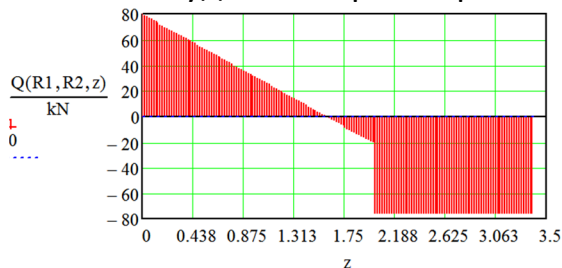
$$q := \begin{pmatrix} -50 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad a := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad b := \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} \text{m} \quad L := 3.4\text{m} \quad l_1 := 0\text{m} \quad l_2 := 3.4\text{m}$$

3. Знаходження опорних реакцій балки:

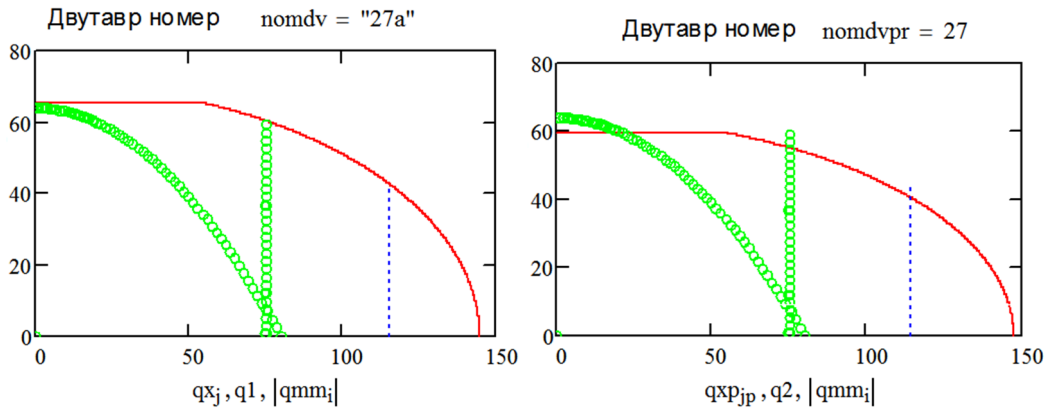
$$R_2 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[\sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i - \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_1)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(a_i + \frac{b_i}{2} - l_1 \right) \right] \right] = 7.5 \times 10^4 \text{N}$$

$$R_1 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[- \sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i + \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_2)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(l_2 - a_i - \frac{b_i}{2} \right) \right] \right] = 8 \times 10^4 \text{N}$$

4. Побудова епюр поперечних сил і згинальних моментів:



5. Визначення необхідного номера двотавра і порівняння з попереднім номером двотавра:



6. Залежності згинального моменту від положення одиничної сили і координати z перерізу балки:

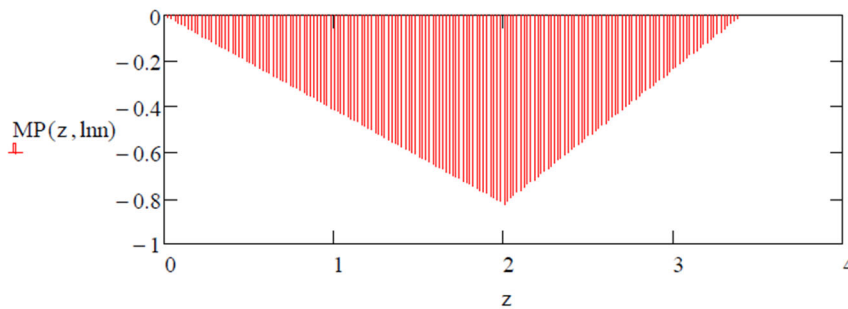
$$MP1(z, lnn) := \begin{cases} z - lnn & \text{if } (z > lnn) \wedge (z \leq l_1) \\ (z - lnn) - \frac{(l_2 - lnn)}{(l_2 - l_1)} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$MP3(z, lnn) := \begin{cases} \frac{(lnn - l_2)}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z \geq l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ lnn - z & \text{if } (z > l_2) \wedge (z \leq lnn) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$MP2(z, lnn) := \begin{cases} -\frac{(l_2 - lnn)}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq lnn) \\ -\frac{(l_2 - lnn)}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) + (z - lnn) & \text{if } (z > lnn) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$MP(z, lnn) := \begin{cases} MP1(z, lnn) & \text{if } (lnn \geq 0) \wedge (lnn \leq l_1) \\ MP2(z, lnn) & \text{if } (lnn > l_1) \wedge (lnn \leq l_2) \\ MP3(z, lnn) & \text{if } (lnn > l_2) \wedge (lnn \leq L) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

7. Побудова епюри згинальних моментів при навантаженні балки одиничною силою в точці Н:

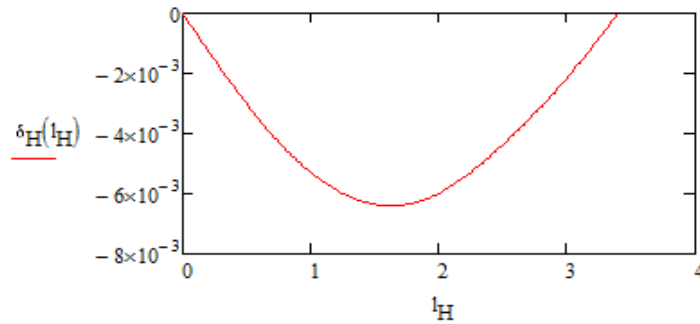


8. Знаходження прогину δ_H в заданій точці балки:

$$E := 2 \cdot 10^{11} \frac{N}{m^2} \quad J_x := 5500 \cdot 10^{-8} m^4 \quad lnn = 2 m$$

$$\delta_n(lng_r) := \frac{1}{E \cdot J_x} \int_0^L MP(z, lng_r) \cdot M_z(R1, R2, z) dz \quad \delta_n(lnn) = -5.98562037 \times 10^{-3} m$$

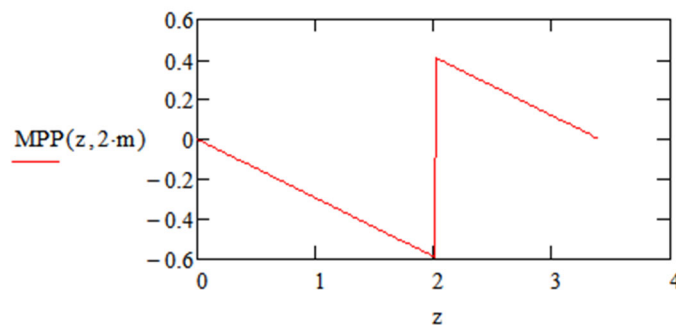
9. Побудова графіка зміни величини δ_H уздовж довжини балки:



10. Залежності згинального моменту від координати перерізу балки z і положення одиничного моменту l_k :

$$\begin{aligned}
 \text{MPP1}(z, l_{kn}) &:= \begin{cases} 1 & \text{if } (z > l_{kn}) \wedge (z \leq l_1) \\ 1 - \frac{1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} & \text{MPP2}(z, l_{kn}) &:= \begin{cases} \frac{-1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z > l_1) \wedge (z \leq l_{kn}) \\ \frac{-1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) + 1 & \text{if } (z > l_{kn}) \wedge (z \leq l_2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 \text{MPP3}(z, l_{kn}) &:= \begin{cases} \frac{-1}{l_2 - l_1} \cdot (z - l_1) & \text{if } (z \geq l_1) \wedge (z \leq l_2) \\ -1 & \text{if } (z > l_2) \wedge (z \leq l_{kn}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} & \text{MPP}(z, l_{kn}) &:= \begin{cases} \text{MPP1}(z, l_{kn}) & \text{if } (l_{kn} \geq 0) \wedge (l_{kn} \leq l_1) \\ \text{MPP2}(z, l_{kn}) & \text{if } (l_{kn} > l_1) \wedge (l_{kn} \leq l_2) \\ \text{MPP3}(z, l_{kn}) & \text{if } (l_{kn} > l_2) \wedge (l_{kn} \leq L) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

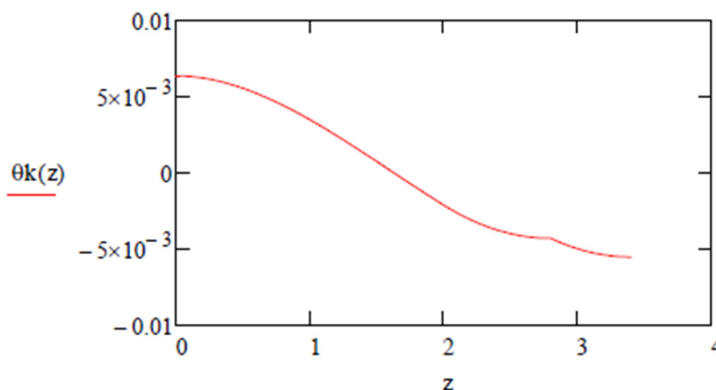
11. Побудова епюри згинальних моментів при навантаженні балки одиничним моментом в точці К:



12. Знаходження кута повороту перерізу θ_k в заданій точці балки:

$$\theta_k(l_{ngt}) := \frac{1}{E \cdot J_x} \cdot \int_0^L \text{MPP}(z, l_{ngt}) \cdot M_z(R1, R2, z) dz \quad \theta_k(2\text{-m}) = -2.1635507 \times 10^{-3}$$

13. Побудова графіка зміни величини θ_k уздовж довжини балки :



Висновок. Розроблено додатковий розрахунковий блок до раніше створених комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність статично визначених двохпорних і консольних двотаврових балок.

Розроблений блок дозволяє визначати методом Мора лінійні і кутові переміщення в заданих точках балок і будувати їх графіки.

Доповнені програми пройшли успішну апробацію в серії розрахунків двотаврових балок різних типів, продемонструвавши свою працездатність і ефективність. У порівнянні з «ручними» методами розрахунків вони суттєво спрощують і прискорюють процес обчислень, не зменшуючи при цьому його точність.

Впровадження доповнених програм у навчальний процес надасть студентам нові можливості у формуванні у них професійних навичок. Зазначені програми як досить простий розрахунковий засіб буде корисним і для фахівців-практиків при вирішенні ними реальних технічних завдань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кутувий Л.В., Овчаренко В.А., Холодняк Ю.С., Соломін М. О., Деньщиков О. Ю. Збірник розрахунково-графічних завдань з курсу «Опір матеріалів» (для студентів всіх механічних спеціальностей денної форми навчання): навч. посіб. Краматорськ: ДДМА, 2007. 220 с.
2. Холодняк Ю.С., Периг А.В. , Матвеев И.А. О методике изложения вопросов прочности двутавровой балки. Современное образование и интеграционные процессы: сб. науч. тр. Краматорск: ДГМА, 2012. С. 351 – 362.
3. Холодняк Ю.С., Периг А.В. , Матвеев И.А. Совершенствование методики прочностного расчёта двутавровой балки и её изложения в курсах технических дисциплин. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Пермь: ПНИПУ, 2012. С. 77 – 90.
4. Холодняк Ю.С., Костіков А.А., Подлесний С.В., Капорович С.В. Про комп'ютерні програми до спрощеної методики комплексної оцінки міцності двотаврових балок. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. пр. Краматорськ: ДДМА, 2019. № 3 (47). С. 72 – 81.

5. Kholodnyak Yu.S., Kostikov A.A , Podlesnyi S.V., Kaporovitch S.V. About computer programs for simplified methodology of complex assessment of strength of two – beam beams. Перспективні технології та прилади: зб. наук. пр. Луцьк: ЛНТУ, 2019. №15. С.99 – 108.

6. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Є. С. Уманський Є. С. Опір матеріалів: підручник для ВНЗ. К.: Вища школа, 2004. 655 с.

УДК 629.021: 629.026

ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМУ ВИДІ ПАЛИВА ТА ПРОГНОЗ РОЗВИТКУ

В.В. Кривда

Кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна, e-mail: vitaliy.krivda@gmail.com

Анотація. У роботі наведено аналіз транспортних засобів на альтернативних видах палива, включаючи транспорт, що працює в комплексі на декількох видах палива, гібриди, електромобілі, автомобілі на водневому паливі.

Ключові слова: автомобіль, транспортний засіб, гібрид, альтернативна енергія, паливо.

VEHICLES WITH AN ALTERNATIVE FUEL FORECAST AND IT DEVELOPMENT

V.V. Krivda

Ph.D., Associate Professor of the Department of Automotive and Automotive Industry, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: vitaliy.krivda@gmail.com

Abstract. The paper provides an analysis of vehicles using alternative fuels, including vehicles operating in a complex on several types of fuel, hybrids, electric vehicles, cars on hydrogen fuel.

Keywords: car, vehicle, hybrid, alternative energy, fuel.

Вступ. Світова тенденція розвитку автомобільного транспорту все наполегливіше диктує нам перехід на альтернативні види палива. Це обумовлено екологічними, естетичними, моральними та іншими нормами. Однак, виробники традиційних видів палива всіляко штучно гальмують процес переходу, зважаючи на різні інтереси.