

УДК 539.4.01: 004.42

Холодняк Ю. С., Костіков О. А., Подлєсний С. В., Капорович С. В.

РОЗВИТОК КОМП'ЮТЕРНИХ ПРОГРАМ СПРОЩЕНОГО РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК

Стрімкий розвиток техніки потребує підготовки високоосвічених інженерних кадрів для створення нових зразків машин, механізмів, матеріалів, споруд. Успішному вирішенню цієї глобальної задачі призвано посприяти наповнення дисциплін інженерної підготовки у вищих навчальних закладах новітніми досягненнями науки і техніки.

Опір матеріалів входить до числа обов'язкових навчальних дисциплін майбутніх інженерів майже всіх спеціальностей, тому саме від його наповнення новими знаннями багато в чому залежить рівень їх підготовки до вирішення складних технічних проблем.

Чимала увага в цьому курсі традиційно приділяється питанням розрахунків на міцність і жорсткість стрижневих конструкцій, насамперед балок, які є важливими елементами багатьох машин і споруд.

Балки мають різноманітні форми поперечних перерізів, однак найбільш поширеним серед них є двотавровий профіль (рис. 1), який поєднує в собі значні економічні переваги і зручності монтажу.

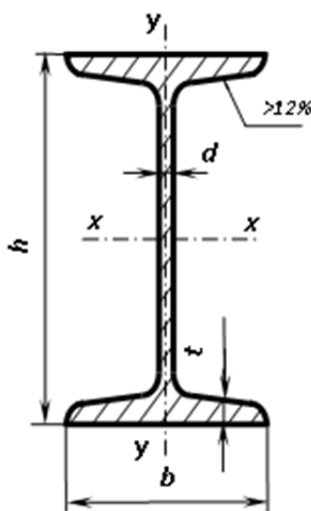


Рис. 1. Двотавровий профіль (по ГОСТ 8239-89)

Розрахунки на міцність статично визначуваних двотаврових балок зазвичай складаються із таких послідовно виконуваних дій [1]:

- визначення опорних реакцій (не обов'язково для консольних балок);
- побудова епюр поперечних сил і згинальних моментів;
- вибір потрібного номера двотавра з умови міцності за нормальними напруженнями;
- перевірка вибраного номера двотавра на виконання умов міцності за дотичними і еквівалентними напруженнями.

Зазначена процедура в разі її реалізації традиційним («ручним») способом потребує чималих витрат часу і достатньо високої кваліфікації виконавців, що є її суттєвим недоліком.

Певне поліпшення цій процедурі 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 програми розрахунку на міцність статично визначуваних двохпорних і консольних двотаврових балок [4, 5].

Метою даної роботи є подовження цих програм шляхом приєднання до них розрахункових блоків з визначення лінійних і кутових переміщень в балках.

Пояснимо сутність зазначених переміщень. Для цього розглянемо балку з довільним навантаженням, яке не призводить до появи в ній пластичних деформацій (рис. 2). Під дією цього навантаження балка втрачає свою первісно пряму форму і стає опуклою. Подовжня вісь балки, котру називають пружною лінією, викривляється і її точки отримують вертикальні лінійні переміщення – прогини, які зазвичай позначають буквою δ . Разом з цим поперечні перерізи балки одержують кутові переміщення – кути повороту навкруги горизонтальних осей, що проходять через ту чи іншу точку пружної лінії. Кутові переміщення позначаються звичайно буквою θ . Вказаним переміщенням надають індекси відповідних точок.

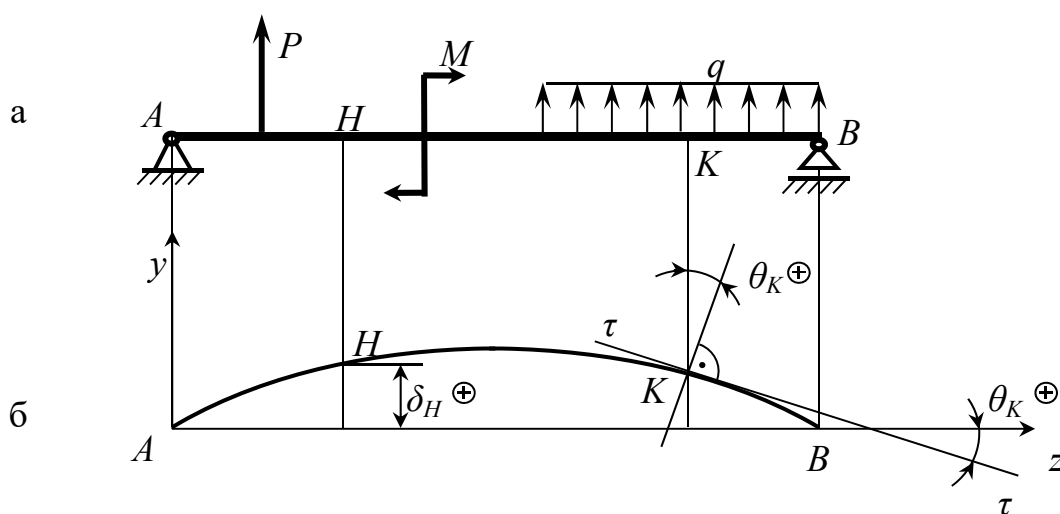


Рис. 2. Схема до понять лінійних і кутових переміщень

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

Для визначення лінійних і кутових переміщень у балках скористуємось універсальним методом Мора [6].

Згідно з цим методом для визначення прогину балки в точці H і кута повороту перерізу, що проходить через точку K (надалі – перерізу K), треба 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 H ;

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

Закопи $M(z)$ є визначеними у вище зазначених програмах розрахунків на міцність двотаврових балок. Аналогічно визначені в даній роботі й закопи $\bar{M}(z)$ та $\bar{M}'(z)$ в залежності від місць прикладення до балок одиничних силових факторів.

Враховуючи, що графіки залежностей $M(z)$ (тобто вантажні епюри згинальних моментів) у розрахунках балок на міцність будувались по точках з кроком Δz , застосуємо такий саме підхід і по відношенню до залежностей $\bar{M}(z)$ та $\bar{M}'(z)$.

У цьому разі обчислення інтегралів (1) і (2) зведеться до визначення відповідних сум (рис. 3):

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

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

де $i = 1 \dots n$ – номери кроків;

n – кількість кроків на довжині балки;

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

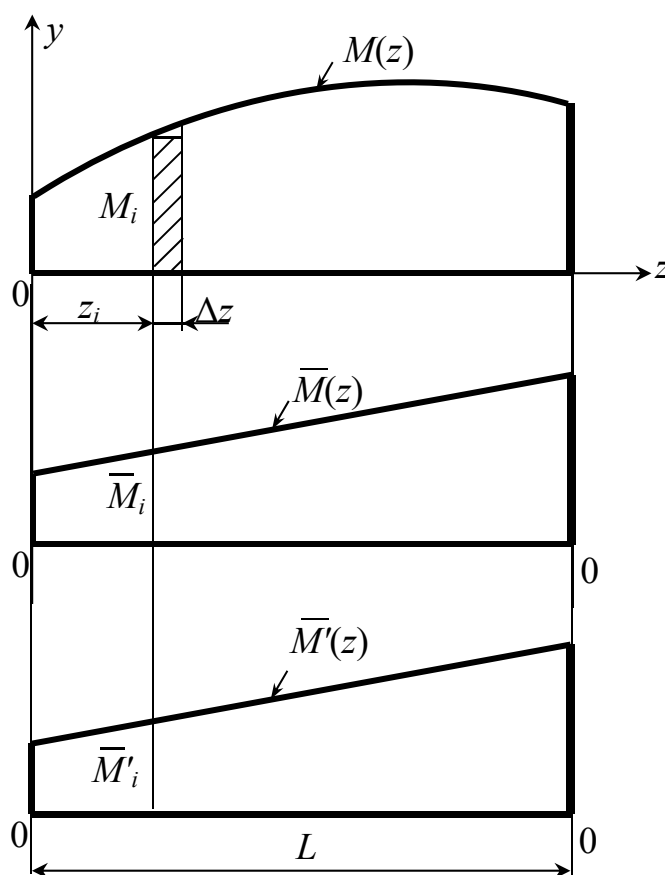


Рис. 3. Схема до формул (3) і (4)

Формули (3) і (4) є наближеними, але з огляду на невеличку величину кроків (1...2 см) їх можна вважати достатньо точними.

Визначення переміщень є логічним подовженням раніше створених програм розрахунку на міцність двотаврових балок і приєднано до них у вигляді додаткового розрахункового блоку. Для активації цього блоку треба додатково ввести в існуючі програми координати точок, в яких визначаються переміщення – ℓ_H та ℓ_K .

Поряд з визначенням переміщень у окремих точках балок подовжені програми мають можливість також будувати графіки $\delta_H(z)$ і $\theta_K(z)$ по довжині балок. Для цього вводяться відповідні інтервали: $0 \leq \ell_H \leq L$ та $0 \leq \ell_K \leq L$.

Роботу подовжених програм досліджували в серії розрахунків балок різних типів із сталі Ст.3 (рис. 4 – 6), в яких ставилася задача підбору для них за третьою теорією міцності необхідного номера двотавра з подальшим визначенням лінійних і кутових переміщень в їх позначених точках і побудовою відповідних графіків по довжині балки. У цих розрахунках прийнято: $[\sigma] = 160$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

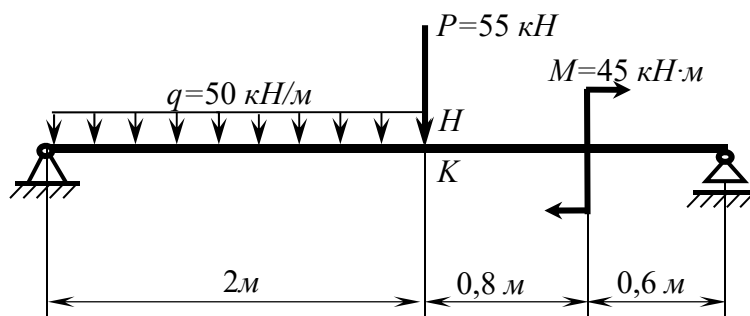


Рис. 4. Схема двохопорної балки

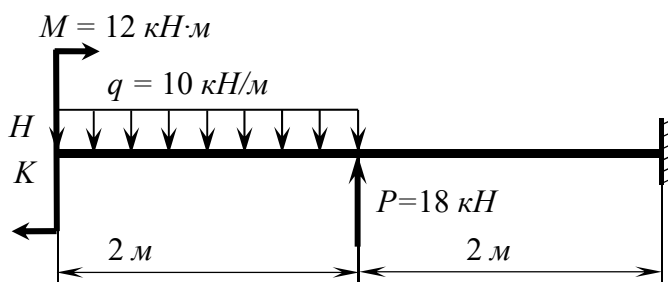


Рис. 5. Схема консольної балки з опорою справа

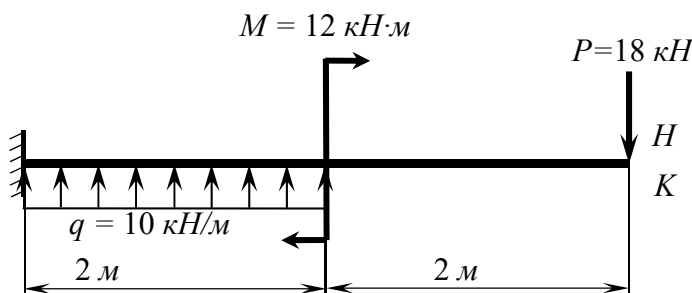


Рис. 6. Схема консольної балки з опорою зліва

Для контролю комп'ютерних розрахунків проводились також відповідні «ручні» розрахунки за традиційною методикою опору матеріалів [1].

Результати обох серій розрахунків представлені в таблиці 1. У якості ілюстрації виконаної розробки наведено також комп'ютерний варіант розрахунку двохопорної балки (див. рис. 4).

Таблиця 1

Порівняльний аналіз результатів обчислень

Значення величин	Результати комп'ютерних обчислень			Результати традиційних обчислень		
	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_H , 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

Наведені матеріали однозначно свідчать про працездатність і ефективність подовжених програм. У порівнянні з традиційними методами аналогічних розрахунків вони суттєво спрощують і прискорюють процес обчислень, не зменшуючи при цьому його точність.

КОМП'ЮТЕРНИЙ ВАРІАНТ РОЗРАХУНКУ ДВОХОПОРНОЇ БАЛКИ

1. Введення зосереджених сил, моментів пар сил та 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 і розподілених навантажень, інтенсивності цих навантажень:

Введіть розподілені навантаження q , їх розташування a , протяжність b , довжину балки L та розташування опор на балці l_1 та l_2

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

3. Знаходження опорних реакцій балки:

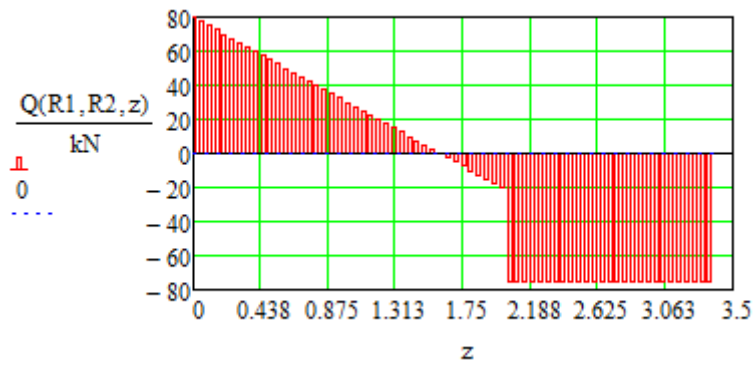
$$R_2 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[\sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i - \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_1)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(a_i + \frac{b_i}{2} - l_1 \right) \right] \right]$$

$$R_2 = 7.5 \times 10^4 \text{N}$$

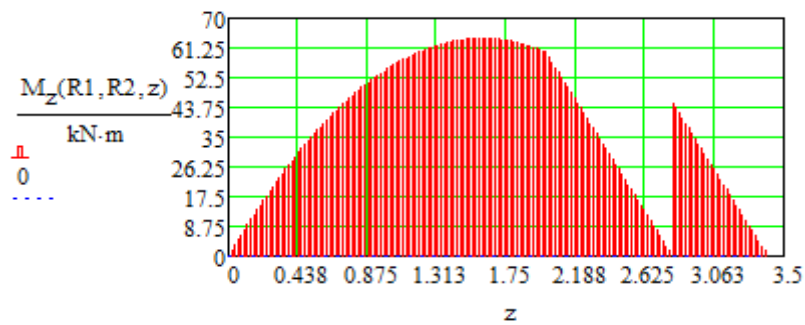
$$R_1 := \frac{1}{(l_2 - l_1)} \left[- \sum_{i=1}^{\text{rows}(M)} M_i + \sum_{i=1}^{\text{rows}(P)} [P_i \cdot (d_i - l_2)] - \sum_{i=1}^{\text{rows}(q)} \left[q_i \cdot b_i \cdot \left(l_2 - a_i - \frac{b_i}{2} \right) \right] \right]$$

$$R_1 = 8 \times 10^4 \text{N}$$

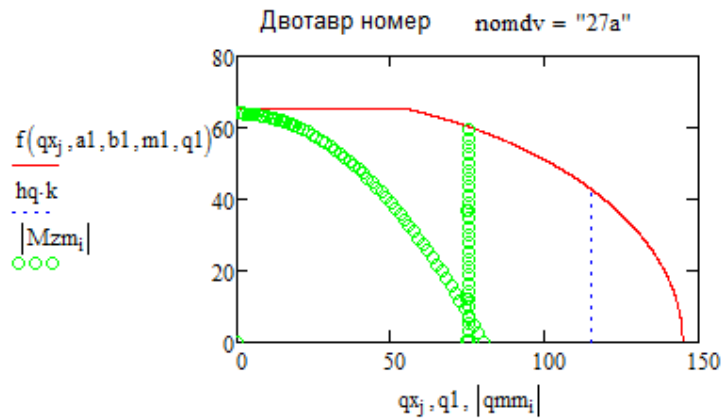
4. Побудова епюри поперечних сил:



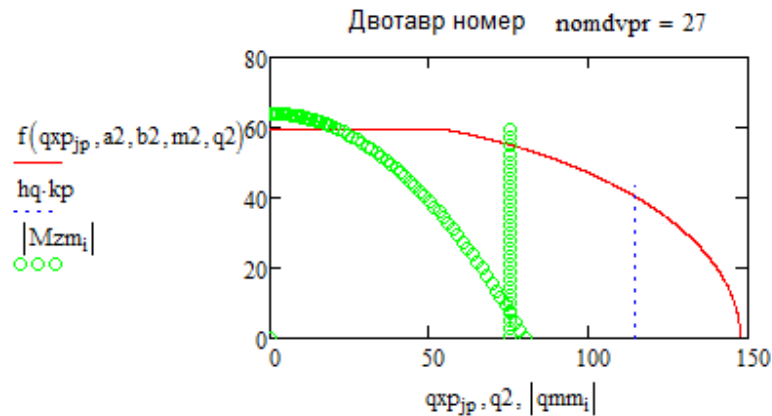
5. Побудова вантажної епюри згинальних моментів:



6. Визначення потрібного номера двотавра:



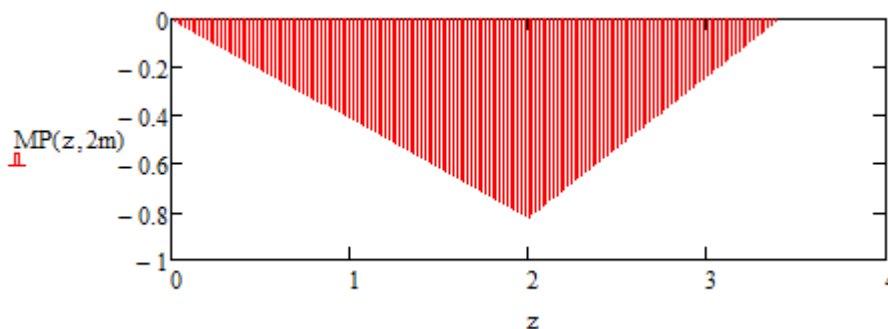
7. Порівняння з попереднім номером двотавра:



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

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

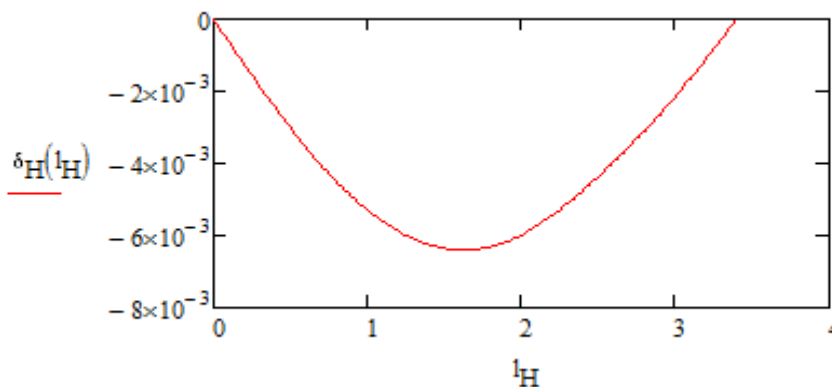
9. Побудова епюри згинальних моментів при навантаженні балки одиничною силою в точці Н :



10. Знаходження прогину δ_H в заданій точці балки:

$$\begin{aligned}
 E &:= 2 \cdot 10^{11} \frac{N}{m^2} & J_x &:= 5500 \cdot 10^{-8} m^4 \\
 \delta_H(l_H) &:= \left(\int_0^L MP(z, l_H) \cdot M_z(R1, R2, z) dz \right) \cdot Kff & \delta_H(2m) &= -5.98562037 \times 10^{-3} m
 \end{aligned}$$

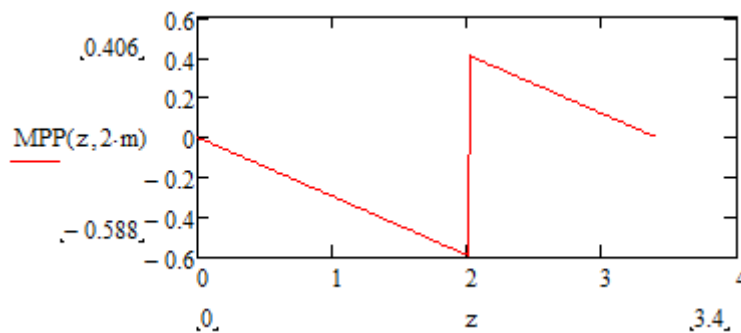
11. Побудова графіка зміни величини δ_H по довжині балки:



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

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

13. Побудова епюри згинальних моментів при навантаженні балки одиничним моментом у точці K :

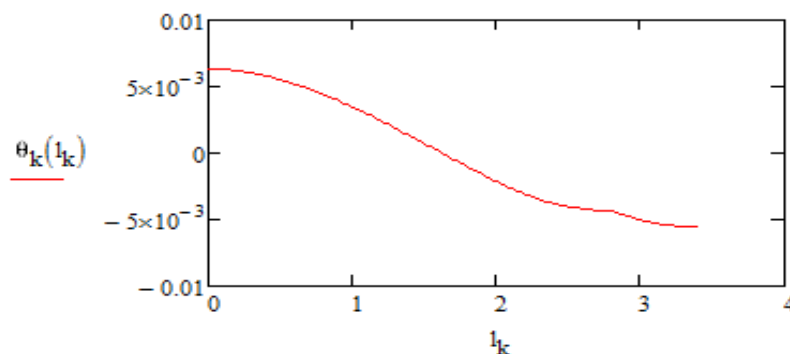


14. Знаходження кута повороту перерізу θ_k у заданій точці балки:

$$\theta_k(l_k) = \frac{1}{E \cdot J_x} \int_0^L \text{MPP}(z, l_k) \cdot M_z(R1, R2, z) dz \quad \theta_k(2-m) = -2.164 \times 10^{-3}$$

15. Побудова графіка зміни величини θ_k по довжині балки :

$$l_k := 0m, 0.02m \dots L$$



ВИСНОВКИ

Розроблено додатковий розрахунковий блок до раніше створених наскрізних комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність статично визначуваних двохопорних і консольних двотаврових балок.

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

Подовжені цим блоком зазначені існуючі програми пройшли успішну апробацію в серії розрахунків балок різних типів, продемонструвавши свою працездатність і ефективність. У порівнянні з аналогічними “ручними” розрахунками вони суттєво спрощують і скорочують в часі процес обчислень, не зменшуючи при цьому його точність.

Впровадження подовжених програм у навчальний процес надасть студентам нові можливості в формуванні у них професійних навичок. Вказані програми як достатньо простий розрахунковий засіб будуть корисними також і для фахівців – практиків при розв’язанні ними реальних технічних задач.

Роботи в даному напрямку не можна вважати остаточно завершеними. Актуальними залишаються задачі об’єднання обох подовжених програм і збільшення різновиду профілів балок (тобто конфігурацій їх поперечних перерізів), які є прийнятними для них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кутовий Л.В., Овчаренко В.А., Холодняк Ю.С., Соломін М. О., Деньщиків 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. Київ: Вища школа, 2004. 655 с.

REFERENCES

1. Kutovy L.V., Ovcharenko V.A., Kholodnyak Yu.S., Solomin M.O., Denshchikov A.Yu. Collection of computational and graphical problems of the course "Strength of materials" (for students of all mechanical specialties of full-time form teaching): tutorial. Kramatorsk: DDMA, 2007. 220 p.
2. Kholodnyak Yu.S., Perig A.V. , Matveev I.A. On the methodology for the presentation of questions about the strength of an I-beam. *Modern education and integration processes*: coll. science. Kramatorsk: DGMA, 2012. pp. 351 - 362.
3. Kholodnyak Yu.S., Perig A.V. , Matveev I.A. Improving the method of strength calculation of the I-beam and its presentation in the courses of technical disciplines. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University*. Perm: PNIPU, 2012. pp. 77 - 90.
4. Kholodnyak Yu.S., Kostikov A.A., Podlesny S.V., Kaporovych S.V. About computer programs to the simplified technique of complex estimation of durability of I-beams. *Herald of the DSEA*. Kramatorsk: DDMA, 2019. № 3 (47). pp. 72 - 81.
5. Kholodnyak Yu.S., Kostikov A.A. , Podlesny S.V., Kaporovych S.V. About computer programs for simplified methodology of complex assessment of strength of two – beam beams. *Perspective technologies and devices: collected scientific papers*. Lutsk: LNTU, 2019. №15. pp.99 - 108.
6. Pisarenko G.S., Kvitka A.L., Umansky Ye.S. Strength of materials: a textbook for universities. Kyiv: Higher school, 2004. 655 p.

АВТОРИ / АВТОРЫ / AUTORS

Холодняк Ю. С. – канд. техн. наук, доцент, в. о. зав. кафедрою техн. механіки ДДМА;
Холодняк Ю. С. – канд. техн. наук, доцент, и. о. зав. кафедрой техн. механики ДГМА;
Holodnyak Yu. S. – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Head of Department DSEA.

E-mail: holodnjak.juri@gmail.com

Костіков О. А. – канд. фіз.-мат. наук, доц. кафедри АВП ДДМА;
Костиков А. А. – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры АПП ДГМА;
Kostikov A. A. – Cand. physical-mat. Sciences, Associate Professor DSEA.
E-mail: alexkst63@gmail.com

Подлесний С. В. – канд. техн. наук, доц. ДДМА;
Подлесный С. В. – канд. техн. наук, доц. ДГМ;
Podlesny S.V. – Cand. tech. sciences, associate professor DSEA.
E-mail: sergeypodlesny@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8271-4004>

Капорович С. В. – канд. техн. наук, ст. викл. кафедри техн. механіки ДДМА;
Капорович С. В. – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры техн. механики ДГМА;
Kaporovitch S. V. – Candidate of Technical Science, Senior Lecturer DSEA.
E-mail: kaporovych@gmail.com

Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ.
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА), г. Краматорск.
Donbass State Engineering Academy (DSEA), Kramatorsk.

АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ANNOTATION

Холодняк Ю. С., Костіков О. А., Подлесний С. В., Капорович С. В. Розвиток комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність двотаврових балок. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2020. № 1 (48).

Стаття присвячена розробці додаткового розрахункового блоку до раніше створених наскрізних комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність статично визначуваних двохопорних і консольних двотаврових балок. Ці програми, створені в системі Mathcad, базуються на раніше запропонованій концепції так званих безпечних факторних просторів двотаврів. Вони визначають опорні реакції балок, будують епюри поперечних сил і згинальних моментів, підбирають, виходячи з умов міцності за нормальними, дотичними і еквівалентними напруженнями, потрібні номери двотаврів. Метою даної розробки є надання вказаним програмам додаткових функцій визначення лінійних і кутових переміщень в балках за методом Мора. З цією метою на основі ґрунтового аналізу встановлені аналітичні залежності для визначення величин згинальних моментів у перерізах балок від дії одиничних силових факторів – сили і моменту, прикладених у довільних точках цих балок. На основі цих залежностей був створений додатковий розрахунковий блок з визначення переміщень, який подовжив існуючі програми розрахунків балок на міцність. Подовжені програми, окрім уже передбачених у них розрахунків на міцність, обчислюють також інтеграли Мора, тим самим визначаючи шукані переміщення і будуючи графіки їх зміни по довжині балок. Ці програми пройшли успішну апробацію в серії розрахунків балок різних типів, продемонструвавши свою працездатність і ефективність. У порівнянні з аналогічними “ручними” розрахунками вони суттєво спрощують і скорочують в часі процес обчислень, не зменшуючи при цьому його точність. Впровадження подовжених програм у навчальний процес надасть студентам нові можливості в формуванні у них професійних навичок. Вказані програми як достатньо простий розрахунковий засіб будуть корисними також і для фахівців-практиків при розв'язанні ними реальних технічних задач.

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

Холодняк Ю. С., Костиков А. А., Подлесный С. В., Капорович С. В. Развитие компьютерных программ упрощенного расчета на прочность двутавровых балок. Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2020. № 1 (48).

Статья посвящена разработке дополнительного расчетного блока к ранее созданным сквозным компьютерным программам упрощенного расчета на прочность статически определимых двухопорных и консольных двутавровых балок. Эти программы, созданные в системе Mathcad, базируются на ранее предложенной концепции так называемых безопасных факторных пространств двутавров. Они определяют опорные реакции балок, строят эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, подбирают, исходя условий прочности по нормальным, касательным и эквивалентным напряжениям, необходимые номера двутавров. Целью данной разработки является придание указанным программам дополнительных функций определения линейных и угловых перемещений в балках по методу Мора. С этой целью на основе обстоятельного анализа установлены аналитические зависимости для определения величин изгибающих моментов в сечениях балок от действия единичных

силовых факторов – силы и момента, приложенных в произвольных точках этих балок. На основе этих зависимостей был создан дополнительный расчётный блок по определению перемещений, удлинивший существующие программы расчётов балок на прочность. Удлиненные программы, помимо уже предусмотренных в них прочностных расчётов, вычисляют также интегралы Мора, тем самым определяя искомые перемещения и строя графики их изменения по длине балок. Эти программы прошли успешную апробацию в серии расчётов балок различных типов, продемонстрировав свою работоспособность и эффективность. В сравнении с аналогичными "ручными" расчётами они существенно упрощают и сокращают во времени процесс вычислений, не уменьшая при этом его точность. Внедрение удлиненных программ в учебный процесс предоставит студентам новые возможности в формировании у них профессиональных навыков. Указанные программы как достаточно простое расчётное средство будут полезными и для специалистов – практиков при решении ими реальных технических задач.

Ключевые слова: двутавровые балки, прочность, перемещения, упрощённые расчёты, Mathcad, компьютерные программы.

Holodnyak Yu. S., Kostikov A. A., Podlesniy S. V., Kaporovitch S. V. The computers programs development for simplified strength analysis of I-beam. *Herald of the DSEA*. 2020. № 1 (48).

The article is devoted to the subsequent development of previously created end-to-end computer programs for simplified strength analysis of statically determinable double-support and cantilevered I-beams. These programs, which were created in the Mathcad system, are based on the previously proposed concept of the so-called safe factor spaces of I-beams. They determine the support reactions of the beams, plot the transverse forces and bending moments, and select the necessary sizes of I-beams based on the strength conditions at normal, tangential, and equivalent stresses. The aim of this development is to give these programs the additional functions to determine linear and angular displacements in beams by using the Mohr method. To this end, on the basis of a thorough analysis, analytical dependencies have been established to determine the values of bending moments in the beam sections from the action of single force factors - the force and moment applied at arbitrary points of these beams. Based on these dependencies, an additional computation for determining displacements were made that improved the capacity of the existing programs for calculating beam strengths. The modified programs, in addition to the strength calculations, also calculate the Mohr integrals, thereby determining the desired displacements and plotting their changes along the length of the beams. These programs have been successfully tested in a series of calculations of beams of various types and demonstrated its efficiency and effectiveness. They significantly simplify and reduce the computation time without reducing calculation accuracy compared with similar hands-on calculations. The introduction of the modified programs in the educational process will provide students with new opportunities in the formation of their professional skills. The indicated programs will be useful for professional practitioners as a fairly simple calculation tool for solving real technical problems.

Keywords: I-beam, strength, displacements, simplified methodology, Mathcad, computer programs, calculation examples.

Стаття надійшла до редакції 11.09.2019 р.