

УДК 539.3:624.074.04

СТАТИКА ГНУЧКИХ НИТОК ЗА МЕЖЕЮ ПРУЖНОСТІ. ПОВІДОМЛЕННЯ 3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЛАСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОБОТИ МАТЕРІАЛУ НА ПОВЕДІНКУ ГНУЧКИХ НИТОК

Виконана оцінка впливу ідеальних пружно- і жорстко-пластичної моделей роботи матеріалу на поведінку гнучких ниток. Наведені результати дослідження якості, збіжності й близькості чисельних рішень. Показана область допустимих значень й границі застосування розв'язних співвідношень.

Executed estimation of influence of ideal elastic- and rigid-plastic models of work of material on behavior of flexible threads. The results of research of quality are presented, convergence and closeness of numeral decisions. The region of acceptability and limits of applicability of resolvent correlations are presented.

Ключові слова: гнучка нитка, ідеальний пружно- і жорстко-пластичний матеріал, якість, збіжність й близькість числових розв'язків, область допустимих значень й границі застосування розв'язних співвідношень

Як це добре відомо, моделі ідеального пружно-пластичного матеріалу без урахування та з урахуванням його зміцнення широко застосовуються при побудові різних теорій розрахунку балок, стрижнів і ниток. Природно, що такі апроксимації у цілому цілком задовільно відображають роботу багатьох реальних матеріалів [1–6]. Крім того, ці апроксимації дозволяють більш повно порівняно з пружною стадією деформування (особливо при застосуванні моделі пружно-пластичного матеріалу, що зміцнюється) проаналізувати поведінку і визначити додаткові резерви міцності конструкції.

Зауважимо, що у згаданих публікаціях представлені досить докладні результати експериментальних і теоретичних досліджень стосовно області застосування зазначених моделей роботи матеріалу і величини похибки, що вноситься в результати розрахунків. Одночасно відзначено й той факт, що використання цих моделей забезпечує для параметрів напружено-деформованого стану конструкцій, які розраховуються, досить точні результати. Тому в даній роботі оцінка впливу моделей ідеального пружно-пластичного матеріалу на роботу гнучких ниток не виконувалась.

Застосування ж діаграм жорстко-пластичного матеріалу без урахування й з урахуванням його зміцнення пов'язано з низкою складнощів. По-перше, дана схематизація діаграм наближено відображає властивості реальних матеріалів. Саме тому розв'язки, побудовані за цими діаграмами, спрямовані на визначення граничних станів конструкції та отримання граничних величин діючих навантажень і, як правило, не збігаються з розв'язками таких же пружно-пластичних задач при E , позаяк призводять до верхньої оцінки величини граничного наванта-



О.В. Шимановський
генеральний директор
ТОВ «Укрінсталькон
ім. В.М. Шимановського»,
член-кореспондент НАН України,
заслужений діяч науки і техніки
України, д.т.н., професор

ження, а розв'язки пружно-пластичних задач – до її нижньої оцінки. По-друге, відсутні теореми, які дозволили б оцінити близькість розв'язків пружно-пластичних і жорстко-пластичних задач. По-третє, напруження в недеформованих частинах конструкції повинні мати прийнятний характер при продовженні їх із пластичної зони й не досягати границі текучості. Однак цю умову важко перевірити, оскільки в недеформованих частинах конструкції розподіл напружень згідно з прийнятими діаграмами роботи матеріалу є невизначеним. І, нарешті, четверте, найголовніше – результати, отримані з використанням діаграм жорстко-пластичного матеріалу, є надійними лише в області великих пластичних деформацій, коли їх пружною складовою у порівнянні з пластичною можна знехтувати.

Підсумовуючи викладене зазначимо, що всі перераховані складності використання діаграм жорстко-пластичного матеріалу пояснюють на перший погляд такий неочікуваний факт, як практично повна відсутність не тільки кількісних, а й навіть якісних досліджень збіжності розв'язків розглянутих задач. Між тим питання стосовно жорстко-пластичної гнучкої нитки має не тільки практичний, а й теоретичний інтерес. При цьому необхідно мати на увазі, що на відміну від випадку жорстко-пластичної гнучкої нитки без урахування зміцнення матеріалу, в якому встановлюється тільки величина гранич-

ного навантаження, підвищений інтерес викликає дослідження збіжності розв'язку задачі для жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється, оскільки саме в цьому випадку можна не тільки додатково відстежити поведінку нитки на всьому діапазоні зміни навантаження, а й виконати зіставлення з розв'язком аналогічної задачі для пружно-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється.

Ця робота продовжує викладення результатів, отриманих при проведенні циклу досліджень статички гнучких ниток за межею пружності, які були наведені раніше у [7, 8].

Постановка задачі. Оцінка збіжності розв'язних співвідношень і близькості отриманих числових розв'язків у наведених роботах виконана шляхом зіставлення результатів розв'язання задачі для пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється. З цією метою досліджено напружено-деформований стан гнучкої нитки прогоном $l = 60$ м із початковою стрілою провисання $f_0 = 4$ м, що відповідає 1/15 прогону, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням на всьому прогоні q . Крім того, нитка прийнята круглого поперечного перерізу, площа якого становить $F = 1,2 \cdot 10^{-3}$ м². Розглядалась робота гнучких ниток із ідеального пружно- і жорстко-пластичного матеріалу зі зміцненням. Модуль пружності при роботі матеріалу в пружній стадії дорівнює $E = 1,67 \cdot 10^5$ МПа, а величина модуля лінійного зміцнення E_0 при роботі матеріалу за межею пружності варіювалась у межах 1/10–1/40 модуля пружності. В свою чергу, межа текучості матеріалу прийнята такою, що дорівнює $\tau = 335$ МПа.

Результати числових розв'язків. Перш ніж безпосередньо розпочати дослідження збіжності та близькості отриманих числових розв'язків, розглянемо їх з метою виявлення та уточнення особливостей поведінки жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється, під навантаженням. Для цього за допомогою наведених у роботах [7, 8] визначальних виразів і розрахункових залежностей обчислені значення переміщень у середині прогону нитки й розпору в ній при різних відношеннях модулів зміцнення і пружності E_0/E для низки значень безрозмірного параметра інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження $ql^2/M_{гр}$ ($M_{гр} = \tau Fd/2$, де d – діаметр поперечного перерізу нитки), графіки яких відображені на рис. 1, 2. У свою

чергу, відносно розходження значень параметрів напружено-деформованого стану нитки, а саме: переміщень v і розпору H , характеризує близькість отриманих розв'язків між результатами для пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки, що зміцнюється. На рис. 3 і 4 представлені залежності між параметром близькості розв'язків і величиною навантаження.

Із наведених на рис. 1 кривих вбачається, що модель роботи матеріалу помітно впливає на поведінку нитки під навантаженням. Так, за інших рівних умов, гнучка нитка з жорстко-пластичного матеріалу, що зміцнюється, менш деформативна ніж із пружно-пластичного з лінійним зміцненням. При цьому до появи пластичних деформацій у повній відповідності з прийнятою діаграмою роботи матеріалу жорстко-пластична нитка залишається недеформованою на відміну від пружно-пластичної, переміщення якої із збільшенням навантаження поступово наростають.

Як впливає з аналізу отриманих результатів і зіставлення кривих на рис. 1, після переходу нитки в пластичну зі зміцненням фазу роботи, її переміщення незалежно від моделі роботи матеріалу починають різко зростати по кривій, обрис якої близький до гіперболічного виду. При цьому чим менше модуль лінійного зміцнення матеріалу E_0 , тим швидше збільшуються переміщення. Необхідно також зазначити, що на всьому діапазоні зміни навантаження переміщення завжди більше у пружно-пластичної нитки зі зміцненням порівняно з жорстко-пластичною, однак зі збільшенням величини навантаження криві переміщень, які відповідають пластичній зі зміцненням фазі роботи нитки, все більше зближуються. Причому при подальшому збільшенні навантаження прирощення переміщень зменшується.

Із рис. 2 випливає, що до появи пластичних деформацій у гнучкій нитці незалежно від діаграми роботи матеріалу залежність розпору від інтенсивності діючого навантаження близька до лінійної. Коли ж розпір H досягає свого граничного значення $H_{гр}$ й нитка стає повністю пластичною, відбувається злам кривих, і розпір у нитці зі збільшенням величини навантаження починає зростати за параболічною залежністю для обох розглянутих видів матеріалів. При цьому, чим менше значення модуля зміцнення матеріалу E_0 , тим повільніше збільшується розпір

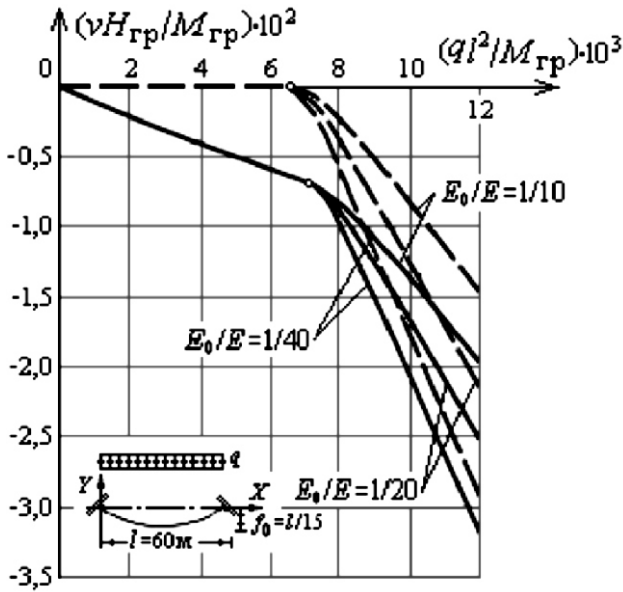


Рис. 1. Залежність між переміщеннями гнучкої нитки в середині прогону від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних моделях роботи матеріалу з лінійним зміцненням:

- пружно-пластична модель;
- - - жорстко-пластична модель;
- - зміна фаз роботи нитки

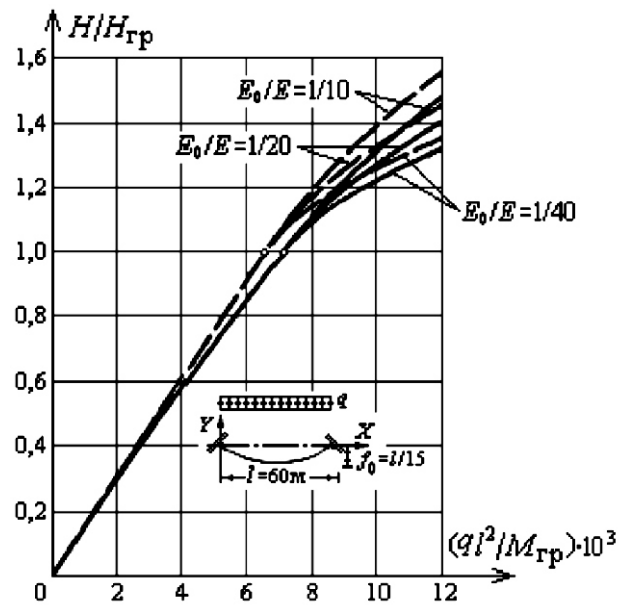


Рис. 2. Залежність між розпором у гнучкій нитці від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних моделях роботи матеріалу з лінійним зміцненням:

- пружно-пластична модель;
- - - жорстко-пластична модель;
- - зміна фаз роботи нитки

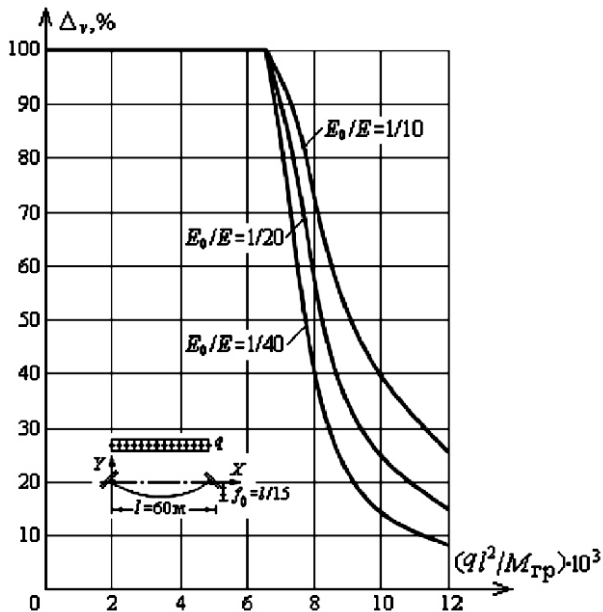


Рис. 3. Залежність між параметром близькості розв'язків при визначенні переміщень у пружно- і жорстко-пластичній гнучкій нитці зі зміцненням від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних E_0/E

у нитці й тим більш пологою є відповідна крива. Тут також варто підкреслити, що при однаковій величині навантаження розпір у жорстко-пластичній гнучкій нитці, що зміцнюється, має більше значення, ніж у пружно-пластичній з лінійним зміцненням. Даний висновок добре

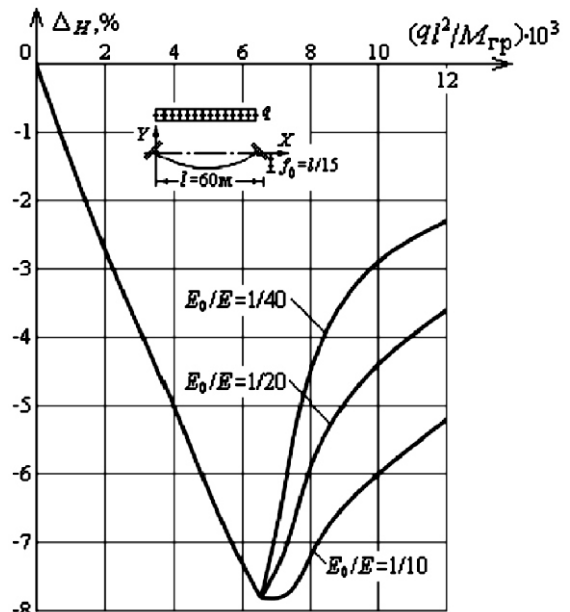


Рис. 4. Залежність між параметром близькості розв'язків при визначенні розпору у пружно- і жорстко-пластичній гнучкій нитці, що зміцнюється, від інтенсивності рівномірно розподіленого навантаження при різних E_0/E

узгоджується із зазначеним раніше фактом, згідно з яким використання у розрахунку діаграм жорстко-пластичного матеріалу призводить до верхньої оцінки не тільки граничних величин діючих навантажень, але й значень внутрішніх зусиль.

Близькість і збіжність числових розв'язків.

Щодо близькості отриманих числових розв'язків при визначенні переміщень і розпору в пружно- і жорстко-пластичній гнучкій нитці, що зміцнюється (величина якої відображена у вигляді кривої «параметр близькості – навантаження» на рис. 3 і 4) при різних відносинах модулів зміцнення і пружності E_0/E , то можна відзначити наступне.

Показово, що величина параметра близькості розв'язків при визначенні переміщень v для перших фаз роботи пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки має на перший погляд парадоксально велику розбіжність у 100 %. А тому відразу виникає питання: у чому ж причина такої розбіжності? Втім, відповідь на це питання є абсолютно очікуваною, оскільки впливає з особливостей використаних у цих випадках діаграм роботи матеріалу нитки, початкові ділянки яких мають протилежний з фізичної точки зору зміст. Адже якщо пригадати вигляд цих діаграм, то можна констатувати, що перша ділянка діаграми пружно-пластичного матеріалу є пружною, що призводить до переміщень нитки під навантаженням, а в діаграмі жорстко-пластичного матеріалу – жорсткою, що забезпечує недеформованість нитки.

Як вбачається з представлених на рис. 3 графіків, криві v , після досягнення навантаженням своєї граничної величини й переходу нитки в пластичну зі зміцненням фазу роботи, при подальшому збільшенні навантаження асимптотично прямують до нуля незалежно від відношення модулів зміцнення та пружності E_0/E . Причому кожна з цих кривих на досить вузькому проміжку $6,55 \cdot 10^3 \cdot ql^2/M_{гр}$ до $10,0 \cdot 10^3$ має круто падаючу ділянку (в межах якої розв'язки зближуються від 100 % до 14,3–39,6 % залежно від величини відношення E_0/E), що переходить потім у пологу нескінченну гілку з асимптотою $v = 0$.

Тут необхідно звернути увагу також на такий цікавий факт, що залежність $E_0/E = f(v)$ має майже лінійний характер. Підтвердженням цьому є те, що, наприклад, при значенні безрозмірного параметра навантаження $ql^2/M_{гр} = 12 \cdot 10^3$ зменшення відношення E_0/E у два рази, з 1/10 до 1/20, призводить до зближення розв'язків у 1,71 раза. Подальше ж зменшення відношення E_0/E у два рази, з 1/20 до 1/40, призводить до їх зближення у 1,79 раза. Таким чи-

ном, відзначена закономірність підтверджує той незаперечний факт, що при великих величинах навантаження, що перевищують його граничне значення у десять і більше разів, використання як пружно-, так і жорстко-пластичної моделі роботи матеріалу нитки зі зміцненням дозволяє отримувати практично однакові значення переміщень.

Щодо величини параметра близькості розв'язків при визначенні розпору H , то тут спостерігається багато в чому відмінна від розглянутого раніше випадку закономірність (рис. 4).

Ця відмінність може бути пояснена тим, що жорстко-пластична гнучка нитка в межах початкової ділянки діаграми роботи матеріалу є недеформованою (відсутні переміщення), але напруженою, тобто такою, що сприймає розпір, який виникає одночасно з прикладенням до нитки навантаження. При цьому значення розпору визначається з виразів, отриманих для нерозтяжної нитки з використанням умов рівноваги [7, 8]. І саме тому навіть для перших фаз роботи пружно- і жорстко-пластичної гнучкої нитки розбіжність розв'язків є величиною досить малою: навіть її максимальне значення досягає всього 7,8 % при дії на нитку граничного навантаження.

Надалі, також як і у розглянутому раніше випадку для v , зі збільшенням навантаження криві H асимптотично прямують до нуля незалежно від відношення модулів зміцнення і пружності E_0/E . Причому кожна з цих кривих на вже згадуваному раніше досить вузькому проміжку $6,55 \cdot 10^3 \cdot ql^2/M_{гр}$ до $10,0 \cdot 10^3$ має круто падаючу ділянку (в межах якої розв'язки зближуються від 7,8 % до 2,9–6,0 % залежно від величини відношення E_0/E), яка потім переходить у пологу нескінченну гілку з асимптотою $H = 0$.

Слід зауважити, що залежність $E_0/E = f(H)$ має майже лінійний характер. Так, наприклад, при значенні безрозмірного параметра навантаження $ql^2/M_{гр} = 12 \cdot 10^3$ зменшення відношення E_0/E у два рази, з 1/10 до 1/20, призводить до зближення розв'язків у 1,44 раза. Подальше ж зменшення відношення E_0/E у два рази, з 1/20 до 1/40, призводить до зближення розв'язків у 1,56 раза.

Границі застосування. Підсумовуючи викладене стосовно границь застосування розв'язних співвідношень для пружно- і жорстко-пластичних гнучких ниток, що зміцнюються,

можна дійти наступних висновків. Якщо величина діючого навантаження лежить у межах $1 < q/q_{гр} < 10$, то для отримання прийнятних за точністю розв'язків для обох типів ниток необхідно використовувати різні діаграми роботи матеріалу. У разі ж перевищення діючим навантаженням десятикратного значення граничного навантаження нитки, тобто якщо $q/q_{гр} > 10$,

шукана точність розв'язку може бути досягнута шляхом застосування будь-якої моделі роботи матеріалу, що зміцнюється (як пружно-пластичного, так і жорстко-пластичного) у зв'язку з незначною відмінністю значень параметрів (або, іншими словами, близькістю результатів) напружено-деформованого стану гнучкої нитки.

- | | |
|---|---|
| <p>[1] Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высш. шк., 1968. – 512 с.</p> <p>[2] Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М.: Гостехиздат, 1956. – 324 с.</p> <p>[3] Нил Б.Г. Расчет конструкций с учетом пластических свойств материала. – М.: Госстройиздат, 1961. – 315 с.</p> <p>[4] Постнов В.А. Теория пластичности и ползучести. – Л.: ЛПИ, 1975. – 266 с.</p> <p>[5] Ржаницын А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материала. – М.: Госстройиздат, 1954. – 287 с.</p> | <p>[6] Ходж Ф.Г. Расчет конструкций с учетом пластических деформаций. – М.: Машгиз, 1963. – 380 с.</p> <p>[7] Шимановський О.В. Статика гнучких ниток за межею пружності. Повідомлення 1. Ідеальний пружно-пластичний матеріал//Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 1. – С. 2–7.</p> <p>[8] Шимановський О.В. Статика гнучких ниток за межею пружності. Повідомлення 2. Ідеальний жорстко-пластичний матеріал//Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 2. – С. 4–9.</p> |
|---|---|

Надійшла 15.07.2013 р.

ОФІЦІЙНА ІНФОРМАЦІЯ

16 липня 2013 р. у м. Києві відбулось перше засідання членів Асоціації «УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР СТАЛЕВОГО БУДІВНИЦТВА» (УЦСБ)

На засіданні були розглянуті наступні питання:

1. Щодо завершення реєстрування УЦСБ.
2. Щодо вступу нових членів до Асоціації.
3. Про призначення Ради директорів та вибори голови Ради директорів.
4. При призначення виконавчого директора.
5. Про призначення керівників постійно діючих комітетів.
6. Щодо першочергових заходів УЦСБ у 2013 році.

Після всебічного обговорення питань були прийняті наступні рішення:

- ✓ до складу Асоціації прийнято компанію «Основа», м. Київ;
- ✓ у відповідності з положенням Статуту УЦСБ обрано членів Ради директорів у складі 8 осіб – представників ТОВ «Метінвест Холдинг», ТОВ «Метінвест-СМЦ», ПАТ «Укрстальконструкція», ТОВ «Основа», ТОВ «Будсистема», ТОВ «РУУККИ Україна», ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», ТОВ «ПЕМ Україна»;
- ✓ обрано голову Ради директорів – Носова В.В., генерального директора ПАТ «Укрстальконструкція»;
- ✓ на посаду Виконавчого директора Асоціації призначено Іващенко О.В.;
- ✓ призначено керівників п'яти новостворених комітетів: «Несучі конструкції», «Огороджувальні конструкції», «Легкі сталеві конструкції», «Вогнезахист», «Нормативно-технічний»;
- ✓ визначений перелік першочергових заходів практичної діяльності УЦСБ, у т.ч.: формування штату виконавчого органу Асоціації; розроблення (перегляд) ДБН, ДСТУ, а також гармонізація Європейських норм у галузі металобудівництва; підготовка публікації «Вогнезахист сталевих конструкцій. Методичні рекомендації»; підготовка та проведення науково-технічних семінарів; підготовка та проведення «II Національної конференції учасників ринку сталевих будівництва»; підготовка сайту та буклета Асоціації, а також реалізація низки заходів, пов'язаних із реалізацією маркетингових комунікацій у галузі сталевих будівництва.

Додаткову інформацію щодо діяльності УЦСБ можна отримати за адресою: Курашев Роман Вікторович, начальник управління маркетингу та продуктової політики м. Донецьк, вул. Артема, 130, тел. +38(067)543-26-16; +38(062)388-17-89, roman.kurashev@metinvestholding.com