

## ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 699.814

С. О. ТИЩЕНКО, І. В. РУДЕШКО, О. В. БАС

### ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ СТИСНУТИХ КОНСТРУКЦІЙ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

Описано методику визначення критичної температури сталевих стиснутих конструкцій підземних споруд з урахуванням закритичного деформування після втрати стійкості під дією нагрівання. Отримане значення критичної температури метала конструкцій використовується при розрахунках необхідної товщини вогнезахисних матеріалів. У закритичній стадії деформування прогин в небезпечному перерізі сталевих конструкцій зменшується, що в свою чергу сприяє зменшенню згинального моменту, а критичний стан настає при більш високій температурі, що дозволяє отримати економію вогнезахисних матеріалів.

**Ключові слова:** вогнестійкість, металеві конструкції, втрата стійкості при нагріванні, закритичне деформування, критична температура.

Описано методику определения критической температуры стальных сжатых конструкций подземных сооружений с учетом закритического деформирования после потери устойчивости под действием нагревания. Полученное значение критической температуры метала конструкций используется при расчетах необходимой толщины огнезащитных материалов. В закритической стадии деформирования прогиб в опасном сечении стальной конструкции уменьшается, что в свою очередь способствует уменьшению изгибающего момента, а критическое состояние наступает при более высокой температуре, что позволяет получить экономию огнезащитных материалов.

**Ключевые слова:** огнестойкость, металлические конструкции, потеря устойчивости при нагревании, закритическое деформирование, критическая температура.

The described method of determining the critical temperature of compressed steel structures of underground structures with consideration of post-critical deformation after buckling under the action of heat. The obtained value of the critical temperature of the metal structures has been used to calculate the required thickness of fire protection materials. In the supercritical stage of deformation the curve in the dangerous cross-section steel structure is reduced, which in turn helps to reduce the bending moment and the critical condition occurs at a higher temperature that allows to obtain savings fire resistant materials.

In the existing methods of determining the critical temperature of the compressed metal structures buckling is identified with the limit state and corresponding to this value of temperature is assumed to be critical [1, 4]. This assumption, valid for structures located in active power loading, cannot be accepted for the case of buckling of the rod under the action of thermal stresses. Partial implementation of temperature deformations occurring in the time of buckling can lead to reduced thermal stresses. Taking into account this fact and also the fact that the loss of stability from the heating takes place at very low temperatures (about 1000C), it should be recognized that thermal buckling is not considered for design limit condition, and temperature – critical. At a relatively low level of compressive stresses in the cross section from the power load to the heating, can make that after buckling from heat design goes into a state of buckling and the limit state for her will be the exhaustion of the bearing capacity of the critical section of joint action in it compressive strength and bending moment.

**Keywords:** fire resistance, steel structures, buckling, post-critical deformation, critical temperature.

**Вступ.** Сталеві конструкції, що сприймають сти- скаючі зусилля, широко використовуються при будів- ництві підземних споруд (стійки, розпірки рампових частин транспортних тунелів тощо), що обумовлює актуальність створення методів проектування їх вогнезахисту для забезпечення необхідних меж вогнестійкості об'єктів. Проблема розробки таких методів набуває особливого значення стосовно до унікальних споруд, оскільки їх руйнування при ймовірній пожежі пов'язане з більш значним збитком, порівняно з типо- вими об'єктами, а проведення на них вогневих випро- бувань для визначення фактичної межі вогнестійкості виключено з очевидних причин. У силу цього для унікальних підземних споруд встановлюють більш високі, ніж для звичайних будівельних об'єктів, межі вогнестійкості несучих конструкцій (180 хв. і вище).

Поряд із цим металеві конструкції мають істотно менші межі вогнестійкості, ніж залізобетонні кон- струкції підземних споруд [1], так як відносно висока теплопровідність металу сприяє швидкому прогріван- ню конструкцій під час вогневого впливу. Це, в свою чергу, зумовлює зниження жорсткості і міцності ме- талу, у результаті чого конструкція втрачає несучу здатність внаслідок настання в її елементах стану те- кучості і розвитку неприпустимих деформацій. Біль- шість незахищених сталевих конструкцій має межі вогнестійкості не більше 0,25 год. [1], отже застосу- вання вогнезахисту для них стає необхідним.

Тип вогнезахисту визначають на основі техніко- економічного аналізу з урахуванням таких основних чинників [1]:

- величини необхідної межі вогнестійкості;
- типу конструкції, що захищається і виду сприймаємого навантаження;
- температурно-вологісних умов експлуатації і проведення робіт з монтажу вогнезахисту;
- ступеня агресивності навколишнього середо- вища по відношенню до вогнезахисту і матеріалу конструкції;
- збільшення навантаження на конструкцію за рахунок маси вогнезахисту;
- трудомісткості монтажу вогнезахисту;
- естетичних вимог до конструкції.

Параметри вогнезахисту обраного типу, що за- безпечують необхідну межі вогнестійкості, визнача- ють для кожної розглянутої конструкції окремо, ви- ходячи з умови

$$P_{\phi} \geq P_{mp},$$

де  $P_{\phi}$  – фактична межі вогнестійкості конструкції з вогнезахистом.

Для металевих конструкцій – ця умова може бу- ти сформульована у вигляді:

$$T \leq T_{cr},$$

де  $T$  – температура конструкції, що захищається в кінці вогневого впливу протягом часу, що дорівнює необхідній межі вогнестійкості;  $T_{cr}$  – значення температури нагрівання, при якій відбувається втрата несучої здатності конструкції за умови нормативних силових навантажень (критична температура),  $T_{cr}$  металу визначається статичним розрахунком.

Особливістю роботи сталевих розпірок в умовах ймовірної пожежі є спільне сприйняття ними стискаючих силових навантажень і всебічного високотемпературного нагрівання. Очевидно, що обетонування перешкоджає реалізації температурних деформацій розпірок, сприяючи з'явленню в них стискаючих температурних зусиль, які потенційно можуть виявитися більш небезпечними з точки зору руйнування конструкції, ніж прикладені до них зовнішні силові навантаження.

Прийmemo, що жорсткість залізобетонної обробки тунелю істотно більша за жорсткість сталеві розпірки, через що при розгляданні термомеханічної поведінки розпірки під час пожежі можна повністю знехтувати реалізацією її поздовжніх температурних деформацій і прийняти розрахункову схему центрально стиснутого стержня з нерухомим шарнірним закріпленням кінців, що рівномірно обігривається по довжині (рис. 1).

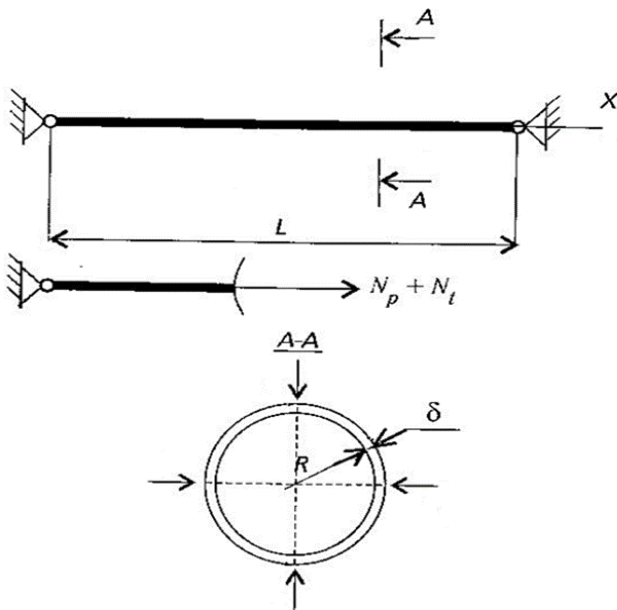


Рис. 1 – Розрахункова схема стиснутої розпірки, що обігривається з усіх сторін:  $T_f$  – температура обігриваючого газового середовища;  $N_p$  – поздовжня сила у перерізі розпірки від силового навантаження;  $N_t$  – поздовжня сила в перерізі розпірки від не проявленої температурної деформації (температурний розпір); стрілками на розрізі А-А вказано напрям вогневого впливу

Висока теплопровідність сталі дозволяє при розрахунках прийняти, що теплоперенос в обсязі металеві розпірки є миттєвим і рівномірним [1], отже градієнт температурного поля у перерізі і по довжині конструкції, що розглядається, дорівнюють нулю.

Верхня оцінка температурних напружень щодо описаних вище кінематичних граничних умов та лі-

нійно-пружній деформації сталі може бути отримана за відомою формулою:

$$\sigma_T = E(T) \alpha(T) \Delta T,$$

де  $E(T)$  і  $\alpha(T)$  – відповідно модуль пружності і коефіцієнт лінійного температурного розширення сталі, що залежать від температури  $T$ ;  $\Delta T$  – зміна температури у порівнянні з початковим (у випадку, що розглядаємо – до початку нагрівання при пожежі) її значенням.

При нагріванні розпірок у вигляді сталевих труб із низьковуглецевої конструкційної сталі до температури близько 100 °С стискаючі термомеханічні напруження в них досягають досить високих значень (порядку нормативного опору сталі по межі текучості  $R_{уп}$ ). Отже, при дослідженні термомеханічної поведінки розпірок, що обігриваються в умовах пожежі, необхідно враховувати можливість втрати ними стійкості від температурних зусиль.

Умова збереження стійкості розпірки з урахуванням температурного зусилля має вигляд:

$$N_p + N_t < N_{cr}. \quad (1)$$

Де  $N_p$  – постійна (не залежить від нагріву) складова поздовжньої сили, що виникає в перерізі розпірки від прикладеного силового навантаження;  $N_t = E(T)F\alpha(T)\Delta T$  – змінна (залежить від температури) складова поздовжньої сили, що виникає у перерізі розпірки від температурної деформації, яка не проявилася;  $N_{cr}$  – критичне значення стискаючого зусилля, знижене внаслідок нагрівання;  $F$  – площа поперечно-го перерізу розпірки.

Критична сила при втраті стійкості стійки у діапазоні пружних деформацій може бути визначеною за відомою формулою Ейлера:

$$N_{cr} = (\pi/\lambda)^2 E(T)F, \quad (2)$$

де  $\lambda = l/i$  – гнучкість розпірки;  $l$  – ефективна довжина розпірки;  $i = \sqrt{J/F}$  – радіус інерції перерізу розпірки;  $J$  – осьовий момент інерції перерізу розпірки.

Замінив у нерівності (1) величини, що входять до неї відповідними вище виразами і припускаючи, що у межах граничного стану  $N_p \ll N_{cr}$ , можна отримати наближене співвідношення для верхньої оцінки критичної величини температури розпірки, що відповідає втраті нею стійкості в зоні пружних деформацій:

$$\Delta T_{cr} = (1/\alpha_{min}) (\pi/\lambda)^2, \quad (3)$$

де  $\alpha_{min}$  – мінімальне в розглянутому діапазоні температури значення коефіцієнта лінійного розширення.

Відомо [2], що втрата стиснутим стержнем стійкості в зоні пружних деформацій, що описана формулою Ейлера, відбувається лише у випадку дуже гнучких стрижнів, для яких критичні напруження не перевищують межі пропорційності сталі  $\sigma_{пл}$ . Значення гнучкості стрижня  $\lambda_0$ , що відповідає межі застосовуваності формули Ейлера, може бути оцінено за формулою:

$$\lambda_0 = \pi \sqrt{\frac{E(T)}{\sigma_{mi}(T)}}. \quad (4)$$

Якщо прийняти за межу пропорційності маловуглецевої сталі за умов нормальної температури 200 МПа, знаходимо  $\lambda_0 \approx 100$ . Підставив знайдену величину у рівняння (3) і прийнявши  $a_{min} = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , отримуємо, що для конструкцій з гнучкістю  $\lambda > \lambda_0$  критична величина температури  $\Delta T_{cr} < 97 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Якщо гнучкість розглядаємої конструкції варіюється у діапазоні  $(0,2..0,4)\lambda_0 < \lambda < \lambda_0$ , то формула Ейлера дає значення критичних навантажень, що перевищують їх дійсні значення [2], оскільки напруження, що виникають у розпірці на докритичній стадії її деформування, виявляються вище за межу пропорційності сталі, що призводить до істотного зниження характеристик жорсткості конструкції. Визначення критичного навантаження втрати стійкості за межею пропорційності проводять за формулою

$$N_{cr} = (\pi/\lambda)^2 K(T) F, \quad (5)$$

де  $K(T)$  – приведений модуль пружності (модуль Кармана), що враховує часткове пружне розвантаження перерізу конструкції за умов втрати стійкості і визначається наступним співвідношенням [3]:

$$K = \frac{E' J_2 + E' J_1}{J}, \quad (6)$$

де  $E'$  – дотичний модуль пружності;  $J$  – осьовий момент інерції перерізу конструкції;  $J_1$  – момент інерції зони перерізу, що розвантажується у момент втрати стійкості за рахунок поздовжнього вигину;  $J_2$  – момент інерції зони перерізу, що довантажується у момент втрати стійкості.

Вісь, щодо якої обчислюються моменти інерції, перпендикулярна площині, у якій відбувається випучування конструкції при втраті стійкості, а її положення визначається із співвідношення [3]:

$$S_1 E' + S_2 E' = 0, \quad (7)$$

де  $S_1, S_2$  – статичні моменти зон розвантаження та довантаження відповідно.

Враховуючи, що термопружні напруження у розпірці із маловуглецевої сталі, яка зацмелена по кінцях, досягають межі текучості при температурі близько  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , а для конструкцій з такої ж сталі з відносно більшою гнучкістю зазначений рівень температури приблизно відповідає верхній межі діапазону критичних температур, для розпірок з гнучкістю  $\lambda > (0,2..0,4) \lambda_0$  ймовірно є втрата стійкості розпірки вже на ранній стадії її нагрівання при пожежі. До розпірок з меншою гнучкістю, у яких довжина прольоту невелика відносно розмірів перерізу, поняття втрати стійкості не припустимо, а вичерпання несучої здатності відбувається внаслідок того, що стискаючі напруження в них досягають межі текучості.

Відзначимо, що в існуючих методиках визначення критичної температури стиснутих металевих конс-

трукцій втрата стійкості отожднюється із граничним станом і відповідне цьому значення температури приймається за критичне [1, 4]. Дане припущення, що безумовно вірне для конструкцій, які знаходяться в умовах активного силового навантаження, не може бути безумовно прийнятим для випадку випучування стрижня під дією температурних напружень. Часткова реалізація температурних деформацій, що відбувається в момент втрати стійкості конструкції, здатна привести до зменшення температурних напружень. Приймаючи цей факт, а також те, що втрата стійкості від нагрівання відбувається при досить низьких температурах (близько  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ), слід визнати, що температурне випучування не є для розглянутої конструкції граничним станом, а відповідна температура — критичною. При відносно невеликому рівні стискаючих напружень, що виникають в перерізі від силового навантаження до нагрівання, з великою ймовірністю можна стверджувати, що після втрати стійкості від нагрівання конструкція переходить до стану поздовжнього вигину і граничним станом для неї буде вичерпання несучої здатності небезпечного перерізу внаслідок спільної дії в ньому стискаючого зусилля і згинаючого моменту.

Припускаючи, що внаслідок розвантаження за критичне деформування розпірки має фізично лінійний характер, приймаємо для опису кінематики цього деформування наступне співвідношення [5]:

$$v = \frac{2L}{\pi} \sqrt{\frac{N_p + N_t(T) - N_{cr}(T)}{E(T)F}} \sin \frac{\pi x}{L}. \quad (8)$$

Температурна складова поздовжньої сили, що зберігається в розпірці після випучування, дорівнює  $N_{cr}$  [5].

Вираз для згинаючого моменту, що виникає від поздовжнього вигину у небезпечному (середньому) перерізі розпірки, має вигляд:

$$M = (N_p + N_{cr})v. \quad (9)$$

Згідно [5], зазначені вище співвідношення є вірними, поки прогин залишається настільки малим, що дозволяється використання відомого наближеного виразу для кривизни, прийнятого у технічній теорії згину стержнів. Іншими словами, квадрат кута обертання плоского поперечного перерізу стійки має бути дуже малим у порівнянні з одиницею, що стосовно до рівняння (8) означає

$$4 \frac{N_p + N_t(T) - N_{cr}(T)}{E(T)F} \ll 1. \quad (10)$$

Для оцінювання ступеня близькості розглянутої стиснуто-згнutoї конструкції до граничного стану будемо використовувати критерій [1]:

$$k = \left( \frac{N_p + N_{cr}}{FR_{ynt}} \right)^n + \frac{M}{W_{pl} R_{ynt}}, \quad (11)$$

де  $W_{pl}$  – пластичний момент опору розрахункового перерізу:

$$W_{pl} = CW, \quad (12)$$

де  $W$  – момент опору розрахункового перерізу вигину;  $C$  – коефіцієнт, що залежить від форми перерізу та враховує розвиток в ньому пластичних деформацій;  $R_{yt}$  – нормативний опір сталі за межею текучості, знижений з урахуванням нагріву визначається за формулою [1,4]

$$R_{yt} = R_{yn}\gamma(T), \quad (13)$$

де  $R_{yn}$  – нормативний опір сталі за межею текучості у вихідному стані (до нагрівання);  $\gamma(T)$  – емпіричний коефіцієнт умов роботи сталі, враховує його зниження залежно від температури.

Критичним є значення температури, при якому виконується рівність  $k=1$ , що відповідає вичерпанню несучої здатності стиснуто-зігнутих конструкцій [1].

Застосування описаної методики визначення критичної температури розглянемо на прикладі сталеві розпірки, яка виконана у вигляді тонкостінної циліндричної сталеві труби з внутрішнім радіусом 213 мм і товщиною стінки 10 мм, що сприймає поздовжнє стискаюче зусилля, нормативне значення якого дорівнює 206 кН. Необхідна межа вогнестійкості розпірки становить R 180. Довжина розпірки – 14 м, матеріал маловуглецева сталь з нормативною межею текучості  $R_{yn} = 225$  МПа.

Діаграми деформування сталі під час розрахунків апроксимували ламаною [6], при цьому граничну деформацію  $\epsilon_{s2}$ , що відповідає тимчасовому опору, розраховували за формулою

$$\epsilon_{s2} = 100 \frac{R_{yt}(T)}{E(T)}. \quad (14)$$

Залежність модуля пружності сталі від температури [1, 4, 6]:

$$E(T) = E_0\beta(T), \quad (15)$$

де  $\beta(T)$  – емпіричний коефіцієнт зниження модуля пружності.

Температурні залежності коефіцієнтів  $\gamma$  (умов праці),  $\beta$  (зниження модуля пружності) і  $\alpha$  (лінійного температурного розширення) для сталі, що використовується, брали за даними робіт [1, 6].

Результати визначення критичної температури розпірки показано на рис. 2–5 [9]. На рис. 2 верхня пунктирна крива відображає залежність від температури граничного значення гнучкості  $\lambda_0$ , що визначає коректність застосування формули Ейлера для розрахунку критичного навантаження на розпірку.

Суцільною горизонтальною лінією показано значення гнучкості розпірки  $\lambda_p$ , що розглядається. Згідно рисунку у всьому представленому діапазоні зміни температури конструкція, що розглядається має гнучкість нижчу за граничну, тобто за умови докритичного деформування в ній розвиваються напруження, більші за нормативний опір по межі текучості.

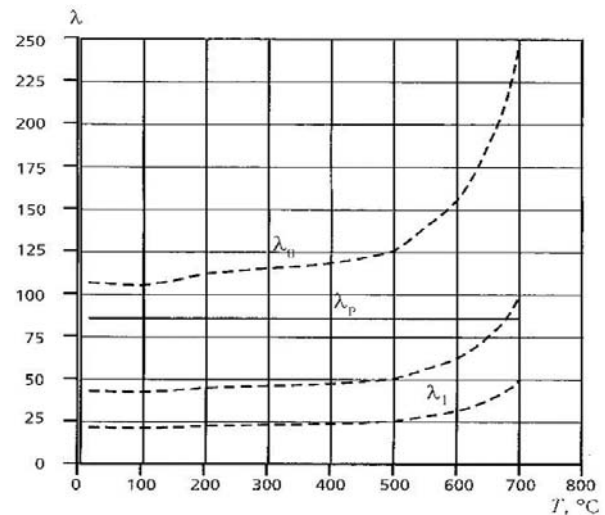


Рис. 2 – Залежність характерних значень гнучкості розпірки від температури  $T$ :  $\lambda_0$  – гнучкість, яка відповідає критичним напруженням, що дорівнюють нормативному опору за межею текучості;  $\lambda_1$  – значення, що визначає межу між зонами середньої і малої гнучкості;  $\lambda_p$  – гнучкість розпірки

У той же час при  $T < 670$  °C гнучкість розпірки лежить вище смуги характерних значень  $\lambda_1 = (0,2-0,4)\lambda_0$ , що визначає межу діапазону стрижнів малої гнучкості, для яких можливість втрати стійкості неактуальна. Таким чином, досліджувана конструкція відноситься до стрижнів середньої гнучкості, для яких розрахунок критичних навантажень слід проводити з урахуванням фізичної нелінійності деформування матеріалу за формулою (5).

Рис. 3 [9] показує зміну поздовжнього стискаючого зусилля, що виникає в розпірці на докритичній стадії деформування, залежно від температури нагрівання конструкції. Тут же наведені залежності від часу критичної сили і граничного значення поздовжнього зусилля, що відповідає досягненню межі текучості всим перерізом. Перетин кривих 1 і 3 відповідає втраченню стійкості.

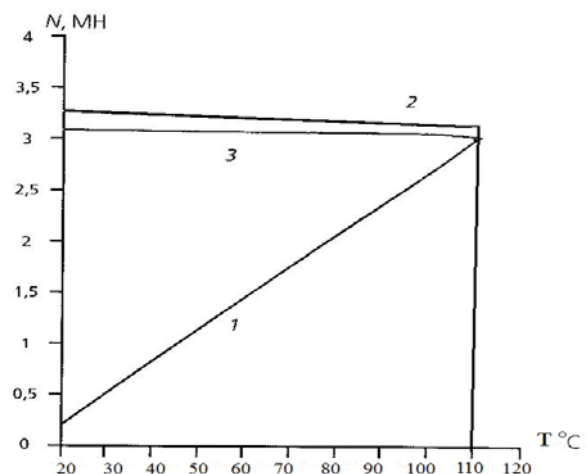


Рис. 3 – Докритичне деформування розпірки: залежність від температури  $T$  поздовжнього стискаючого зусилля  $N(1)$ , критичної стискаючої сили  $N_{cr}(2)$  і граничного стискаючого зусилля  $N_{lims}$ , що відповідає з'явленню текучості у перерізі (3)

Як бачимо, втрата стійкості розглянутої конструкції настає при відносно невеликому значенні температури (близько 110°C), коли стискаючі напруження, що виникають у перерізі, досягають рівня нормативного опору сталі за межею текучості (перетин кривих 1 і 3 на рис. 3).

Рис. 4 показує поведінку розглянутої конструкції на закритичній стадії деформування. Тут наведені залежності діючих у небезпечному (середньому) перерізі розпирки внутрішніх силових факторів – поздовжньої сили і згинаючого моменту від температури. Згідно рисунку ці фактори по мірі зростання температури зменшуються, що пояснюється відповідним зниженням при нагріванні модуля пружності сталі. Згинаючий момент змінюється при цьому швидше, ніж поздовжня сила, оскільки зниження модуля пружності призводить до зменшення температурної складової поздовжньої сили, що обумовлює закритичний прогин розпирки, що, в свою чергу (8), зменшує величину прогину у небезпечному перерізі і, відповідно, впливає на величину згинаючого моменту.

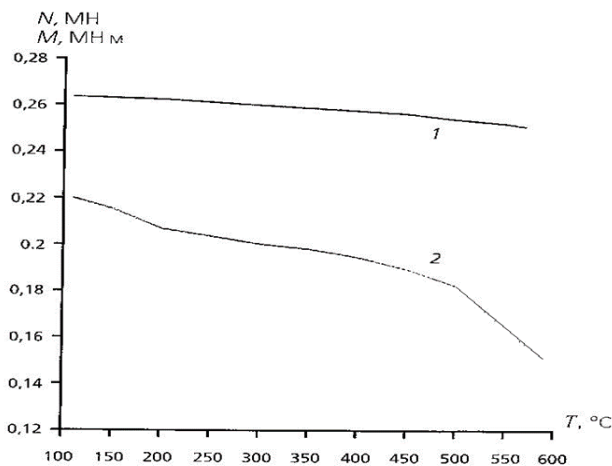


Рис. 4 – Залежність від температури Т поздовжньої сили N(1) і згинаючого моменту М(2) в небезпечному перерізі розпирки на закритичній стадії деформування

Залежність від температури критерію міцності конструкції  $k$ , що відповідає лівій частині рівняння (11), представлена на рис. 5. Граничний стан конструкції настає при  $k = 1$ , в силу чого відповідне цьому значення температури приймається за критичне. Згідно рис. 5, критична температура розглянутої конструкції становить 569 °C.

Отримане значення критичної температури металу використовується при розрахунках необхідних товщин вогнезахисту конструкцій. Необхідна товщина вогнезахисту визначається шляхом проведення серії параметричних теплотехнічних розрахунків, в яких вона є варіюваним параметром. Розрахунок нестационарного температурного поля у перерізі конструкції з вогнезахистом проводять чисельним розв'язанням диференціальних рівнянь нестационарної теплопровідності з урахуванням:

- наявності в розрахунковому перерізі порожнин, заповнених газом;
- можливого термічного розкладання (дегідратації) вогнезахисного матеріалу і супроводжуючих його

процесів переносу пари у пористому середовищі, конденсації і випаровування;

- зміни теплофізичних властивостей матеріалів конструкцій залежно від температури.

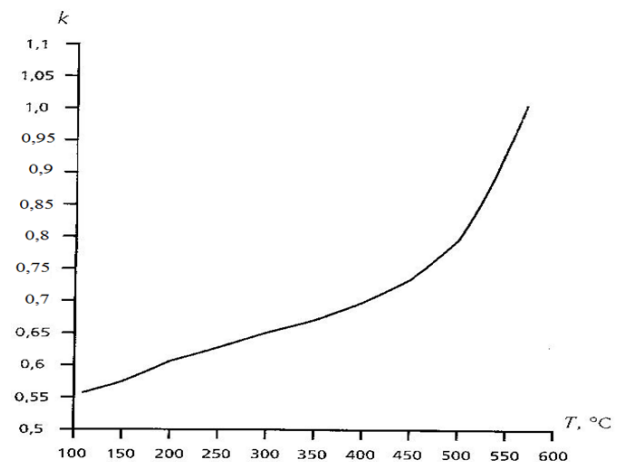


Рис. 5 – Залежність критерію міцності розпирки  $k$  від температури Т

### Висновки

– розпирки підземних споруд відносяться до стиснутих стрижнів середньої гнучкості, для яких розрахунок критичних навантажень слід проводити з урахуванням фізичної нелінійності деформування матеріалу;

– у закритичній стадії деформування прогин у небезпечному перерізі зменшується, що в свою чергу сприяє зменшенню згинаючого моменту;

– критичний стан розпирки настає при більш високій температурі, яка відповідає значенню критерію міцності  $k = 1$  і температурі 569°C, що і являється критичною для даної конструкції;

– описаний підхід враховує закритичне (після втрати стійкості від температурних напружень) деформування стиснутих металевих конструкцій підземних споруд типу балок-розпирок в умовах пожежі, і дозволяє визначати оптимальні параметри вогнезахисту цього класу конструкцій, і отримати економію вогнезахисних матеріалів.

### Список літератури

1. Мосалков, И. Л. Огнестойкость строительных конструкций [Текст] / И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, А. Ю. Фролов. – Москва: ЗАО «Спецтехника», 2001. – 490 с.
2. Заславский, Б. В. Краткий курс сопротивления материалов [Текст] / Б. В. Заславский. – Москва: Машиностроение, 1986. – 328 с.
3. Работнов, Ю. Н. Сопротивление материалов [Текст] / Ю. Н. Работнов. – Москва: Физматгиз, 1962. – 456 с.
4. Яковлев, А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций [Текст] / А. И. Яковлев. – Москва: Стройиздат, 1988. – 143 с.
5. Боли, Б. Теория температурных напряжений [Текст] / Б. Боли, Дж. Уэйнер. – Москва: Мир, 1998. – 518 с.
6. Страхов, В. Л. Огнезащита строительных конструкций [Текст]: руководство по пожарной безопасности подземных сооружений / В. Л. Страхов, А. М. Крутов, Н. Ф. Давыдкин. – Москва: Информационно-издательский центр «ТИМР», 2000. – Т. 2. – 433 с.
7. Горев, В. В. Металлические конструкции. Конструкции зданий [Текст] / В. В. Горев, Б. Ю. Уваров, В. В. Филипов, Г. И. Белый и др. – Москва: Высшая школа, 2002. – 528 с.

8. Демехин, В. Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре [Текст] / В. Н. Демехин, И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, Б. Б. Серков, А. Ю. Фролов, Е. Т. Шуриш. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 656 с.
9. Давыдкин, Н. Ф. Проектирование огнезащиты стальных сжатых конструкций (на примере распорок) [Текст] / Н. Ф. Давыдкин, В. О. Каледин, В. Л. Страхов // Строительные материалы и конструкции и их огнезащита. – 2011. – № 1. – С. 24–31.
10. Положаенко, С. Моделювання дифузійних процесів просочення ґрунту в основах гідротехнічних споруд [Текст] / С. Положаенко, С. Кузниченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 1/4 (55). – С. 25–28. – Режим доступу: <http://www.URL: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3314/3115>
1. Mosalkov, I. L., Pliusnina, G. F., Frolov, A. Iu. (2001). Ognestoikost' stroitel'nykh konstrukttsii. Moscow: ZAO «Spetstehnika», 490.
2. Zaslavskii, B. V. (1986). Kratkii kurs soprotivleniia materialov. Moscow: Mashinostroenie, 328.
3. Rabortnov, Iu. N. (1962). Soprotivlenie materialov. Moscow: Fizmatgiz, 456.
4. Iakovlev, A. I. (1988). Raschet ognestoikosti stroitel'nykh konstrukttsii. Moscow: Stroizdat, 143.
5. Boli, B., Ueiner, J. (1998). Teoriia temperaturnykh napriazhenii. Moscow: Mir, 518.
6. Strahov, V. L., Krutov, A. M., Davydkin, N. F. (2002). Ogneshchita stroitel'nykh konstrukttsii: rukovodstvo po pozharnoi bezopasnosti podzemnykh sooruzhenii. Vol. 2. Moscow: Informatsionno-izdatel'skii tsentr «TIMR», 433.
7. Gorev, V. V., Uvarov, B. Iu., Filippov, V. V., Belyi, G. I. et. al. (2002). Metallicheskie konstrukttsii. Konstrukttsii zdani. Moscow: Vysshiaia shkola, 528.
8. Demehin, V. N., Mosalkov, I. L., Pliusnina, G. F., Serkov, B. B., Frolov, A. Iu., Shurin, E. T. (2003). Zdaniia, sooruzheniia i ih ustoiichivost' pri pozhare. Moscow: Akademiia GPS MChS Rossii, 656.
9. Davydkin, N. F., Kaledin, V. O., Strahov, L. V. (2011). Proektirovanie ogneshchity stal'nykh szhatykh konstrukttsii konstrukttsii (na primere rasporok). Stroitel'nye materialy i konstrukttsii i ih ogneshchita, 1, 24–31.
10. Polozhaenko, S., Kuznychenko, S. (2012). Diffusion processes modeling of soil impregnation in the hydroengineering structures bottom. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 1(4(55)), 25–28. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/3314/3115>

Надійшла (received) 07.01.2016

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Особенности напряженного состояния сжатых конструкций подземных сооружений/ С. А. Тищенко, И. В. Рудешко, О. В. Бас** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.89–94. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Особенности напряженного состояния стисненых конструкций подземных споруд/ С. А. Тищенко, И. В. Рудешко, О. В. Бас**// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.89–94. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Features of stress state grip design underground structures/ Je. Tishchenko, I. Rudeshko, O. Bass**//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 4 (1176). – P.89–94. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Тищенко Євгеній Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент; Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Черкаської області, заступник начальника з навчальної та виробничої роботи; вул. 30 років Перемоги, 26, м. Черкаси, Україна, 18029.

**Рудешко Ірина Вікторівна** – Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, старший викладач кафедри будівельних конструкцій; вул. Оноприєнка, 8, м. Черкаси, Україна, 18000; e-mail: [rudeshko1603@ukr.net](mailto:rudeshko1603@ukr.net).

**Бас Олег Володимирович** – Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, науковий співробітник; вул. Оноприєнка, 8, м. Черкаси, Україна, 18000; [bas2413@gmail.com](mailto:bas2413@gmail.com).

**Тищенко Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент; Учебно-методический центр гражданской обороны и безопасности жизнедеятельности Черкасской области, заместитель начальника по учебной и производственной работе; ул. 30 лет Победы, 26, г. Черкассы, Украина, 18029.

**Рудешко Ирина Викторовна** – Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской обороны Украины, старший преподаватель кафедры строительных конструкций; ул. Оноприенко, 8, г. Черкассы, Украина, 18000; [rudeshko1603@ukr.net](mailto:rudeshko1603@ukr.net)

**Бас Олег Владимирович** – Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской обороны Украины, научный сотрудник; ул. Оноприенко, 8, г. Черкассы, Украина, 18000; [bas2413@gmail.com](mailto:bas2413@gmail.com)

**Tishchenko Evgeniy Aleksandrovich** – candidate of technical Sciences, associate Professor; Educational-methodical center of civil protection and life safety of Cherkasy region, Deputy Director for educational and production work; address Ukraine, Cherkasy Street 30th anniversary of the Victory, 26;

**Rudeshko Irina** – Cherkasy Institute of fire safety named Heroes of Chernobyl National University of civil protection of Ukraine, senior lecturer of the Department of building structures; str. Onopriyenko, 8, Cherkassy, Ukraine, 18000; [rudeshko1603@ukr.net](mailto:rudeshko1603@ukr.net).

**Bas Oleg** – Cherkasy Institute of fire safety named Heroes of Chernobyl National University of civil protection of Ukraine, research fellow; str. Onopriyenko, 8, Cherkassy, Ukraine, 18000