

Рис. 7. Залежність межі міцності, температури та щільності для плити MDF товщиною 19 мм: а) ламінована білою плівкою з двох боків; б) личкована синтетичним шпоном

Висновки. Отже, випробувано зразки без покриття, ламіновані білою плівкою, шпоновані синтетичним шпоном та опоряджені фарбою, яка мала матове покриття заданих товщин. Під час аналізу даних встановлено, що залежність межі міцності від щільності має нормальний розподіл для кожної серії випробувань досліджених матеріалів. Межа міцності плит MDF залежить від температури, за якої буде експлуатуватися виріб. Вплив температури на межу міцності плити MDF більшою щільності менший, ніж на зразок плити MDF з меншою щільністю. Механічні властивості MDF сильно залежать від щільності плити та температури, за якої вони експлуатуються, процес деформації і руйнування може бути описаний як термоактиваційний, що дає змогу використовувати кінетичну теорію міцності для прогнозування довговічності плит MDF. Проведені експерименти показали, що механічні властивості плит MDF залежать не тільки від температури, але і від швидкості деформації, тому можуть слугувати основою для розроблення методики оцінювання термоактиваційних параметрів матеріалу за короткострокових тестів із використанням жорсткого навантаження за різної швидкості деформації.

Література

1. Bekhta P. Bending strength and modulus of elasticity of particleboards at various temperatures / P. Bekhta, R. Marutzky // Holz Roh-Werkst. – 2007. – № 65. – Pp. 163-165.
2. Bekhta P. Shot-term effect of the temperature on the bending strength of wood-based panels / P. Bekhta, J. Lecka, Z. Morze // Holz Roh-Werkst. – 2003. – № 61(6). – Pp. 423-424.
3. Suzuki S. Effects of environmental factors on the properties of particleboard / S. Suzuki, F. Saito // Mokuzai Gakkaishi. – 1987. – № 33(4). – Pp. 298-303.
4. DeXin Yu. Tensile strength properties of particle boards at different temperatures and moisture contents / Yu. DeXin // Holz Roh-Werkst. – 1983. – № 41(7). – Pp. 281-286.

Бойко Л.Н., Анциферова А.В. Влияние плотности на предел прочности древесноволокнистых плит средней плотности при изменении температуры

Приведены результаты исследований предела прочности и модуля упругости древесноволокнистых плит средней плотности плит MDF (Medium Density Fiberboard) толщиной 10, 16 и 19 мм. Образцы изучены при следующих температурах: 20, 40, 60 и 80

°С. Обнаружено, что образцы, вырезанные из плиты MDF плотностью в пределах 780-820 кг/м³ при максимальной температуре имели такие же показатели предела прочности, как и образцы, испытанные при температуре 40 °С, но вырезанные из плиты MDF, плотность которой составляла 650-750 кг/м³. Установлено, что с повышением температуры происходит уменьшение значения предела прочности на 3... 5 МПа на каждые 10 °С.

Ключевые слова: предел прочности, плиты MDF, плотность, долговечность.

Boyko L.N., Antsyferova A.V. The Influence of Density on the Tensile Strength of Medium Density Fibreboard by Temperature Changes

The results of investigations of ultimate strength and elastic modulus of medium density fibreboard panels MDF (Medium Density Fiberboard) thickness of 10, 16 and 19 mm are provided. The samples were examined at the following temperatures: 20, 40, 60 and 80 °C. It is found that samples which were cut from the MDF board density in the range 780-820 kg·m⁻³ to a maximum temperature had the same tensile strengths, as well as samples that were tested at 40 °C, but they have been cut out of MDF board with a density of 650-750 kg·m⁻³. It has been found that an increase in temperature decreases the tensile strength values of 3... 5 MPa every 10 °C.

Keywords: tensile strength, MDF boards, density, durability.

УДК 534.111 Ст. викл. Х.І. Ліщинська, канд. техн. наук – Національна Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

КОЛИВАННЯ КАНАТА ПІД ДІЄЮ ГАРМОНІЧНОЇ СИЛИ, ЯКА ПРИКЛАДЕНА ДО РУХОМОГО ВАНТАЖУ

Запропоновано методику дослідження поздовжніх коливань каната з урахуванням нелінійно пружних властивостей матеріалу під дією гармонічної сили, яка прикладена до рухомого вантажу. В основу досліджень покладено: а) принцип одночастотності коливань; б) ідею використання періодичних Ateb-функцій для описання коливних процесів систем із степеневу нелінійністю. Розглянуто резонансний і нерезонансний випадки коливань. Отримано математичні залежності, які визначають вплив фізико-механічних характеристик та імпульсної сили на амплітудно-частотну характеристику поздовжніх нелінійних коливань.

Ключові слова: амплітуда, частота, нелінійні коливання, резонанс.

Актуальність. Важливою проблемою аналітичного дослідження поздовжніх коливань гнучких елементів систем приводу з нелінійно пружними характеристиками матеріалу (канатних витягів, ремінних, ланцюгових чи пасових передач) є вивчення впливу імпульсних сил на динамічні показники процесів. Імпульсні сили можуть мати різну природу і їх дія проявляється як у фіксовані моменти часу, так і при проходженні системи через конкретні положення. Незважаючи на коротку тривалість дії імпульсних сил (поодиноких чи таких, що повторюються за певним законом), вони можуть зумовлювати значну зміну амплітудно-частотної характеристики, а в окремих випадках спричинити у системах резонансні явища [1]. Зауважимо, що математичними моделями динамічних процесів одновимірних систем із неоднорідними вклученнями є рівняння, аналогічні до тих, які описують дію на систему імпульсних сил при проходженні через фіксовані положення, і їх математичними моделями є диференціальні рівняння із розривними правими частинами. Їх розглядали для випадку лі-

нійних і квазілінійних [1, 2] властивостей матеріалів. Для сильно нелінійних систем такі задачі розглядали тільки в окремих випадках. Тому дослідження коливань одновимірних систем із сильною нелінійністю, до яких належить більшість гнучких елементів систем приводу, під дією імпульсних сил є актуальними. Водночас розв'язування таких задач пов'язане зі значними труднощами через відсутність загальних методів.

Основна частина. Розглянемо поздовжні коливання каната під дією точкової маси, яка повільно рухається вздовж каната і до якої прикладена гармонічна сила. При розв'язуванні поставленої задачі будемо вважати канат тонким одновимірним тілом із рівномірно розподіленою масою вздовж його довжини. Пружні властивості каната з достатньою точністю описуються залежністю

$$\sigma = E\varepsilon^{\nu+1} + \mu f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}), \quad (1)$$

де μ – малий параметр, що вказує на незначне відхилення пружних характеристик матеріалу від степеневого закону.

Тоді кінетичну (Т) і потенціальну (П) енергії механічної системи "канат-вантаж" розраховують відповідно до формул [3]:

$$T = \frac{\rho E}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \right)^2 dx + \mu M \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \right)^2 \Big|_{x=\xi}; \quad (2)$$

$$P = E \int_0^l \left(\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^{\nu+1} dx, \quad (3)$$

де: $u(x,t)$ – поздовжнє переміщення поперечного перерізу з координатою x у довільний момент часу t ; ρ – густина матеріалу каната; μM – маса точкового вантажу, який рухається вздовж каната зі сталою швидкістю V_0 ; ξ – положення вантажу в довільний момент часу; A – площа поперечного перерізу.

Нижче будемо вважати, що точковий вантаж переміщується із малою швидкістю, тому $\xi = \xi_0 + V_0\tau$, де ξ_0 – положення вантажу в початковий момент часу, $\tau = \mu t$ – повільний час. Використовуючи рівняння Ейлера-Лагранжа [2], отримуємо

$$u_{tt} - \alpha^2 (u_x)^{\nu+1} u_{xx} = \mu (h \sin \theta - m u_{tt}) \Big|_{x=\xi}. \quad (4)$$

У диференціальному рівнянні (4) $m = \frac{M}{\rho A}$, $h = \frac{H}{\rho A}$, $\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x}$ (μH – найбільше значення гармонічної сили, частота якої дорівнює \wp , тобто $\theta = \wp t$, A – площа поперечного перерізу каната).

З урахуванням того, що вантаж рухається із малою сталою швидкістю, диференціальне рівняння (4) для першого наближення можна записати у вигляді

$$u_{tt} - \alpha^2 (u_x)^{\nu+1} u_{xx} = \mu (h \sin \theta - m u_{tt}) \delta(x - \xi). \quad (5)$$

При розв'язуванні диференціального рівняння будемо розглядати крайові умови

$$u(x,t) \Big|_{x=0} = u(x,t) \Big|_{x=l} = 0. \quad (6)$$

Цим умовам відповідає одночастотний динамічний процес каната (без урахування точкової маси) [3]

$$u(x,t) = aca(v+1, 1, \psi) sa \left(1, \frac{1}{v+1}, \frac{\Pi_x}{l} x \right). \quad (7)$$

Нижче будемо розглядати одночастотні коливання із частотою, близькою до головної частоти незбуреної системи. З урахуванням того, що диференціальне рівняння (5) неавтономного типу, розглянемо два випадки поздовжніх коливань системи "вантаж – канат": нерезонансний ($\omega(a) \neq \wp$) і випадок головного резонансу ($\omega(a) \approx \wp$).

Нерезонансний випадок коливань. З урахуванням того, що у нерезонансному випадку періодичне збурення неістотно впливає на амплітудно-частотну характеристику коливань, зі співвідношень

$$\dot{a} = \mu A(a) + \mu \sum_i A_i(a), \quad \dot{\psi} = \omega(a) + \mu B(a) + \mu \sum_i B_i(a) \quad (8)$$

отримуємо звичайні диференціальні рівняння, які визначають закони зміни амплітуди та частоти коливань каната:

$$\begin{aligned} \dot{a} &= \frac{-\mu}{2\pi\omega(a)\Pi_x P} \int_0^l \int_0^{2\pi\Pi_x} \int_0^l \left\{ h \sin \theta + ma\omega^2(a)ca^{\nu+1}(v+1, 1, \psi)sa \left(1, \frac{1}{v+1}, \frac{\Pi_x}{l} x \right) \right\} \times \\ &\quad \times sa \left(1, \frac{1}{v+1}, \frac{\Pi_x}{l} x \right) sa(1, v+1, \psi) \delta(x-\xi) dx d\psi d\theta = 0, \\ \dot{\psi} &= \Omega = \omega(a) - \frac{\mu(v+2)}{4\pi a\omega(a)\Pi_x P} \int_0^l \int_0^{2\pi\Pi_x} \int_0^l \left\{ h \sin \theta - ma\omega^2(a)ca^{\nu+1}(v+1, 1, \psi)sa \left(1, \frac{1}{v+1}, \frac{\Pi_x}{l} x \right) \right\} \times \\ &\quad \times sa \left(1, \frac{1}{v+1}, \frac{\Pi_x}{l} x \right) ca(v+1, 1, \psi) \delta(x-\xi) dx d\psi d\theta = \\ &= \omega(a) \left[1 - \frac{\mu m}{2\omega(a)\Pi_x P} v sa^2 \left(1, \frac{1}{v+1}, \frac{\Pi_x}{l} \xi \right) \right], \\ v &= \int_0^{2\pi} ca^{\nu+2}(v+1, 1, \psi) d\psi = \frac{2}{v+2} \sqrt{\pi} \Gamma \left(\frac{1}{v+2} \right) \cdot \\ &\quad \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{v+2} \right) \Gamma \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{v+2} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

На рис. 1 представлено залежність частоти коливань Ω каната від параметра ξ (місця розміщення вантажу), а на рис. 2 – залежність частоти коливань від амплітуди.

Отримані теоретичні співвідношення (9) та графічні залежності дають змогу стверджувати, що у нерезонансному випадку:

- а) амплітуда коливань каната залишається незмінною і дорівнює початковому значенню;

- б) частота коливань каната залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу каната, амплітуди і місця розміщення вантажу;
- в) зі зростанням амплітуди частота коливань зростає;
- г) найменше значення частоти коливань є у випадку, коли точкова маса знаходиться у середній точці.

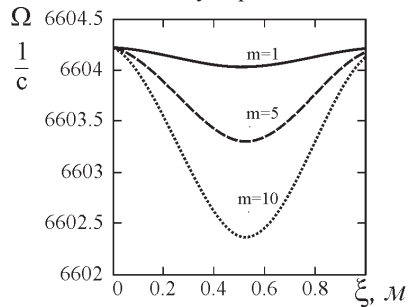


Рис. 1. Залежність частоти коливань каната від положення вантажу

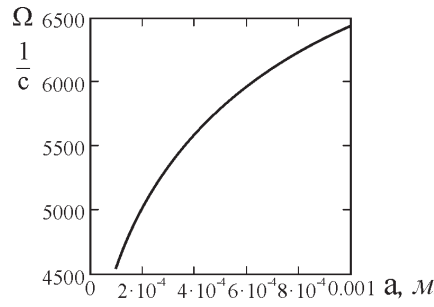


Рис. 2. Залежність частоти коливань каната від амплітуди

Резонансний випадок коливань. Для дослідження впливу періодичної сили на поздовжні коливання каната будемо вважати, що частота періодичної сили є повільно змінною функцією, тобто $\varphi = \varphi(\tau)$ і набуває значення, яке близьке до $\omega(a)$. З урахуванням наведеного, розв'язок незбуреного рівняння в околі головного резонансу запишемо у вигляді

$$u(x, t) = aca(\nu + 1, 1, \theta + \phi)sa\left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}x\right), \quad (10)$$

де ϕ – різниця фаз власних і вимушених коливань, тобто $\phi = \psi - \theta$.

Для визначення впливу періодичного збурення на коливання каната, відповідно до отриманих у цьому розділі залежностей, маємо

$$\begin{aligned} \dot{a} = & \frac{-\mu}{2\pi\omega(a)P} \int_0^l \int_0^{2\pi} \left\{ h \sin \theta - ma\omega^2(a)ca^{\nu+1} \left(\nu + 1, 1, \frac{\Pi_x}{\pi}(\theta + \phi) \right) sa \left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}x \right) \right\} \times \\ & \times sa \left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}x \right) sa \left(1, \nu + 1, \frac{\Pi_x}{\pi}(\theta + \phi) \right) \delta(x - \xi) dx d\theta, \\ \dot{\phi} = & \omega(a) - \varphi(\tau) - \\ & - \frac{\mu}{4\pi a \omega(a) P} \int_0^l \int_0^{2\pi} \left\{ h \sin \theta - ma\omega^2(a)ca^{\nu+1} \left(\nu + 1, 1, \frac{\Pi_x}{\pi}(\theta + \phi) \right) sa \left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}x \right) \right\} \times \\ & \times sa \left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}x \right) ca \left(\nu + 1, 1, \frac{\Pi_x}{\pi}(\theta + \phi) \right) \delta(x - \xi) dx d\theta. \end{aligned} \quad (11)$$

Підінтегральні функції є 2π -періодичними по θ , тому після нескладних перетворень знаходимо

$$\begin{aligned} \dot{a} = & \frac{-\mu\bar{h}}{2\pi\omega(a)P} sa \left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}\xi \right) \cos \phi, \\ \dot{\phi} = & \omega(a) \left[1 - \frac{\varphi(\tau)}{\omega(a)} - \frac{\mu\nu\nu}{2a\Pi_x P} sa^2 \left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}\xi \right) \right] + \\ & + \frac{\mu\bar{h}}{4\pi a \omega(a) P} sa \left(1, \frac{1}{\nu + 1}, \frac{\Pi_x}{l}\xi \right), \quad \bar{h} = h \int_0^{2\pi} \sin \theta sa \left(1, \nu + 1, \frac{\Pi_x}{\pi}\theta \right) d\theta, \\ & \bar{h} = h \int_0^{2\pi} \cos \theta ca \left(\nu + 1, 1, \frac{\Pi_x}{\pi}\theta \right) d\theta. \end{aligned} \quad (12)$$

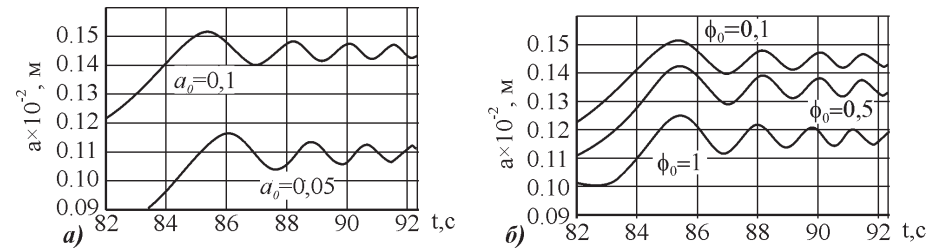


Рис. 3. Закони зміни амплітуди коливань каната із вантажем при переході через головний резонанс за різних значень: а) початкової амплітуди; б) початкової фази

На рис. 3 і 4 представлено резонансні криві за різних значень початкової амплітуди і початкової фази, а на рис. 5 – резонансні криві за нелінійної та квазілінійної моделей.

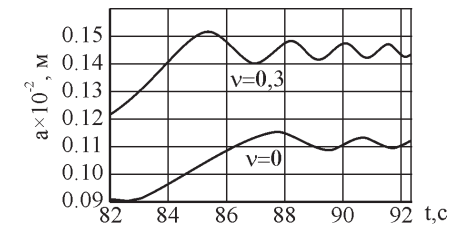


Рис. 5. Резонансні значення амплітуди коливань каната із вантажем за квазілінійної і нелінійної моделей

Представлені розрахункові та графічні залежності показують, що резонансне значення амплітуди коливань істотно залежить як від початкового значення амплітуди, так і різниці фаз:

- зростання початкового значення амплітуди у два рази призводить до зростання резонансної амплітуди на 34 %;
- чим менше початкове значення різниці фаз власних і вимушених коливань, тим резонансне значення амплітуди є більшим. Так, зростання початкового значення різниці фаз власних і вимушених коливань від 0,1 рад до 0,5 рад спричиняє зменшення резонансного значення амплітуди на 6 %, а відповідно при різниці початкових фаз 0,1 рад і 1 рад – на 18 %.

Порівнюючи резонансний процес у квазілінійній і нелінійній моделях каната з вантажем можна стверджувати:

- а) у нелінійній моделі явище резонансу наявне за меншого значення частоти вимушуючої сили;
- б) резонансне значення амплітуди у нелінійній моделі коливань більше за відповідне значення у квазілінійній на 35 %.

Висновки. Аналізуючи отримані аналітичні залежності, які описують досліджувані об'єкти, встановлено:

1. Найменше значення власна частота коливань приймає у випадку, коли рухомий вантаж знаходиться у середній точці;
2. У нелінійній моделі явище резонансу (у випадку дії пульсуючої сили, що прикладена до точкової маси) наявне за меншого значення частоти вимушуючої сили, ніж для квазілінійної моделі відновлювальної сили;
3. Резонансне значення амплітуди коливань каната у нелінійній постановці задачі є більшим, ніж у квазілінійній, на 35 %.

Література

1. Дзыра Б.И. О влиянии параметрической нагрузки импульсного вида на нелинейную колебательную систему / Б.И. Дзыра, В.В. Ищук // Аналитические и качественные методы исследования дифференциальных и дифференциально-разностных уравнений : сб. науч. тр. – К. : Изд-во Ин-та математики, 1977. – С. 39-59.
2. Дзыра Б.И. К вопросу обоснования метода усреднения для исследования одночастотных колебаний, возбуждаемых мгновенными силами / Б.И. Дзыра // Аналитические и качественные методы исследования дифференциальных и дифференциально-разностных уравнений : сб. науч. тр. – К. : Изд-во Ин-та математики, 1977. – С. 34-38.
3. Филиппов А.П. Динамическое воздействие подвижных нагрузок на стержни / А.П. Филиппов, С.С. Крохмалюк. – К. : Изд-во "Наук. думка", 1967. – 128 с.

Лицинская Х.И. Колебания каната под действием гармонической силы, приложенной к движущемуся грузу

Предложена методика исследования продольных колебаний каната с учетом нелинейно упругих свойств материала под действием гармонической силы, приложенной к движущемуся грузу. В основу исследований положены: а) принцип одночастотности колебаний; б) идея использования периодических Атеб-функций для описания колебательных процессов систем со степенной нелинейностью. Рассмотрены резонансный и нерезонансный случаи колебаний. Получены математические зависимости для определения влияния физико-механических характеристик и импульсной силы на амплитудно-частотную характеристику продольных нелинейных колебаний.

Ключевые слова: амплитуда, частота, нелинейные колебания, резонанс.

Lishchynska K.I. Oscillations of a Rope under an Operation of Harmonic Force Affixed on a Propelled Weight

A procedure of research of longitudinal oscillations of a rope with the account of non-linearly elastic properties of a material under the operation of the harmonic force affixed on the propelled weight is offered. On the basis of researches there are such necessary issues as a principle of one-rate of oscillations and an idea of use of periodic Ateb-functions for description of oscillatory processes of systems with degree nonlinearity. Resonance and untuned cases of oscillations are surveyed. Mathematical relations for the definition of agency of physic mechanical performances and impulse force on an amplitude-frequency characteristic of longitudinal non-linear oscillations are obtained.

Keywords: amplitude, frequency, non-linear oscillations, a resonance.

УДК 614.841

Доц. В.Б. Лойк, канд. техн. наук; курсант В.В. Кацій;
курсант Р.М. Тупа; курсант А.В. Супранюк – Львівський ДУ БЖД

ПІДВИЩЕННЯ МЕЖИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ КОМПОЗИЦІЯМИ НА ОСНОВІ СПУЧЕНОГО ПЕРЛІТУ

Запропоновано використання композицій на основі перліту для підвищення вогнестійкості металевих будівельних конструкцій. На основі проведеного експерименту здійснено якісну оцінку вогнезахисного ефекту композицій на основі перліту. Проаналізовано позитивні та негативні сторони вогнезахисного ефекту суміші внаслідок впливу стандартного температурного режиму пожежі. Проведено експериментальні дослідження з визначення межі вогнестійкості металевих будівельних конструкцій, покритих композиціями на основі спученого перліту. Створено передумови для застосування перлітових розчинів з метою підвищення межі вогнестійкості металевих будівельних конструкцій у будівництві та реконструкції будівель та споруд різних за призначенням.

Ключові слова: спучений перліт, межа вогнестійкості, вогнезахисний ефект, металеві будівельні конструкції.

Вступ. Через стрімкий розвиток будівництва в Україні та світі загалом, широкого застосування набувають металеві будівельні конструкції. Основною проблемою цих конструкцій є мала межа вогнестійкості.

Метал має високу теплопровідність, це призводить до того, що в умовах пожежі швидко прогривається до температури, що перевищує 400-500 °С, внаслідок навантаження в металевих конструкціях розвиваються температурні деформації [1, 2]. Межа вогнестійкості незахищених металевих конструкцій становить REI 10-15.

Постановка проблеми. Для підвищення вогнестійкості металевих конструкцій застосовують різноманітні способи захисту, а саме: різноманітні вогнезахисні покриття; вогнезахисні фарби; вогнестійкі плити, панелі тощо. Для потреб будівництва широкого застосування набувають матеріали, виготовлені з перліту, а особливий інтерес становить можливість використання вогнезахисної штукатурки на основі спученого перліту.

Перліт – це клас природних силікатних порід, що мають вулканічне походження. Його особливість полягає в тому, що в разі швидкого нагрівання (термоудару) за температури 900-1100 °С його гранули лопаються на зразок попкорну і збільшуються в обсязі до 20 разів, оскільки зв'язана вода, яка перебуває у перліті, під час випаровування створює незліченні дрібні бульбашки у розм'якшених оскляних частинках. Саме ці бульбашки забезпечують малу вагу й інші виняткові фізичні властивості спученого перліту. Внаслідок виходять пористі стерильні гранули білого кольору розміром 1-10 мм, які мають насипну щільність 75-150 кг/м³. Спучений перліт – натуральний, дуже легкий, екологічно чистий матеріал з відмінними теплопровідними якостями (0,046-0,08 Вт/мК за 25 °С), який використовують у багатьох галузях промисловості: будівництві, металургії, сільському господарстві та інших областях в температурному діапазоні від -200 до +900 °С.

Основна перевага спученого перліту – пожежобезпечність. Температура його плавлення становить близько 1200 °С і в ньому немає горючих компонентів, тому він не запалюється. У разі підвищеної температури розчини на основі