

Моделі радіаційної термомеханіки опромінюваних шаруватих тіл

Олександр Гачкевич¹, Ростислав Терлецький², Оксана Турій³

¹ д. ф.-м. н., професор, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Наукова, 3б, Львів, e-mail: dept13@iapmm.lviv.ua

² д. ф.-м. н., с. н. с., Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Наукова, 3б, Львів, e-mail: dept13@iapmm.lviv.ua

³ к. ф.-м. н., Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Наукова, 3б, Львів, e-mail: dept13@iapmm.lviv.ua

Проведено огляд досліджень у галузі радіаційної термомеханіки, зокрема, проаналізовано математичні моделі, які описують термомеханічну поведінку непрозорих і частково прозорих однорідних тіл за теплового опромінення та шаруватих тіл. Вказано, що на сьогодні моделі термопружності шаруватих тіл, зокрема тіл із покриттями, не розглядають ряд важливих особливостей взаємодії таких тіл із зовнішнім тепловим випромінюванням і контактної взаємодії, пов'язаних з розглядом реальних радіаційних властивостей складників. Водночас моделі радіаційної термомеханіки не розвинені на випадок шаруватих середовищ. Висвітлено особливості постановки задач термомеханіки для шаруватих тіл (зокрема, тіл із покриттями) за врахування відмінності радіаційних властивостей складників (їх різної прозорості для теплового випромінювання).

Ключові слова: шаруваті тіла, теплове опромінення, частково прозорі та непрозорі складники, теплоперенос, термонапружений стан.

Вивчення закономірностей термомеханічної поведінки шаруватих тіл за умов інтенсивних теплових навантажень, що можуть бути викликані тепловим опроміненням чи високотемпературним нагрівом, стосується чимало робіт. Таке дослідження неможливе без адекватного опису процесів переносу теплового випромінювання (як зовнішнього, так і власного, зумовленого тепловим випромінюванням складників) в таких складових тілах, які суттєво залежать від структури шаруватого тіла (кількості, розташування шарів і їх товщин) та радіаційних властивостей складників. Разом із тим, ефекти, пов'язані з поглинанням і випромінюванням теплової енергії, повинні бути враховані під час постановки контактнокрайових задач термопружності (зокрема, за формулювання граничних і контактних умов), на основі яких можна дослідити термонапружений стан шаруватих тіл. Таким чином, вирішення сформульованих задач пов'язано з дослідженням механічних процесів у взаємозв'язку з процесами переносу випромінювання та тепла і повинно ґрунтуватись на модельних уявленнях механіки суцільного середовища, а, саме, таких її напрямків як механіка зв'язаних полів і контактна термомеханіка.

Концептуальні основи побудови термодинамічно обґрунтованих (методами локально-рівноважної чи раціональної термодинаміки) моделей механіки суцільного середовища, що враховують взаємодію теплових і механічних полів, викладені у працях О. А. Ільюшина, А. Д. Коваленка, Л. І. Седова, Я. С. Підстригача, А. С. Eringen, W. Nowacki, C. Truesdell та ін. [1-9]. Базуючись на них, запропоновано термомеханічні моделі простих середовищ, які описують термопружну [1-3, 7, 9, 10 та ін.] та середовищ із внутрішніми змінними чи з пам'яттю, які описують термов'язкопружну та термов'язкопластичну [11-16 та ін.] поведінки деформівних твердих тіл з урахуванням їх нелінійних властивостей, механічної та внаслідок теплопровідності дисипації енергії.

Вивчення термомеханічної поведінки деформівних твердих тіл за врахування електромагнітних ефектів, які є наслідком взаємодії тіла з зовнішнім електромагнітним полем чи зв'язаності процесів деформації та переносу тепла з електромагнітними, є предметом дослідження механіки зв'язаних полів. У роботах С. А. Амбарцумяна, Г. Е. Багдасаряна, Я. Й. Бурака, О. М. Гузя, В. Г. Карнаухова, И. Ф. Киричка, Ф. Г. Махорта, В. З. Партонна, Я. С. Підстригача, А. Ф. Улітка, М. О. Шульги, G. A. Eringen, K. Hutter, A. C. Maugin, F. C. Moon, W. Nowacki, H. F. Tiersten, A. A. Ven van de та ін. [17-28] розроблені загальні підходи до опису взаємодії та запропоновані конкретні моделі, що стосуються електропровідних і діелектричних тіл із різною здатністю до поляризації та намагнічення, які є узагальненням згаданих термомеханічних моделей термопружності, термов'язкопружності та термов'язкопластичності. Узагальнені моделі враховують як ефекти безпосередньої зв'язаності полів, так і впливу зовнішнього електромагнітного поля — теплові (пов'язані з дисипацією електромагнітної енергії внаслідок електропровідності, поляризації і намагнічення) та силові (внаслідок виникнення пондеромоторних сил і моментів). За нехтування безпосередньою зв'язаністю електромагнітних процесів із деформаційними та тепловими вплив зовнішнього електромагнітного поля на процеси теплопровідності і деформації враховується у рівняннях термомеханіки через чинники дії — об'ємні джерела тепла (тепловиділення) й об'ємні (пондеромоторні) сили. Вирази для них, через характеристики електромагнітного поля, отримуються на основі певних модельних уявлень про взаємодію зовнішнього поля з розглядуваними типами середовищ. Для визначення цих характеристик формулюються (з урахуванням специфіки електричних та магнітних властивостей матеріалів і задання зовнішньої електромагнітної дії) відповідні задачі класичної електродинаміки, придатні для опису електромагнітного випромінювання в радіочастотному діапазоні (частоти до $3 \cdot 10^{11}$ Гц).

Необхідність дослідження термомеханічної поведінки тіл за умов дії світлового електромагнітного випромінювання (включає інфрачервоне випромінювання (частоти $3 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{14}$ Гц), видиме світло ($3 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{15}$ Гц) та ультрафіолетове випромінювання ($3 \cdot 10^{15} - 3 \cdot 10^{17}$ Гц) як теплового, так і нетеплового зумовила постановку нового класу задач — задач радіаційної термомеханіки. Хоча світлове, зокрема, теплове випромінювання має електромагнітну природу, використання для побудови моделей термомеханіки деформівних твердих тіл за умов дії випромінювання світлового діапазону частот теорій взаємодії,

що базуються на класичній теорії поля, пов'язано зі значними труднощами. Вони виникають як при описі електромагнітних властивостей матеріалів, так і під час дослідження поширення випромінювання таких частот у середовищі [29]. Наприклад, взаємодія світлового випромінювання з тілами характеризується явищами резонансного поглинання ними електромагнетної енергії в певних вузьких спектральних діапазонах — лініях і смугах поглинання, утворення яких неможливо врахувати без залучення квантовомеханічного опису поведінки частинок, з яких складається тіло. Поширення світлових хвиль у тілі на основі рівнянь Максвелла дослідити неможливо. По-перше — тому, що саме нагріте тіло, частинки якого знаходяться в стані теплового руху, може бути джерелом виникнення хвиль таких частот — теплового випромінювання (частоти близькі до частот власних коливань атомів чи молекул). По-друге — довжини електромагнітних хвиль стають співвимірними з розмірами згаданих частинок і необхідно враховувати багатократне розсіювання на них електромагнітної хвилі, в тому числі зі зміною частоти (комптонівське розсіювання). Опис таких явищ у тілі можливий на основі співвідношень квантової електродинаміки (квантової теорії флуктуації) [30-32] чи теорії багатократного розсіювання хвиль [33, 34]. Однак, складність таких теорій обмежує можливість їх застосування.

У літературі при дослідженні поширення світлового електромагнітного випромінювання та моделювання його впливу на термомеханічні процеси в середовищі використовують не електродинамічну, а менш складну феноменологічну теорію випромінювання, що базується на законах Планка та Бугера, основи якої викладено у працях В. Н. Адріанова, А. Г. Блоха, Б. А. Григор'єва, Ю. А. Журавльова, Н. В. Марченко, В. А. Петрова, Л. Н. Рижкова, М. А. Рубцова, Е. Е. Anderson, J. R. Howell, R. Siegel, R. Viskanta та ін. [35-41]. На ній базується теорія теплообміну випромінюванням в суцільному середовищі [39, 43-50], що досліджує тепловий стан тіл різної прозорості за врахування процесів поглинання та випромінювання ними енергії теплового випромінювання.

У феноменологічній теорії випромінювання за характером взаємодії із зовнішнім випромінюванням тверді тіла поділяють на частково прозорі та непрозорі в певних спектральних діапазонах. При цьому, для непрозорих тіл (поглинають випромінювання тонким, у кілька атомних шарів поверхневим шаром), ці процеси вважають поверхневими та враховують в умовах балансу теплових потоків на поверхні тіла (при формулюванні теплових граничних умов). У частково прозорих тілах (що характеризуються об'ємним поглинанням і випромінюванням теплової енергії) поширення випромінювання, зокрема з врахуванням розсіювання, описується рівняннями переносу, а його поглинання та випромінювання тілом пов'язують з об'ємними тепловиділеннями, які розглядають як джерела тепла, в рівнянні теплопровідності.

Під час опису поля випромінювання використовують його енергетичні характеристики (інтенсивність і потік), що дозволяє (з достатньою точністю) визначити чинники дії випромінювання на тіло (теплові та силові) через ці характеристики й експериментально встановлювані радіаційні характеристики тіла (які з використанням електромагнітної теорії можна пов'язати з електрофізичними)

на основі енергетичних співвідношень без введення напруженостей електричного та магнітного полів [29, 39, 42, 51]. Такі чинники — об'ємні тепловиділення та пондеромоторні сили для частково прозорих тіл і теплові потоки та світловий тиск для непрозорих тіл використовують при постановці задач радіаційної термомеханіки для опромінюваних частково прозорих і непрозорих тіл.

З явним чи неявним використанням такої методології феноменологічної теорії розвивалися моделі термомеханіки, що враховують вплив світлового, зокрема теплового випромінювання та теплообміну випромінюванням. Стосовно непрозорих тіл і теплового опромінення — у працях А. П. Огурцова, В. С. Поповича, Ю. С. Постольника та ін. [52-56]. Отримано розв'язки ряду задач про дослідження термонапруженого стану непрозорих тіл канонічної форми за спрощених умов теплообміну за законом Стефана-Больцмана, які моделюють теплообмін випромінюванням із зовнішнім середовищем [53, 57, 58] і за реальних умов теплообміну, які враховують конфігурацію тіла чи тіл, що беруть участь у теплообміні [59-61]. Стосовно частково прозорих і непрозорих тіл за нетеплового (лазерного) опромінення такі моделі запропоновані Ю. М. Коляно, О. М. Куликом А. А. Угловим, Г. В. Пляцком, Я. С. Підстригачем, І. К. Сенченковим, Р. В. Netparskii та ін. [62-65], а напружений стан у тілах плоскої геометрії вивчали у працях [62, 66, 67].

У працях Я. Й. Бурака та ін. [52, 68-70] запропоновано варіант теорії термопружності частково прозорих тіл за умов дії теплового випромінювання. Він базується на єдиному підході (з використанням наближення геометричної оптики) до означення чинників дії електромагнітного випромінювання на тіло в радіо- та світловому частотних діапазонах і феноменологічній теорії випромінювання. Варіант є узагальненням моделі термомеханіки тіл низької електропровідності (які є частково прозорими для електромагнітного випромінювання світлового діапазону) у зовнішніх квазіусталених електромагнітних полях радіочастотного діапазону [70, 71]. На його основі досліджено термомеханічну поведінку за теплового опромінення пластин і сферичних тіл [72, 73] та в системі плоскопаралельних шарів різної прозорості [74] залежно від енергетично-спектральних параметрів його джерела. Окрім згаданих робіт, окремі задачі про термопружний стан частково прозорих тіл за дії теплового випромінювання розглядали у працях [75, 76], а непрозорих тіл у [77].

У роботах [78, 79] сформульовано й отримано розв'язки задач радіаційної термомеханіки для частково прозорих тіл канонічної форми (шар, порожнисті циліндр і куля) за однорідного зовнішнього теплового опромінення з урахуванням наявного розташування випромінювачів і відбивачів.

У працях [29, 80-84] викладено теорію механотермодифузії в частково прозорих тілах із домішками за дії електромагнітного випромінювання світлового діапазону частот, яка ґрунтується на континуальній моделі твердої суміші та феноменологічній теорії випромінювання. Досліджено механотермодифузійні процеси у шарі з газовими домішками за теплового та лазерного опромінення.

Дослідження механічної поведінки шаруватих і кусково-неоднорідних тіл за теплових навантажень є один із напрямків контактної термомеханіки.

Ключовим при цьому є моделювання контактної взаємодії складових з урахуванням особливостей теплообміну між ними, зокрема за наявності контактної прошарку.

Математичні моделі контактної пружності та термопружності викладені у працях В. М. Александрова, В. А. Бабешка, С. Ю. Бабича, І. І. Воровича, Е. І. Григолюка, Д. В. Грилицького, В. С. Гудрамовича, Л. А. Галіна, О. М. Гузя, К. Джонсона, Р. М. Мартиняка, В. І. Моссаковського, В. В. Панасюка, В. Л. Рвачова, Р. М. Швеця, J. R. Barber та ін. [85-98], зокрема стосовно шаруватих, кусково-неоднорідних тіл і тіл із покриттями — у працях В. М. Александрова, В. В. Болотіна, І. М. Коровайчука, Ю. М. Коляно, Р. М. Кушніра, О. В. Максимука, С. М. Мхітаряна, Ю. М. Новічкова, Б. Л. Пелеха та ін. [99-103].

Під час формулювання контактних-крайових задач термопружності для шаруватих і кусково-неоднорідних тіл використовують умови ідеального теплового та механічного контактів і неідеального, обумовленого послабленою адгезією на межах поділу, наявністю міжконтактного середовища, зокрема, однорідних і неоднорідних проміжкових шарів із відмінними від основних фізичними властивостями. Врахування недосконалого теплового контакту в контактній теплопровідності здійснюють за допомогою такої ключової характеристики як контактний термічний опір (чи оберненої до неї — контактної термічної провідності [104-106]). Її розраховують з урахуванням структури контактуючих поверхонь і теплопровідності міжконтактного середовища чи визначають експериментально.

Дослідження теплових напружень у шаруватих і кусково-неоднорідних тілах за умов ідеального та неідеального (що описується термоопором) теплового контактів стосуються численні праці [101, 107-109 та ін.].

Реальне врахування тонких проміжкових прошарків чи приповерхневих шарів при дослідженні термомеханічної поведінки шаруватих і кусково-неоднорідних тіл суттєво ускладнює постановки контактних-крайових задач і застосування аналітичних та числових методів їх розв'язування через необхідність спряження розв'язків в областях з суттєво різними характерними розмірами [110]. Тому, їх, зазвичай, виключають з розгляду замінюючи фізичною поверхнею з приведеними тепловими та механічними характеристиками, а їхній вплив враховують узагальненими граничними для тіл із покриттями чи контактними для тіл із прошарками тепловими та механічними умовами. Вперше такий підхід запропоновано Я. С. Підстригачем під час моделювання теплового контакту тіл через однорідний проміжковий шар [111, 112] і Я. С. Підстригачем і П. Р. Шевчуком при розробці теорії механодифузії [113, 114] і термопружності [115] для тіл із покриттями. Формулюючи теплові умови використовують певні припущення щодо розподілу температури чи потоків тепла за товщиною шару [103, 116] чи формальний операторний метод, який стосовно задач термомеханіки для однорідних і шаруватих оболонок застосовано в роботах [112, 117-119]. З його допомогою отримано узагальнені умови фізичного обміну через проміжковий шар за лінійних контактних умов (зокрема, тепло- та масообміну) [114]. Цей метод застосовано для встановлення рівнянь, що описують теплопровідність у тонких однорідних оболонках за лінійних [113, 118] і нелінійних (за законом Стефана-Больцмана) [119] теплових крайових умов.

Аналіз згаданих вище математичних моделей контактної термопружності, які стосуються шаруватих і кусково-неоднорідних тіл показує, що радіаційні властивості складників, зокрема міжконтактного прошарку, в таких моделях не беруться до уваги. Тому ефекти, пов'язані з поширенням теплового випромінювання (як зовнішнього, так і власного) та поглинання і випромінювання теплової енергії в об'ємі, під час опису теплового стану не враховуються. Хоча, на необхідність дослідження впливу процесів теплообміну випромінюванням, наприклад, в міжконтактному середовищі при визначенні термоопору, як на одну з проблем контактної теплопровідності, вказано в працях [114, 116]. В окремих моделях шаруватих тіл враховується лише теплообмін випромінюванням із зовнішнім середовищем граничних шарів за спрощених умов теплообміну за законом Стефана-Больцмана [120, 121 ін.] та неявно передбачається їх непрозорість. У літературі не встановлені умови ідеального теплового контакту на межі поділу шарів з різною прозорістю й узагальнені умови теплообміну через проміжковий шар за врахування особливостей випромінювання, поглинання та поширення теплової енергії в області контакту. В теорії термопружності тіл із покриттями отримано узагальнені граничні умови теплообміну через покриття лише за згаданих спрощених умов теплообміну випромінюванням із зовнішнім середовищем, фактично для непрозорого покриття на непрозорій основі [121, 122].

У теорії теплообміну випромінюванням в суцільному середовищі відомі дослідження у взаємозв'язку процесів переносу випромінювання та тепла (радіаційно-кондуктивного теплообміну) в шаруватих частково прозорих тілах, які проводилися переважно для двошарових пластин [123-129]. Запропоновані моделі базуються на феноменологічній теорії випромінювання частково прозорих тіл і враховують ефекти випромінювання та поглинання теплової енергії в шарах і відбивання та заломлення випромінювання на межі поділу, що моделюється плоскою фізичною поверхнею із заданими на обох сторонах відбивальними характеристиками. Вважається, що така шарувата плоска система знаходиться між непрозорими поверхнями із заданими радіаційними (випромінювальними та відбивальними властивостями) і температурами, а на межі поділу шарів виконуються умови ідеального теплового контакту (рівність температур і потоків тепла, зумовлених теплопровідністю). Однак, у літературі з теплообміну випромінюванням поширення випромінювання та тепла в шаруватих тілах зі складниками різної прозорості не вивчалось.

У рамках радіаційної термомеханіки не досліджувався термонапружений стан опромінюваних як частково прозорих шаруватих тіл, так і тіл зі складниками різної прозорості.

Таким чином, з огляду доступних літературних джерел впливає, що на сьогоднішні моделі контактної термопружності шаруватих тіл, зокрема тіл з покриттями, не розглядали ряд важливих особливостей взаємодії таких тіл із зовнішнім тепловим випромінюванням і контактної взаємодії, пов'язаних з розглядом реальних радіаційних властивостей складників. Водночас моделі радіаційної термомеханіки не розвинені на випадок шаруватих середовищ.

Зважаючи на практичну потребу прогнозування термомеханічної поведінки елементів конструкцій і приладів зі складниками різної прозорості для теплового випромінювання за умов теплового опромінення чи високих температур, виникає необхідність формулювання контактних задач теплопереносу та термопружності для опромінюваних шаруватих тіл зі складниками різної прозорості та розробки методики дослідження їх термонапруженого стану. Такі дослідження, які стосуються розробки методики вивчення термонапруженого стану опромінюваних плоско-шаруватих тіл (пластин) і виявлення закономірностей їх термомеханічної поведінки залежно від радіаційних властивостей матеріалів складових шарів, їх товщин і температури джерела опромінення, проведені за останній час у працях [130-135] авторів статті. В них, зокрема, розроблено математичну модель, що описує на основі феноменологічної теорії випромінювання та теорії квазістатичної термопружності, термонапружений стан опромінюваних плоско-шаруватих тіл (пластин) за врахування ефектів теплового випромінювання на поверхнях, у частково прозорих областях і на межах контакту складників. Записані вихідні співвідношення моделі для нескінченних тришарових пластин за різних комбінацій радіаційних властивостей складників. Виведено узагальнені умови переносу випромінювання через частково прозорий проміжковий шар та узагальнені умови теплообміну через проміжковий шар довільної прозорості, які дають можливість використати для опису процесів переносу випромінювання та тепла в пластинах за наявності тонких прошарків модель двошарової пластини за ускладнених радіаційних характеристик межі контакту та теплових контактних умов. Знайдено наближені вирази для напружень в основних шарах, що враховують приведені жорсткісні характеристики на згин і розтяг тонкого проміжкового шару. Отримано вихідні співвідношення для опису поширення випромінювання та теплопереносу в опромінюваних двошарових пластинах зі складниками з різними радіаційними властивостями, зокрема різної прозорості в припущенні досконалого контакту між складовими шарами, за якого межа контакту моделюється плоскою поверхнею із заданими на обох її сторонах радіаційними характеристиками матеріалу шарів, а умови теплового контакту — ідеальні. Знайдено аналітичні вирази для характеристик поля випромінювання в частково прозорій області пластини і виражено через них тепловиділення та теплові потоки, зумовлені поглинанням теплової енергії на межі поділу шарів різної прозорості. За умов ідеального механічного контакту отримано вирази для напружень у пластині за різних умов закріплення країв на нескінченності. Виведено наближені співвідношення, що базуються на використанні узагальнених граничних умов (умов теплообміну через покриття) для опису процесів теплопереносу в опромінюваних пластинах із покриттями. Запропоновані методики розв'язування нових лінійних і нелінійних контактних-крайових та крайових задач термопружності, які виникають під час опису процесів теплопереносу в двошарових опромінюваних пластинах і пластинах із покриттями та дослідження їх термомеханічної поведінки.

Література

- [1] *Ильюшин А. А.* Механика сплошной среды. — Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1978. — 287 с.
- [2] *Коваленко А. Д.* Основы термоупругости. — Киев: Наук. думка, 1970. — 307 с.
- [3] *Седов Л. И.* Механика сплошной среды: в 2-х т. — Москва: Наука, 1976. — Т. 1. — 536 с.
- [4] *Підстригач Я. С.* Диференціальні рівняння дифузійної теорії деформації твердого тіла // Доп. АН УРСР. — 1963. — № 3. — С. 336-340.
- [5] *Подстригач Я. С.* Диффузионная теория деформации изотропной сплошной среды // Вопр. механики реального твердого тела. — 1964. — № 2. — С. 71-99.
- [6] *Eringen A. C.* Mechanics of continuum. — New York: Wiley, 1967. — 562 p.
- [7] *Новацкий В.* Динамические задачи термоупругости. — Москва: Мир, 1970. — 256 с.
- [8] *Новацкий В.* Теория упругости. — Москва: Мир, 1975. — 872 с.
- [9] *Трусделл К.* Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. — Москва: Мир, 1975. — 592 с.
- [10] *Жермен П.* Курс механики сплошных сред. — Москва: Высшая школа, 1983. — 399 с.
- [11] *Coleman B. D.* Thermodynamics of materials with memory // Arch. Rat. Mech. & Anal. — 1964. — Vol. 17, No 1. — P. 1-46.
- [12] *Coleman B. D., Gurtin M. E.* Thermodynamics with internal state variables // J. Chem. Phys. — 1967. — Vol. 47, No 2. — P. 597-613.
- [13] *Ильюшин А. А., Победра Б. Е.* Основы математической теории термовязкоупругости. — Москва: Наука, 1970. — 280 с.
- [14] *Кристиансен Р.* Введение в теорию вязкоупругости. — Москва: Мир, 1974. — 140 с.
- [15] *Ильюшин А. А.* Пластичность. Основы математической теории. — Москва: Изд-во АН СССР, 1963. — 272 с.
- [16] *Шевченко Ю. Н., Терехов Р. Г.* Физические уравнения термовязкопластичности. — Киев: Наук. думка, 1982. — 240 с.
- [17] *Амбарцумян С. А., Багдасарян Г. Е., Белубекян М. В.* Магнитоупругость оболочек и пластин. — Москва: Наука, 1977. — 272 с.
- [18] *Підстригач Я. С., Бурак Я. Й.* Деякі аспекти побудови нових моделей механіки твердого тіла з урахуванням електромагнітних процесів // Вісник АН УРСР. — 1970. — № 12. — С. 18-31.
- [19] *Гузь А. Н., Махорт Ф. Г.* Акустоэлектромагнитоупругость. — Киев: Наук. думка, 1989. — 279 с. (Механика связанных полей в элементах конструкций: В 5 т. — Т. 3).
- [20] *Партон В. З., Кудрявцев Б. А.* Электромагнитоупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел. — Москва: Наука, 1988. — 472 с.
- [21] *Улітко А. Т., Мольченко Л. В., Ковальчук В. Ф.* Магнітопружність при динамічному навантаженні. — Київ: Либідь, 1994. — 155 с.
- [22] *Шульга Н. А., Болкисев А. М.* Колебания пьезоэлектрических тел. — Киев: Наук. думка, 1990. — 228 с.
- [23] *Eringen A. C., Maugin G. A.* Electrodynamics of continua. — New York: Springer-Verlag, 1989, Vol. 2. — 363 p.
- [24] *Eringen A. C.* Mechanics of continuum. — New York: Wiley, 1967. — 562 p.
- [25] *Hutter K., van de Ven A.A.* Field-matter interaction in thermoelastic solids. — Lecture Notes in Physics, Vol. 88. — Berlin: Springer-Verlag, 1978. — 234 p.
- [26] *Moon F. C.* Problems in magneto-solid-mechanics // Mechanics Today. — 1978. — Vol. 4. — P. 307-390.
- [27] *Новацкий В.* Электромагнитные эффекты в твердых телах. — Москва: Мир, 1986. — 160 с.
- [28] *Tiersten H. F.* On the nonlinear equations of thermoelectroelasticity // Int. J. Eng. Sci. — 1971. — Vol. 9. — P. 587-603.
- [29] Моделювання та оптимізація в термомеханіці електропровідних неоднорідних тіл / під заг. ред. *Я. Й. Бурака, Р. М. Кушніра*. Т. 2: Механотермодифузія в частково прозорих тілах / *О. Р. Гачкевич, Р. Ф. Терлецький, Т. Л. Курницький*. — Львів: СПОЛОМ, 2007. — 184 с.
- [30] *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Электродинамика сплошных сред. — Москва: Наука, 1959. — 532 с.
- [31] *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теория поля. — Москва: Наука, 1973. — 504 с.

- [32] Левин М. Л., Рыжов Е. М. Теория равновесных тепловых флуктуаций в электродинамике. — Москва: Наука, 1967. — 308 с.
- [33] Барабаненков Ю. Н. Многократное рассеяние волн на ансамбле частиц и теория переноса излучения // УФН. — 1975. — Т. 117, вып. 1. — С. 46-78.
- [34] Барабаненков Ю. Н., Финкельберг В. М. Метод функций Грина в теории многократного рассеяния волн // Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света. — Минск: Наука и техника, 1974. — С. 171-187.
- [35] Адрианов В. Н. Основы радиационного и сложного теплообмена. — Москва: Энергия, 1972. — 464 с.
- [36] Блох А. Г., Журавлев Ю. А., Рыжков Л. Н. Теплообмен излучением: Справочник. — Москва: Энергоатомиздат, 1991. — 432 с.
- [37] Григорьев Б. А. Импульсный нагрев излучениями: В 2 т. — Москва: Наука, 1974. — Т. 1. — 320 с.
- [38] Петров В. А., Марченко Н. В. Перенос энергии в частично прозрачных твердых материалах. — Москва: Наука, 1985. — 192 с.
- [39] Рубцов Н. А. Теплообмен излучением в сплошных средах. — Новосибирск: Наука, 1984. — 277 с.
- [40] Зигель Р., Хауэлл Д. Теплообмен излучением. — Москва: Мир, 1975. — 935 с.
- [41] Anderson E. E., Viskanta R. Effective thermal conductivity for heat transfer through semitransparent solids // J. Am. Ceram. Soc. — 1973. — Vol. 56, Issue 10. — P. 541-546.
- [42] Гачкевич О. Р., Терлецький Р. Ф. Моделі термомеханіки намагнетовних і поляризованих електропровідних деформованих твердих тіл // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2004. — Т. 40, № 3. — С. 19-37.
- [43] Gotz T. Coupling heat conduction and radiative transfer. JQSRT 2002; 72: 57-73.
- [44] Modest M. F. Radiative heat transfer. — The Pennsylvania State University, 2003. — 822 p.
- [45] Discrete ordinates solution of coupled conductive radiative heat transfer in a two-layer slab with Fresnel interfaces subject to diffuse and obliquely collimated irradiation / C. Muresan, R. Vaillon, C. Menezo, R. Morlot. JQSRT 2004; 84: 551-562.
- [46] Sadooghi P. Transient coupled radiative and conductive heat transfer in a semitransparent layer of ceramic. JQSRT 2005; 92: 403-416.
- [47] Shevchuk V. A. Modelling and computation of heat transfer in a system “body-multilayer coating” // Heat Transfer Reseach. — 2006. — Vol. 37, No 5. — P. 421-433.
- [48] Liu L. H., Hsu P.-f. Analysis of transient radiative transfer in a semitransparent graded index medium. JQSRT 2007;105:357-376.
- [49] Coquard R., Rochais D., Baillis D. Experimental investigations of the coupled conductive and radiative heat transfer in metallic/ceramic foams // Int. J. Heat Mass Transfer. — 2009. — Vol. 52. — P. 4907-4918.
- [50] Amosov A. A. Nonstationary nonlinear nonlocal problem of radiative-conductive heat transfer in a system of opaque bodies with properties depending on radiation frequency [in Russian], Probl. Mat. Anal. 44, 3-38 (2010); English transl.: J. Math. Sci., New York 165, No 1, 1-41 (2010).
- [51] Гачкевич О. Р., Терлецький Р. Ф., Брухаль М. Б. Деякі проблеми математичного моделювання в термомеханіці тіл різної прозорості за теплового опромінення // Мат. методи і фіз.-мех. поля. — 2008. — Т. 51, № 3. — С. 202-219.
- [52] Гачкевич А. Р. Термоупругість електропровідних тел, находящихся под воздействием электромагнитного излучения инфракрасного диапазона частот. — Львов: 1993. — 55 с. (Препр. / НАН Украины. Ин-т прикл. проблем механики и математики; № 10-93).
- [53] Постольник Ю. С., Огурцов А. П. Нелінійна прикладна термомеханіка. — Київ: НМЦ ВО МОНУ, 2000. — 280 с.
- [54] Постольник Ю. С., Огурцов А. П. Металургійна термомеханіка. — Дніпропетровськ: Системні технології, 2002. — 633 с.
- [55] Попович В. С. Моделі та методи розрахунку термонапруженого стану термочутливих елементів конструкцій за умов складного теплообміну: дис. ... докт. техн. наук — Луцьк, 2005. — 312 с.

- [56] Попович В. С. Побудова розв'язків задач термопружності термочутливих тіл при конвективно-променевому теплообміні // Доповіді НАН України. — 1997. — № 11. — С. 69-73.
- [57] Попович В. С., Гарматій Г. Ю., Вовк О. М. Термопружний стан термочутливої порожнистої кулі за умов конвективно-променевого теплообміну з довкіллям // Фіз.-хім. механіка матеріалів. — 2006. — Т. 42, № 6. — С. 39-48.
- [58] Kushnir R. M., Popovych V. S., Vovk O. M. The thermoelastic state of a thermosensitive sphere and space with spherical cavity subject to complex heat exchange // J. Eng. Math. — 2008. — No 61. — P. 357-369.
- [59] Попович В. С., Вовк О. М. Методика розв'язування задачі кондуктивно-променевого теплообміну між циліндричною та N-кутною призматичною оболонками // Мат. методи та фіз.-мех. поля. — 2004. — Т. 47, № 1. — С. 158-168.
- [60] Гачкевич А. Р., Бойчук В. Я. Термонапряженное состояние длинного цилиндра при нагреве тепловым излучением // Прикл. механика. — 1987. — Т. 23, № 4. — С. 16-23.
- [61] Гачкевич А. Р., Бойчук В. Я. Термомеханическое поведение неметаллических электропроводных тел при высокотемпературной обработке // Мат. методы и физ.-мех. поля. — 1996. — Т. 39, № 1. — С. 74-79.
- [62] Коляно Ю. М., Кулик А. Н. Температурные напряжения от объемных источников. — Киев: Наук. думка, 1983. — 288 с.
- [63] Пляцко Г. В., Подстригач Я. С. О напряженном состоянии вызванном лучом лазера в процессе разрушения прозрачных полимеров // Физ.-хим. механика материалов. — 1970. — Т. 6, № 3. — С. 93-97.
- [64] Hetnarski R. B., De Bolt F. C. Thermal stresses due to laser radiation. Part 1: Heat conduction // J. Thermal Stresses. — 1990. — Vol. 15. — P. 331-333.
- [65] Thermal stresses due to a laser pulse train: Coupled solution / R. B. Hetnarski, L. G. Hector, P. Hosseini Tehrani, M. R. Eslami // Proc. 3rd Int. Congress on Thermal Stresses. — Cracow (Poland, 1999. — P. 61-64.
- [66] Напряжения в плоских телах с поглощением при действии локального источника тепла / А. А. Углов, Ю. М. Коляно, А. Н. Кулик, Ф. И. Стоцкий // Физика и химия обраб. материалов. — 1976. — № 6. — С. 117-120.
- [67] Коляно Ю. М., Бернар И. И. Температурные напряжения в пластине при двусторонней лазерной обработке // Проблемы прочности. — 1983. — № 5. — С. 36-48.
- [68] Терлецький Р. Ф. Термонапряженное состояние тел низкой электропроводности при воздействии электромагнитного излучения: дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Львов, 1988. — 216 с.
- [69] Бурак Я. Й., Гачкевич О. Р., Терлецький Р. Ф. Термомеханіка тіл низької електропровідності при дії електромагнітного випромінювання інфрачервоного діапазону частот // Доп. АН УРСР. Сер. А. — 1990. — № 6. — С. 39-43.
- [70] Гачкевич А. Р. Термомеханіка електропроводних тел при впливі квазіустановившихся електромагнітних полів. — Київ: Наук. думка, 1992. — 192 с.
- [71] Бурак Я. Й., Гачкевич А. Р., Терлецький Р. Ф. Термомеханіка тел низької електропроводності во зовнішніх квазіустановившихся електромагнітних полях // Докл. АН УССР. Сер. А. — 1989. — № 7. — С. 38-41.
- [72] Термонапряженное состояние стеклооболочки кинескопа при нагреве электромагнитным излучением / А. Р. Гачкевич, В. О. Драбык, Б. С. Малкиель, Р. Ф. Терлецький // Мат. методи и физ.-мех. поля. — 1991. — Т. 33. — С. 31-35.
- [73] Гачкевич О. Р., Гуменчук О. Б. Термопружний стан скляної порожнистої кулі, що знаходиться під дією зовнішнього електромагнітного випромінювання // Вісн. держ. ун-ту «Львівська політехніка». Сер. Прикл. математика. — 1998. — № 341. — С. 82-92.
- [74] Температурные поля и напряжения в системе плоскопараллельных слоев при нагреве электромагнитным излучением / Б. С. Малкиель, А. Р. Гачкевич, Ю. Р. Сосновий, Р. Ф. Терлецький // Мат. методи и физ.-мех. поля. — 1988. — Т. 28. — С. 21-26.
- [75] Fowler J. D. Radiation-induced RF loss measurements and thermal stresses calculation for ceramic windows // J. Nuclear Matter. — 1984. — Vol. 123. — P. 1359.

- [76] *Rubtsov N. A., Timmerman E. B.* Thermoelastic processes in semitransparent material under the condition of interaction between thermal and strain fields // *Numer. Heat Transfer.* — 1992. — Vol. 21. — P. 249-260.
- [77] *Жук Я. О., Сенченков І. К., Бойчук О. В.* Залишковий напружено-деформований стан сталевого диска при імпульсному тепловому опроміненні // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* — 2008. — Т. 51, № 1. — С. 157-168.
- [78] *Гачкевич О. Р., Гуменчук О. Б., Пеер-Касперська А.* Термонапружений стан частково прозорого шару при зовнішньому тепловому опроміненні за наявності відбивача // *Машинознавство.* — 2006. — № 7 (109). — С. 3-7.
- [79] *Гуменчук О. Б.* Термонапружений стан частково прозорих тіл з порожнинами за теплового опромінення: дис. ... канд. фіз.-мат. наук. — Львів, 2008. — 148 с.
- [80] *Гачкевич О. Р., Курницький Т. Л., Терлецький Р. Ф.* Механотермодифузійні процеси в напівпрозорому твердому шарі при дії теплового інфрачервоного випромінювання // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* — 1998. — Т. 41, № 3. — С. 121-131.
- [81] *Gachkevich A., Kournyts'kyi T., Terletskii R.* Photostimulated molecular gas admixture diffusion in semitransparent amorphous solid // *Int. Comm. Heat Mass Transfer.* — 2001. — Vol. 28, № 3. — P. 399-410.
- [82] *Gachkevich A., Kournyts'kyi T., Terletskii R.* Investigation of molecular gas admixture diffusion, heat transfer and stress state in amorphous solid subjected to thermal infrared radiation // *Int. J. Eng. Sci.* — 2002. — Vol. 40, No 8. — P. 829-857.
- [83] *Гачкевич А. Р., Курницький Т. Л., Терлецький Р. Ф.* Напряженное состояние в стеклянных телах при их дегазации с использованием нагрева инфракрасным излучением // *Прикл. механика и техн. физика.* — 2002. — Т. 43, № 2. — С. 155-165.
- [84] *Гачкевич О. Р., Терлецький Р. Ф.* Математичне моделювання механотермодифузійних процесів у частково-прозорих деформівних твердих тілах з газовими домішками за умов дії електромагнітного випромінювання світлового діапазону частот // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* — 2003. — Т. 46, № 1. — С. 151-164.
- [85] *Александров В. М., Коваленко Е. В.* Задачи механики сплошных сред со смешанными граничными условиями. — Москва: Наука, 1986. — 336 с.
- [86] *Александров В. М., Пожарский Д. А.* Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел. — Москва: Факториал, 1998. — 228 с.
- [87] *Ворович И. И., Александров В. М., Бабешко В. А.* Неклассические смешанные задачи теории упругости. — Москва: Наука, 1974. — 456 с.
- [88] *Галин Л. А.* Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. — Москва: Наука, 1980. — 303 с.
- [89] *Григолюк Э. И., Толкачев В. М.* Контактные задачи теории пластин и оболочек. — Москва: Машиностроение, 1980. — 412 с.
- [90] *Грiлiцький Д. В.* Термопружні контактні задачі в трибiологiї. — Київ: ІЗМН, 1996. — 204 с.
- [91] *Гузь О. М., Бабич С. Ю., Рудницький В. Б.* Контактна взаємодія пружних тіл з початковими напруженнями. — Київ: Вища школа, 1995. — 304 с.
- [92] *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия. — Москва: Мир, 1989. — 510 с.
- [93] *Мартиняк Р. М.* Механотермодифузійна взаємодія тіл з контактнo-поверхневими неоднорiдностями і дефектами: дис... докт. фіз.-мат. наук. — Львів, 2000. — 372 с.
- [94] *Моссаковский В. И., Гудрамович В. С., Макеев Е. М.* Контактные задачи теории оболочек и стержней. — Москва: Машиностроение, 1978. — 248 с.
- [95] *Панасюк В. В.* Деякі контактні задачі теорії пружності. — Київ: Наук. думка. — 1975. — 196 с.
- [96] *Рвачев В. Л.* Контактные задачи теории упругости для неклассических областей. — Киев: Наук. думка. — 1977. — 235 с.
- [97] *Швец Р. Н., Мартиняк Р. М.* Термоупругое контактное взаимодействие тел при наличии поверхностных теплофизических неоднородностей // *Мат. методы и физ.-мех. поля.* — 1988. — Т. 27. — С. 23-28.
- [98] *Barber J. R., Hector L. G.* Thermoelastic contact problems for the layer // *Trans. ASME, J. Appl. Mechanics.* — 1999. — Vol. 66. — P. 806-809.

- [99] *Александров В. М., Мхитарян С. М.* Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. — Москва: Наука, 1983. — 487 с.
- [100] *Болотин В. В., Новичков Ю. Н.* Механика многослойных конструкций. — Москва: Машиностроение, 1980. — 376 с.
- [101] *Коляно Ю. М., Кушнір Р. М., Муzychук Ю. А.* Температурные напряжения в слоистых средах при неидеальном термомеханическом контакте на поверхностях раздела // Прикл. механика. — 1986. — Т. 22, № 11. — С. 28-36.
- [102] *Кушнір Р. М.* Використання методу узагальнених задач спряження в термопружності кусково-однорідних тіл при неідеальному контакті // Мат. методи та фіз.-мех. поля. — 1998. — Т. 41, № 1. — С. 108-116.
- [103] *Пелех Б. Л., Максимук А. В., Коровайчук И. М.* Контактные задачи для слоистых элементов конструкций и тел с покрытиями. — Киев: Наук. думка, 1988. — 280 с.
- [104] *Попов В. М.* Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. — Москва: Энергия, 1971. — 258 с.
- [105] *Попов В. М.* Теплообмен через соединения на клеях. — Москва: Энергия, 1974. — 304 с.
- [106] *Шльков Ю. П., Ганин Е. А., Царевский С. Н.* Контактное термическое сопротивление. — Москва: Энергия, 1977. — 328 с.
- [107] *Мотовиловец И. А., Комаров Г. Н., Червинко О. П.* Нестационарное напряженное состояние двухслойного цилиндра при контактном термосопротивлении // Прикл. механика. — 1983. — Т. 19, № 11. — С. 46-51.
- [108] *Kushnir R., Protsyuk B.* A Method of the Green's Functions for Quasistatic Thermoelasticity Problems in Layer Themosensitive Bodies under Complex Heat Exchange // Operator Theory: Advances and Applications. — 2009. — Vol. 191. — P. 143-154.
- [109] *Муzychук Ю. А.* Термоупругость составных тел при неидеальном термомеханическом контакте: дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Львов, 1987. — 175 с.
- [110] *Флейшман Ф. Н.* Деформативность кусочно-однородных тел с тонкими промежуточными прослойками: дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Львов, 1985. — 211 с.
- [111] *Подстригач Я. С.* Умови теплового контакту твердих тіл // Доповіді АН УРСР. — 1963. — № 7. — С. 872-874.
- [112] *Подстригач Я. С.* Температурное поле в системе твердых тел, сопряженных с помощью тонкого промежуточного слоя // Инж.-физ. журнал. — 1963. — Т. 6, № 10. — С. 129-136.
- [113] *Подстригач Я. С., Шевчук П. Р.* О влиянии поверхностных слоев на процесс диффузии и на обусловленное им напряженное состояние в твердых телах // Физ.-хим. механика материалов. — 1967. — Т. 3, № 5. — С. 575-583.
- [114] *Подстригач Я. С., Шевчук П. Р.* Влияние тонких покрытий и промежуточных слоев на диффузионные процессы и на напряженное состояние в твердых телах // Защитные покрытия на металлах. — 1971. — Вып. 5. — С. 180-183.
- [115] *Подстригач Я. С., Шевчук П. Р.* Температурные поля и напряжения в телах с тонкими покрытиями // Тепловые напряжения в элементах конструкций. — 1967. — Вып. 7. — С. 227-233.
- [116] *Подстригач Я. С., Шевчук П. Р.* О напряженно-деформированном состоянии нагреваемых упругих тел, содержащих включения в виде тонких оболочек // Прикл. механика. — 1967. — Т. 3, № 6. — С. 8-16.
- [117] *Шевчук В. А.* Обобщенные граничные условия теплообмена тела со средой через многослойное тонкое покрытие // Мат. методи та фіз.-мех. поля. — 1995. — Т. 38. — С. 116-120.
- [118] *Подстригач Я. С., Швець Р. Н.* Термоупругость тонких оболочек. — Киев: Наук. думка, 1978. — 343 с.
- [119] *Подстригач Я. С., Чернуха Ю. А.* Задача теплопроводности для опроминюваних оболонок // Доп. АН УРСР. Сер. А. — 1974. — № 3. — С. 263-267.
- [120] *Kushnir R., Protsiuk B.* A Method of the Green's Functions for Quasistatic Thermoelasticity Problems in Layered Themosensitive Bodies under Complex Heat Exchange // Operator Theory: Advances and Applications. — 2009. — Vol. 191. — P. 143-154.

- [121] *Гавриць А. П., Ивацук Д. В., Шевчук П. П.* Определение остаточных напряжений в системе слой – покрытие при двустороннем высокотемпературном напылении // *Мат. методы и физ.-мех. поля.* — 1989. — Т. 29. — С. 8-12.
- [122] *Чернуха Ю. А.* Задача теплопроводности для облучаемых многослойных оболочек // *Мат. методы та фіз.-мех. поля.* — 1975. — Т. 1. — С. 104-109.
- [123] *Ho C. H., Ozisik M. N.* Combined conduction and radiation in a two-layer planar medium with flux boundary condition // *Num. Heat Transfer.* — 1987. — Vol. 11. — P. 321-340.
- [124] *Ho C. H., Ozisik M. N.* Simultaneous conduction and radiation in a two-layer planar medium // *J. Thermophys. Heat Transfer.* — 1987. — Vol. 1, No 2. — P. 154-161.
- [125] *Siegel R.* Two flux Green's function analysis for transient spectral radiation in a composite // *J. Thermophys. Heat Transfer.* — 1996. — Vol. 10. — P. 681-688.
- [126] *Tan H. P., Wang P. Y., Xia X. L.* Transient coupled radiation and conduction in an absorbing and scattering composite layer // *J. Thermophys. Heat Transfer.* — 2000. — Vol. 14, No 1. — P. 77-87.
- [127] *Timoshenko V. P., Trener M. G.* A method for evaluating heat transfer in multilayer semitransparent materials // *Heat Transfer-Soviet Research.* — 1986. — Vol. 18. — P. 321-340.
- [128] *Tsai C.-F., Nixon G.* Transient temperature distribution of a multilayer composite wall with effects of internal thermal radiation and conduction // *Num. Heat Transfer.* — 1986. — Vol. 10. — P. 95-101.
- [129] *Wang P.-Y., Cheng H.-E., Tan H.-P.* Transient thermal analysis of semitransparent composite layer with an opaque boundary // *Int. J. Heat Mass Transfer.* — 2003. — Vol. 46. — P. 731-747.
- [130] *Терлецький Р., Турій О.* Термомеханічна поведінка шаруватої пластини зі складовими різної прозорості за умов дії зовнішнього теплового випромінювання // *Фіз.-хім. механіка матеріалів.* — 2007. — Т. 43, № 6. — С. 18-26.
- [131] *Терлецький Р., Турій О.* Моделирование термомеханического поведения слоистых тел с учетом эффектов излучения и поглощения тепловой энергии // *Теоретическая и прикладная механика.* — 2009. — № 45. — С. 19-31.
- [132] *Брухаль М. Б., Терлецький Р. Ф., Турій О. П.* Задачи термомеханики для облучаемых тел // *Теоретическая и прикладная механика.* — 2012. — Вып. 4 (50). — С. 30-37.
- [133] *Терлецький Р., Турій О.* Моделювання і дослідження теплопереносу у пластинах з тонкими покриттями за врахування впливу випромінювання // *Мат. методи та фіз.-мех. поля.* — 2012. — Т. 55, № 2. — С. 186-201.
- [134] Особенности моделирования распространения теплового излучения и тепла в окрестности идеальной границы контакта двух сред с различными радиационными свойствами / *М. Гаек, Б. Сердега, Ю. Сосновий* и др. // *Manufacturing processes. Actual problems.* — 2013. — Vol. 2. *Modelling and optimization of manufacturing processes* / Ed. by: *M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler* / *Studia i monografie*, z. 365. — Glava 16. — Opole: OWPO, 2013. — С. 211-220.
- [135] Моделирование термомеханического поведения слоистых пластин при технологическом тепловом облучении / *А. Гачкевич, Р. Кушнир, Ю. Немировский* // *Manufacturing processes. Actual problems* — 2013. — Vol. 2. *Modelling and optimization of manufacturing processes* / Ed. by: *M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler* / *Studia i monografie*, z. 365. — Glava 17. — Opole: OWPO, 2013. — С. 221-234.

Thermomechanical models for layered solids subjected to thermal radiation

Aleksandr Gachkevich, Rostislav Terletskii, Oksana Turii

Carried out review of researches in radiation thermomechanics, in particular, the mathematical models that describe the thermomechanical behavior of opaque and semitransparent homogeneous bodies subjected to thermal radiation and layered bodies are analyzed. It is noted that today thermoelasticity models of layered solids (including bodies with coatings) do not consider some important features of the interaction of bodies with external thermal radiation and contact

Олександр Гачкевич, Ростислав Терлецький, Оксана Турій
Моделі радіаційної термомеханіки опромінюваних шаруватих тіл

interaction related to the consideration of real radiation properties of the components. However thermomechanics models are not developed for case of layered media. The peculiarities objectives of thermomechanics of layered solids (including bodies with coatings) with taking into account the differences of radiation properties of substances (i.e. varying their transparency for thermal radiation).

Моделі радиационной термомеханики облучаемых слоистых тел

Александр Гачкевич, Ростислав Терлецкий, Оксана Турий

Проведен обзор исследований в области радиационной термомеханики, в частности, проанализированы математические модели, которые описывают термомеханическое поведение непрозрачных и частично прозрачных однородных тел, находящихся под действием теплового излучения, и слоистых тел. Указано, что на сегодняшний день модели термоупругости слоистых тел, в частности тел с покрытиями, не рассматривают ряд важных особенностей взаимодействия таких тел с внешним тепловым излучением и контактного взаимодействия, связанных с рассмотрением реальных радиационных свойств составляющих. В то же время модели радиационной термомеханики не развиты на случай слоистых сред. Освещены особенности постановки задач термомеханики для слоистых тел (в частности, тел с покрытиями), учитывающих различия радиационных свойств составляющих (их различной прозрачности для теплового излучения).

Отримано 18.11.14