

**Буряк А.В.,\***  
**Буряк В.Г.\*\***

\*Хмельницький національний університет,  
 \*\*Хмельницький обласний інститут  
 післядипломної педагогічної освіти  
 м. Хмельницький, Україна  
 E-mail: viktorburyak1955@gmail.com

**ЗВ'ЯЗОК ФІЗИКО - МЕХАНІЧНИХ,  
 ТЕПЛОФІЗИЧНИХ І АКУСТИЧНИХ  
 ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБРОБНИХ І  
 ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ  
 У МЕХАНООБРОБЦІ**

УДК 621.9

Розглядається зв'язок фізико-механічних, теплофізичних і акустичних властивостей обробних і інструментальних матеріалів, що визначають працездатність ріжучих інструментів. Увага приділяється зносостійкості інструментів, що надає можливість для збільшення продуктивності обробки і є важливою умовою автоматизованого виробництва.

**Ключові слова:** оброблення різанням, фізико-механічні, теплофізичні і акустичні властивості матеріалів, причинно-наслідковий зв'язок, знос.

### Вступ

В аналізі характеристик енергетичного стану обробних і інструментальних матеріалів передбачено розгляд необхідних властивостей обох марок матеріалів, що знаходяться у безпосередньому контакті в процесі оброблення різанням (механообробки). Вивченню працездатності інструментів, що оснащені ріжучими пластинами з різних марок інструментальних матеріалів присвячено багато наукових досліджень, в основу яких покладено традиційні методи визначення оброблюваності: дослідження якості обробленої поверхні; раціональних режимів різання; надання рекомендації до значень геометричних параметрів ріжучої частини інструмента, а також приведено температурні і силові залежності.

При розгляді основних енергетичних характеристик, які визначають працездатність інструментів, в публікаціях [1, 2] показано найбільш важливі властивості матеріалів.

### Мета і постановка задачі

З метою застосування основного диференційного рівняння причинно-наслідкового зв'язку [1, 2] виконується подальше обґрунтування показників енергетичного стану матеріалів, що утворені в процесі різання. Властивості обробного і інструментального матеріалів визначають характер коливаний мікроструктури робочої частини інструмента, який залежить від здатності останнього вільно перепускати хвилі повністю, затримувати у приконтактному шарі, або відбивати потоки хвильових збуджень. Особлива увага приділяється зносостійкості інструментів, що надає можливість для збільшення продуктивності обробки і є важливою умовою автоматизованого виробництва.

В даній статті розглядаються фізико-механічні, теплофізичні і акустичні властивості конкретних марок обробних матеріалів, при різанні яких за тими чи іншими причинами (наприклад, при досягненні якості обробленої поверхні, продуктивності в умовах автоматизованого виробництва, надійності процесу різання та ін.) виникають труднощі та потреба у більш досконалому методі вибору інструментального матеріалу, застосуванні способів спеціальної підготовки технічних параметрів процесу механообробки. Разом з цим, марки обробних матеріалів підбрано таким чином, що їх різання можливо практично всіма відомими марками інструментальних матеріалів. Це дозволяє встановити явні відмінні особливості основних характеристик енергетичного стану матеріалів. У відповідності до однієї з головних задач роботи – забезпечення надійності процесу механообробки, такий підхід у вирішенні проблеми дає можливість цілеспрямованої зміни визначених характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу.

### Виклад матеріалів досліджень

З урахуванням приведених вище доводів, а також виходячи з практики приладобудівного виробництва, для проведення більш детального аналізу прийнято алюмінієві сплави, а також сталі 12Х18Н9Т, У12А та 50Л. Тривала тонка, високоточна розмірна обробка даних матеріалів в умовах автоматизованого виробництва є складним процесом. Тим більше трудність обробки проявляється тоді, коли поряд з вимогами високої точності, до обробленої поверхні пред'явлено вимоги високого класу шорсткості (поверхні типу дзеркал), а також коли розглядають доцільність заміни процесу шліфування лезовою обробкою тощо. Досягнення такої мети можливо в умовах підвищення швидкостей різання, при виборі інструментального матеріалу з високим коефіцієнтом теплопровідності, низьким коефіцієнтом адгезійної взаємодії та ін. Проте, збільшення теплопровідності призводить до зниження міцності інструменту, що зменшує у цілому ефективність процесу механообробки.

Ефективну надійну обробку буде забезпечено в умовах високої стабільності необхідних властивостей обробного і інструментального матеріалів, а також при меншій інтенсивності зміни енергетичних характеристик матеріалів у межах граничної температури різання. Так, наприклад, і це ще одна особливість, що доводить трудність високопродуктивної точної обробки начисто алюмінієвих сплавів, значення модуля пружності при збільшенні температури (близької до температури різання) інтенсивно зменшуються (рис. 1) [3]. Це пред'являє особливі вимоги у виборі інструментального матеріалу в умовах автоматизованого виробництва, у першу чергу, до його тривалої зносостійкості і надійності.

Багаточисленними дослідженнями встановлено, що основними механічними і теплофізичними властивостями обробних і інструментальних матеріалів, за якими визначають працездатність інструментів, є твердість, густина та граничні руйнівні навантаження ( $S_B$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_u$  та ін.), коефіцієнти тепло - і температуропровідності, питома теплоємність тощо. Група механічних характеристик має функціональну залежність з фізичними властивостями матеріалів [4], які визначають потенційну енергію твердого тіла: модулем потужності  $E$  і зсуву  $G$ , коефіцієнтом Пуассона  $\mu$ . За зміною температури, яку зумовлено процесом різання, дані властивості змінюють свої значення з різною інтенсивністю, що в екстремальних умовах процесу механообробки впливає на надійність у роботі інструмента. Залежність основних фізичних властивостей від температури встановлено за використанням довідникових даних [5] та

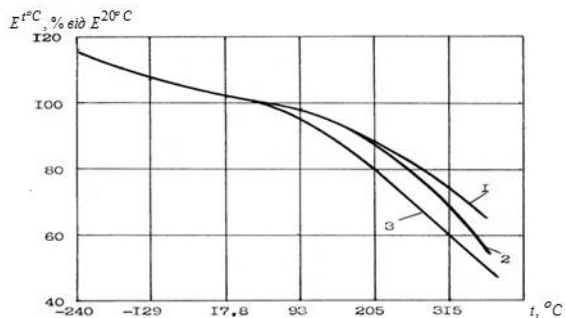


Рис. 1 – Вплив температури на значення модуля Юнга алюмінієвих сплавів:  
1 – Al – Cu; 2 – Al – Mg – Si;  
3 – Al – Mn, Al – Mg, Al – Zn – Mg, Al – Zn – Cu – Mg

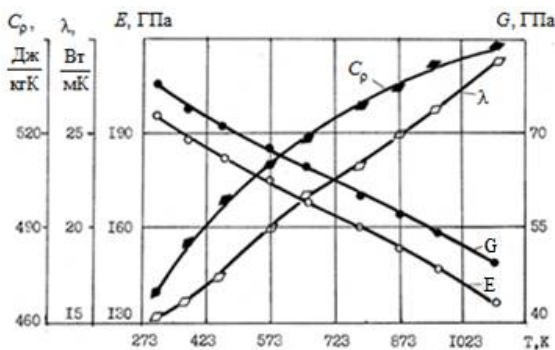


Рис. 2 – Залежність значень основних фізичних властивостей сталі 12X18H9T від температури

приведених сталей.

У розгляді сукупності фізико - механічних, теплофізичних і акустичних властивостей, спільною характеристикою є густина матеріалів  $\rho$ . Зміна густини матеріалів за зміною температури показана на рис. 4. Із збільшенням температури густина матеріалів безперервно зменшується. Проте величина зміни  $\rho$  при аналізі багаточисленних марок матеріалів незначна і складає всього 3,5, ..., 4,5 %. Приведені закономірності можна пов'язати з протилежним характером зміни коефіцієнта лінійного розширення  $\alpha$  за зміною температури (рис. 5) досліджуваних матеріалів. Коефіцієнт  $\alpha$  безперервно збільшується за збільшенням температури. Зміну даного коефіцієнта враховують у випадку проведення аналізу потенційної енергії матеріалу з урахуванням температури  $T$ , наприклад, при визначенні температурної деформації матеріалу  $\epsilon_T$  за формулою:

показано на рис. 2 і рис. 3. У межах зміни температури від 293К до 1073К фізичні властивості сталей 12X18H9T і 50Л змінюються безперервно. Інтенсивність зміни значень різна, як у фізико - механічних властивостей: модулів Юнга  $E$ , і зсуву  $G$ , так і у теплофізичних властивостей: коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  і питомої теплоємності  $C_p$ . Характерним є те, що для різних марок сталей і сплавів значення  $E$  і  $G$  із збільшенням температури безперервно зменшуються, а  $C_p$  – збільшуються. Для різних марок сталей і сплавів теплопровідність  $\lambda$  змінюється неоднозначно: так для сталі 12X18H9T (рис. 2) –  $\lambda$  збільшується, а для сталі 50Г (рис. 3) –  $\lambda$  зменшується за збільшенням температури. Що, звичайно, позначається на оброблюваності різанням

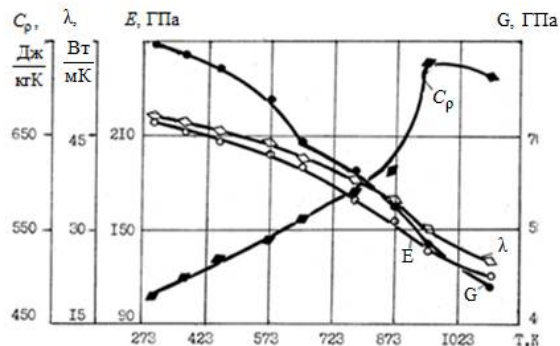


Рис. 3 – Залежність основних фізичних властивостей сталі 50Л від температури

$$\varepsilon_T = \alpha \cdot T \quad (1)$$

Як було вже показано в публікації [6], основними параметрами, що визначають акустичні властивості обробних і інструментальних матеріалів, є швидкість розповсюдження хвилі і густина. Також, було показано, що існує наступна властивість (для твердих тіл): при збудженні коливань і розповсюдженні утворених хвиль, на границі контакту різнорідних тіл проходить трансформація хвилі з подальшим її розповсюдженням у повздовжньому і поперечному напрямках із швидкостями відповідно – повздовжньою  $C_\ell$  і поперечною  $C_t$ . Точний опис коливних і хвильових процесів являє собою досить громіздку задачу, поскільки утворені хвилі перебувають у стохастичній залежності від явищ відбиття, проникнення, розсіювання, поглинання тощо, що властиво як обробним, так і інструментальним матеріалам. Тому, у подальшому аналізі будемо вести мову тільки про характер відносної зміни акустичних властивостей для різних обробних і інструментальних матеріалів.

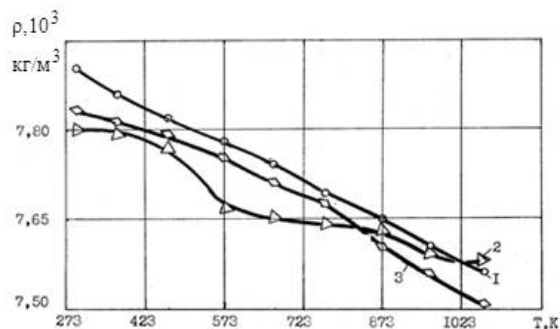


Рис. 4 – Залежність густини матеріалів від температури: 1 – 12X18H9T; 2 – 50Л; 3 – У12А

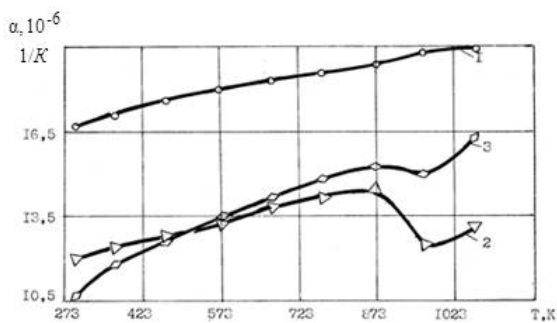


Рис. 5 – Залежність коефіцієнта лінійного розширення матеріалів від температури: 1 – 12X18H9T; 2 – 50Л; 3 – У12А

сталі 12X18H9T  $C_\ell$  - на 24%,  $C_t$  - на 15% (рис. 6); у сталі 50Л  $C_\ell$  - на 32%;  $C_t$  - на 22% (рис. 7). Тобто, у загальній оцінці працездатності інструментів має місце факт перерозподілу значень повздовжніх і поперечних швидкостей акустичних хвиль, що, на нашу думку, суттєво змінює характеристики енергетичного стану контактної взаємодії обробного і інструментального матеріалів і, відповідно, характер внутрішнього тертя в мікроструктурі робочої частини інструмента.

Отримані вище результати досліджень дозволяють робити висновки про аналогічний характер зміни акустичних властивостей різних матеріалів: обробних, а також інструментальних. Проте, для більшості матеріалів у літературних джерелах не приведено результатів досліджень зміни їх властивостей (фізико - механічних, теплофізичних, акустичних) за зміною температури. Звичайно, це обмежує проведення більш повного аналізу зв'язку всіх властивостей. Тому, у подальшому виконанні аналізу енергетичного стану обробних і інструментальних матеріалів, виникає необхідність в утворенні нових методів для визначення основних параметрів акустичних властивостей та контролю якості

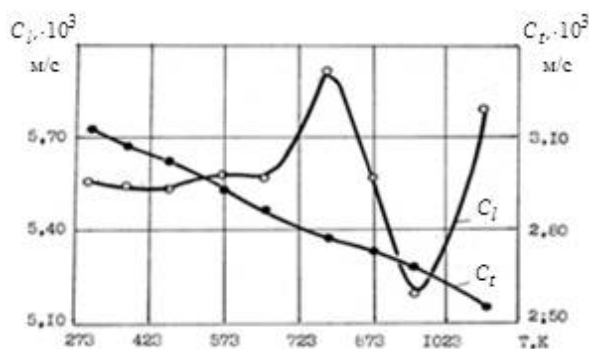


Рис. 6 – Характеристичні залежності швидкостей розповсюдження хвилі в сталі 12X18H9T за зміною температури

досліджуваних матеріалів. Це, у першу чергу, стосується нових інструментальних матеріалів на стадії їх обробки та вдосконалення структурного складу.

Зміна швидкості розповсюдження хвиль у контакті обробного і інструментального матеріалів

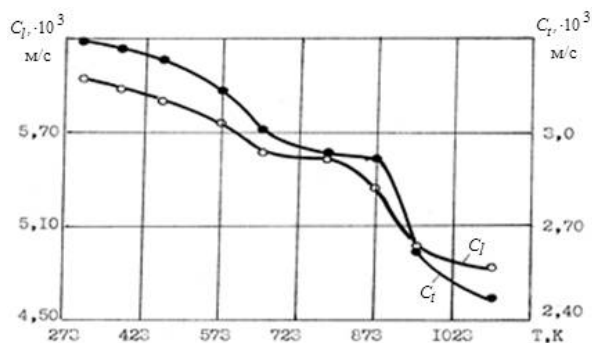


Рис. 7 – Характеристичні залежності швидкостей розповсюдження хвилі в сталі 50Л за зміною температури

інструментальних матеріалів складають (м/с): швидко ріжучої сталі Р6М5 –  $C_l' = 5597$ ,  $C_t' = 3353$ ; твердих сплавів Т15К6 –  $C_l' = 7156$ ,  $C_t' = 4384$  і ВК60М –  $C_l' = 6870$ ,  $C_t' = 4251$ ; мінералокерамічного інструментального матеріалу ВОК60 –  $C_l' = 10050$ ,  $C_t' = 6269$ ; надтвердих матеріалів КО5 –  $C_l' = 12649$ ,  $C_t' = 7806$  і алмет –  $C_l' = 14183$ ,  $C_t' = 10282$ . Приведені дані швидкостей хвилі складають загальну тенденцію зростання їх величин по мірі підвищення ріжучих властивостей інструментальних матеріалів для чистових операцій процесу механообробки. Також, аналіз значень швидкостей розповсюдження хвилі в обробних матеріалах ( $C_l$  і  $C_t$ ) і інструментальних матеріалах ( $C_l'$  і  $C_t'$ ) показує, що їх співвідношення задовольняє наступним нерівностям:

$$C_l' > C_l. \quad (2)$$

$$C_t' > C_t. \quad (3)$$

Хвильовий опір  $\rho \cdot C$ , як було встановлено [6], визначає здатність матеріалів до взаємодії: зі сторони обробного матеріалу – зумовлює дію, енергетичну активність коливних і хвильових процесів; зі сторони інструментального матеріалу – здатність чинити опір утвореним хвильовим процесам. За густиною інструментальних матеріалів  $\rho'$  (кг/м<sup>3</sup>,  $\times 10^3$ ): Р6М5 – 8,2; Т15К6 – 11,5; ВК60М – 15,0; ВОК60 – 4,3; КО5 – 4,3; алмет – 3,5, встановлено, що для раціонального проведення процесу механообробки, існують наступні умови щодо співвідношення хвильових опорів обробного і інструментального матеріалів, відповідно для повздовжніх ( $\rho \cdot C_l$  і  $\rho' \cdot C_l'$ ) і поперечних ( $\rho \cdot C_t$  і  $\rho' \cdot C_t'$ ) хвиль:

$$\rho' \cdot C_l' > \rho \cdot C_l, \quad (4)$$

$$\rho' \cdot C_t' > \rho \cdot C_t. \quad (5)$$

## Висновки

Приведені результати досліджень виражають загальні закономірності взаємозв'язку та зміни властивостей обробних і інструментальних матеріалів, які контактують у конкретному випадку процесу механообробки. Визначена одна з особливостей, що доводить трудність високопродуктивної точної обробки начисто алюмінієвих сплавів при якій значення модуля пружності при збільшенні температури (близької до температури різання) інтенсивно зменшуються. У межах зміни температури від 293К до 1073К фізичні властивості сталей 12Х18Н9Т і 50Л змінюються безперервно. Інтенсивність зміни значень

різна, як у фізико - механічних властивостей: модулів Юнга  $E$ , і зсуву  $G$ , так і у теплофізичних властивостей: коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  і питомої теплоємності  $C_p$ . Для різних марок сталей і сплавів теплопровідність  $\lambda$  змінюється неоднозначно: так для сталі 12X18H9T –  $\lambda$  збільшується, а для сталі 50Г –  $\lambda$  зменшується за збільшенням температури. Із збільшенням температури густина матеріалів безперервно зменшується. Проте величина зміни  $\rho$  при аналізі багаточисленних марок матеріалів незначна і складає всього 3,5, ..., 4,5 %.

Отримані результати досліджень характеру зміни швидкостей хвилі  $C_\ell$  і  $C_t$  за зміною температури у межах (293, ..., 1073) °К показали, що, за збільшенням температури, швидкості хвилі безперервно зменшуються, проте величина і інтенсивність зміни швидкостей різна: у сталі 12X18H9T  $C_\ell$  – на 24 %,  $C_t$  – на 15 %; у сталі 50Л  $C_\ell$  – на 32 %;  $C_t$  – на 22 %. Тобто, у загальній оцінці працездатності інструментів має місце факт перерозподілу значень повздовжніх і поперечних швидкостей акустичних хвиль, що, на нашу думку, суттєво змінює характеристики енергетичного стану контактної взаємодії обробного і інструментального матеріалів і, відповідно, характер внутрішнього тертя в мікроструктурі робочої частини інструмента. Отримані вище результати досліджень дозволяють робити висновки про аналогічний характер зміни акустичних властивостей різних матеріалів: обробних, а також інструментальних.

Аналіз значень швидкостей розповсюдження хвилі в обробних матеріалах ( $C_\ell$  і  $C_t$ ) і інструментальних матеріалів ( $C'_\ell$  і  $C'_t$ ) показує, що їх співвідношення задовольняє нерівностям ( $C'_\ell > C_\ell$  і  $C'_t > C_t$ ). Встановлено, що для раціонального проведення процесу механообробки, існують наступні умови щодо співвідношення хвильових опорів обробного і інструментального матеріалів, відповідно для повздовжніх ( $\rho \cdot C_\ell$  і  $\rho' \cdot C'_\ell$ ) і поперечних ( $\rho \cdot C_t$  і  $\rho' \cdot C'_t$ ) хвиль:  $\rho' \cdot C'_\ell > \rho \cdot C_\ell$ ;  $\rho' \cdot C'_t > \rho \cdot C_t$ .

Врахування досліджуваних закономірностей в теорії коливань і хвиль дозволяє у подальшому вирішенні поставлених задач проводити обґрунтування технічних і технологічних параметрів у механообробці.

## Література

1. Бурак А.В., Бурак В.Г. Наукові основи до оцінки працездатності ріжучих інструментів за аналізом акустичних характеристик стану обробного і інструментального матеріалів // Проблеми трибології. – 2014. – № 4. – С. 23-30.
2. Бурак А.В., Бурак В.Г. Технічна оцінка методики виконання аналізу акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу // Проблеми трибології. – 2015. – № 3. – С. 71 - 77.
3. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы / Альтман М.Б., Амбарцумян С.М., Аристова Н.А. и др. -М.: Металлургия, 1972. – 552 с.
4. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 464 с., ил.
5. [Електронний ресурс]. Справочник (марочник) сталей и сплавов – Режим доступу: [http://s-metall.com.ua/spravochnik\\_stalej.html](http://s-metall.com.ua/spravochnik_stalej.html)
6. Бурак В.Г. Оцінка працездатності композиційних інструментів за аналізом акустичних характеристик енергетичного стану інструментального матеріалу // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №1. – С. 49-56.
7. Бурак В.Г. Теоретичний аналіз контролюючих і вимірювальних характеристик енергетичного стану обробних і інструментальних матеріалів у механообробці // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1997. – №1. – С. 36-42.
8. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Яворский Б.М., Детлаф А.А. – М.: Наука, 1964. – 847 с.

Поступила в редакцію 09.06.2016

**Buryak A.V., Buryak V.G. Communication physical, mechanical, thermal and acoustic properties of processing and cutting materials in machining.**

The connection of the physical and mechanical, thermal and acoustic properties of machining and tool materials, which determine the performance of cutting tools. The attention given to the wear resistance of tools, which enables to increase the processing performance and is an important condition for automated manufacturing.

**Keywords:** machining, physical, mechanical, thermal and acoustic properties of the material causal link wear.

**References**

1. Buryak A.V., Buryak V.G. Naukovi osnovi do ocinki pracezdatnosti rzhuchih instrumentiv za analizom akustichnih karakteristik stanu obrobnogo i instrumental'nogo materialivu. Problemi tribologii. 2014. № 4. S. 23 – 30.
2. Buryak A.V., Buryak V.G. Tekhnichna ocinka metodiki vikonannya analizu akustichnih karakteristik energetichnogo stanu instrumental'nogo materialu. Problemi tribologii. 2015. № 3. S. 71 – 77.
3. Promyshlennye deformiruemye, spechennye i litejnye alyuminievye splavy. Al'tman M.B., Ambarcumyan S.M., Aristova N.A. i dr. –M.: Metallurgiya, 1972. 552 s.
4. Gzhirov R.I. Kratkij spravochnik konstruktora: Spravochnik. L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1983. 464 s., il.
5. [Elektronnij resurs]. Spravochnik (marochnik) stalej i splavov – Rezhim dostupu: [http://s-metall.com.ua/spravochnik\\_stalej.html](http://s-metall.com.ua/spravochnik_stalej.html)
6. Buryak V.G. Ocinka pracezdatnosti kompozicijnih instrumentiv za analizom akustichnih karakteristik energetichnogo stanu instrumental'nogo materialu. Vimiryuval'na ta obchislyuval'na tekhnika v tekhnologichnih procesah. 1998. №1. S. 49 – 56.
7. Buryak V.G. Teoretichnij analiz kontrolyuyuchih i vimiryuval'nih karakteristik energetichnogo stanu obrobnih i instrumental'nih materialiv u mekhanoobrobci. Vimiryuval'na ta obchislyuval'na tekhnika v tekhnologichnih procesah. 1997. №1. S. 36 – 42.
8. Spravochnik po fizike dlya injenerov i studentov vuzov. Yavorskii B.M., Detlaf A.A. M.: Nauka, 1964. – 847 s.