

УДК 621.002

# ОДИН З НАПРЯМКІВ РОЗРОБКИ БЕЗВІБРАЦІЙНИХ ОБРОБНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Ю.І. Сичов**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра металорізного обладнання і транспортних систем\*  
Контактний тел.: 733-79-39, 748-57-08

**Б.Г. Лях**

Доцент  
Кафедра опору матеріалів та теоретичної механіки\*  
Контактний тел.: 733-78-46, 64-30-15

**В.І. Неко**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра опору матеріалів та теоретичної механіки\*  
Контактний тел.: 733-79-39

**В.В. Самчук**

\*Українська інженерно-педагогічна академія  
вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003  
Контактний тел.: 096-82-744-25  
E-mail: samchuc1986@km.ru

*У статті розглядається один з напрямків зменшення впливу вібрацій, які виникають від дії збуджуючих джерел у механічних системах устаткування, що дає можливість проектувати безвібраційну механічну обробку, дозволяючи одержувати більш якісну продукцію та в підсумку знижує рівень шуму*

*Ключові слова: гармонія, механічна система, технологічний процес, коливання, вібрації, якість обробки, урівноважена система сил, шум*

*В статье рассматривается одно из направлений уменьшения влияния вибраций, которые возникают от действия возбуждающих источников в механических системах оборудования, что дает возможность проектировать безвибрационную механическую обработку, позволяющая получать более качественную продукцию и в итоге снижает уровень шума*

*Ключевые слова: гармония, механическая система, технологический процесс, колебания, вибрация, качество обработки, уравновешенная система сил, шум*

*The article deals with one aspect of reducing the influence of vibrations, which arise from the action of the exciting sources in mechanical systems equipment. What makes it possible to design without vibration mechanical processing, allowing to obtain better quality products and will ultimately reduce the noise level*

*Keywords: harmony, mechanical system, technological process, fluctuation, vibration, processing quality, balanced system of forces, noise*

## 1. Вступ

Людство пройшло і проходить тривалий та важкий шлях від незнання до знання, безупинно замінюючи на цьому шляху неповні і недосконалі знання усе більш повними і досконалими.

Довгий час продовжували вважати, що механічна обробка матеріалу на верстатах, як і вони самі досягла досконалості у всій своїй ідеальній і піднесеній формі, але подібно мистецтву продовжувало удосконалюватися.

Можна висловити, що трудова діяльність людини із самого початку складалася так, що усім, чим би вона не займалася, змушувало її спостерігати за навколишнім світом і робити з цього висновки. Їй доводилось удосконалювати знаряддя полювання і виробництва, облаштовувати своє життя і навколишнє середовище, тобто займатися в міру своїх можливостей усім тим, що пізніше стало формуватися у науку і техніку, що

ускладнюється з кожним днем, і зрозуміти основи явищ стає усе вище і важче. Саме тому науковий метод перетворив світ, у якому ми живемо, і саме на основі успіхів цього методу наука дала людині владу над природою.

Тобто суть багатьох явищ природи можна записати у вигляді рівнянь, що встановлюють зв'язки між числами. Наукові методи, що прийшли на зміну чистому умовляду, дозволили «перевіряти алгеброю гармонію», що виступає в ролі стрункої погодженості частин одного цілого.

На прикладі, гармонію рухів можна розглянути з виробничого процесу гвинта, коли різальний інструмент робить складний гвинтовий рух навколо осі  $E$  з кутовою швидкістю  $\bar{\omega}$  і поступальне зі швидкістю  $\bar{V}$  (рис. 1), спрямовано паралельно цієї осі. Коли вектори  $\bar{V}$  і  $\bar{\omega}$  спрямовані в одну сторону, то при прийняттю нами напрямку  $\bar{\omega}$  гвинт буде правий, якщо в різні – лівий.

Пройдена відстань будь-якою точкою тіла, яка належить осі гвинта за час одного обороту називається кроком гвинта  $h$ .

Якщо величини  $\omega$  і  $V = \text{const}$  то крок гвинта буде постійним. Позначивши час одного обороту через  $T$ , одержимо в цьому випадку  $V \cdot T = h$  і  $\omega \cdot T = 2\pi$ , тоді  $h = 2\pi \frac{V}{\omega}$ . Так буде, якщо  $\omega$  і  $V = \text{const}$ , але якщо з якоїсь причини вони не постійні, створити гвинт неможливо (отримаємо брак) – крок буде не постійним.

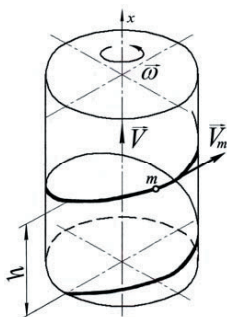


Рис. 1. Гвинт з правим різьбленням

## 2. Постановка проблеми

Усі «перші» металообробні устаткування були сконструйовані механіками-практиками, що так чи інакше, було удосконалено послідовниками за допомогою знання багатьох фундаментальних і прикладних наук, таких як математика, фізика, хімія, теоретична механіка, теорія машин і механізмів, опір матеріалів, деталі машин і багатьох інших, що відбувається і на сьогоднішній день.

З цієї причини нині кожен спосіб обробки матеріалу зводиться до обмеженого числа методів, які призначаються по заданій ознаці чи критерію (свердління, точіння, фрезерування, стругання, шліфування і т.п.). У якійсь точці цей добір зводиться з рекомендаціями різних довідників і ДСТом, що є результатом довгого і кропіткого дослідження проведеними експертами, аналізу рекомендаційних показників, математичних і статистичних даних.

Так чи інакше, сучасні обробні комплекси розроблені лише з метою одержання якості обробки і високої продуктивності і т.п., при цьому, маючи великий ряд негативних факторів не враховані при розробці.

Так, наприклад, нині на виробництві великими темпами зростає інтенсивність дії шуму на людину. Це пов'язано головним чином не тільки від застосування нового високопродуктивного обладнання з механізацією й автоматизацією трудових процесів, але і від фізично і морально застарілого устаткування, що всупереч усьому продовжують експлуатувати на вітчизняних підприємствах.

## 3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

У дійсний час на дослідження різних типів коливань і в опублікованих роботах на наш погляд досить

багато уваги приділяється питанню усунення вібрацій при механічній обробці матеріалів. Частіше задача полягає в з'ясуванні причин виникнення коливань і в їхньому запобіганні, якщо це можливо. Особлива увага приділяється технологічним методам усунення вібрацій, шляхом вибору раціональних режимів різання, оптимальної конструкції і заточці інструмента, а також шляхом застосування різних віброгасаючих пристроїв і схем обробки.

При цьому зовсім недостатньо звертають увагу вібраціям, які виникають від самих працюючих механічних систем, що також істотно впливає на якість обробки і довговічності устаткування.

## 4. Постановка задачі

Нинішні жорсткі вимогами до механічного обладнання, спонукають до отримання більш високої якості обробки їх частин, що характеризує якість поверхні (шорсткість, залишкові напруги), точність розміру та форми, що насамперед, залежать від: установки заготовки в пристосуванні з урахуванням коливання розмірів баз, контактних деформацій установочних баз заготовки і пристосування, точності виготовлення і зносу пристосування; коливань пружних деформацій технологічної системи під впливом нестабільних навантажень, діючих у системі перемінної жорсткості; налагодження технологічної системи на витримуючий розмір; зносу ріжучого інструмента; зносу верстата; коливань пружних об'ємних і контактних деформацій елементів технологічної системи внаслідок їхнього нагрівання при різанні, тертя підвісних елементів системи, зміна температури в цехах.

Уся сукупність цих факторів у деякій мірі при обробці складають деяку гармонію, при якій досягається висока якість обробки. А при порушення цієї гармонії, приведе, швидше за все, до браку, чим до відкриття нових знань.

З перерахованих джерел, що негативно діють не тільки на обробку, але і на механічну систему устаткування в цілому – це коливання (вібрація), що і приводять до виникнення шуму.

Автори ставлять перед собою задачу розробити новий напрямок конструювання обробних комплексів на основі зниження вібрації, що є головним джерелом практично всіх негативних факторів при експлуатації.

## 5. Основний матеріал

Усі процеси в природі так і в техніці проходять відповідно до різних гармонійних коливань. Коли працюють усі вузли механізмів, апаратів, пристроїв, вони роблять вільні гармонійні коливання, що описуються диференціальним рівнянням  $\ddot{x} + k^2x = 0$ , рішення, якого має вид

$$x = A \sin(kt + \alpha) . \tag{1}$$

Відповідно до цього рівняння працюють всі елементи пристроїв, поки вони не потребують ремонту або списання.

Однак при будь-якому впливі на матеріальну систему (МС), параметри описуючого це рівняння, у кожному конкретному випадку будуть різними, проходячи через перехідний період, коли на елементи машини починають діяти сили спрямовані на МС з боку інших МС для здійснення технологічного процесу.

При проведенні будь-якого процесу виникають збуджуючі сили, які діють на елементи працюючих пристроїв, що приводить до роботи елементів пристроїв згідно диференціального рівняння  $\ddot{x} + k^2x = h \sin(pt + \delta)$ , рішення якого має вид

$$x = A_1 \sin(kt + \alpha) + \frac{h}{k^2 - p^2} \sin(pt + \delta), \quad (2)$$

а при  $p = k$ , частота власних коливань збігається з частотою збуджуючих сили – це явище називається резонансом, диференціальне рівняння якого має вид  $\ddot{x} + k^2x = h \sin(ht + \delta)$ , а рішення його

$$x = A_1 \sin(kt + \alpha) + \frac{h}{2k} t \cos(kt + \delta). \quad (3)$$

Відомо, що резонансний стан приводить до руйнування. Тому щоб уникнути руйнування необхідно всі процеси проводити відповідно до рівняння вільні гармонійних коливань.

Цього можна досягти, якщо разом зі збуджуючим впливом додати дію сил опору. Тоді можна досягти, щоб процес проходив відповідно до диференціального рівняння:  $\ddot{x} + 2n\dot{x} + k^2x = h \sin(pt + \delta)$ .

Рішення такого рівняння як відомо дорівнює сумі рішення однорідного рівняння  $x_1$  і згідно рішення  $x_2$ .

Рішення  $x_1$  визначає власні коливання матеріальної точки і має вид:

$$\text{при } p < k \quad x_1 = A_1 e^{-nt} \sin(k_1 t + \alpha), \quad (4)$$

$$\text{де } k_1 = \sqrt{k^2 - n^2};$$

$$\text{при } p > k \quad x_1 = C_1 \lambda_1 t + C_2 \lambda_2 t, \quad (5)$$

де  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  – корені характеристичного рівняння;

$$\text{при } p = k \quad x_1 = e^{-nt} \times (C_1 + C_2 t). \quad (6)$$

Приватне рішення  $x_2$  визначає змушені коливання точки. Це приватне рішення може бути записане, як  $x_2 = A_2(\sin pt + \delta - \epsilon)$ .

Накладення коливань (при  $p < k$ ) дозволяє одержати гармонійну залежність  $x = A \sin(kt + \alpha)$ .

На прикладі розглядаючи дію сили різання на заготовку з боку різця як збуджуючий вплив для виникнення коливань, що можуть бути низькочастотними або високочастотними, виникають одночасно або незалежно один від одного.

І, як правило, низькочастотні коливання властиві заготовці, тоді як, високочастотні – інструменту (рис. 2), що є джерелом виникнення шуму, який являється головним супутнім фактором при отриманні неякісної обробки.

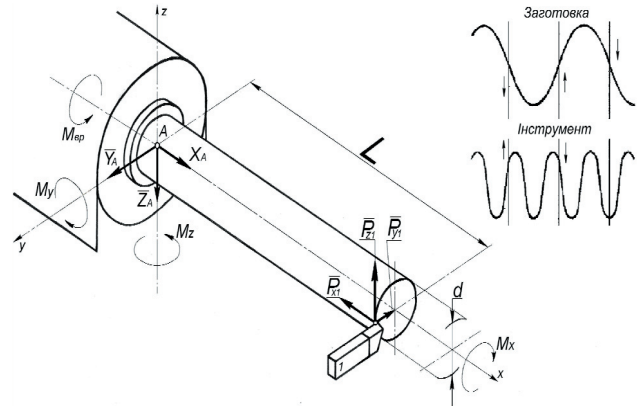


Рис. 2. Класична обробка заготовки одним різцем

Також сила різання, прямо діє на механічні елементи верстата, змушуючи інженера-конструктора при проектуванні верстата їх підсилювати, чим супроводжується збільшенням загальних габаритів. Це можна простежити, якщо склавши шість рівнянь рівноваги за умовою, що  $M_{вр} = M_x$ , де  $M_{вр}$  – крутний момент верстата,  $M_{вр} = 975 \frac{N_{mm}}{n}$ , (НМ);  $M_x$  – момент опору різанню,  $M_x = \frac{P_{z1} \cdot d}{2000}$ , (НМ).

$$\sum F_x = 0: X_A - P_{x1} = 0, X_A = P_{x1}; \sum F_y = 0:$$

$$Y_A - P_{y1} = 0, Y_A = P_{y1}; \sum F_z = 0: -Z_A + P_{z1} = 0,$$

$$Z_A = P_{z1}; \sum M_x = 0: -P_{z1} \cdot \frac{d}{2} + M_{вр} = 0,$$

$$M_{вр} = P_{z1} \cdot \frac{d}{2} = M_x; \sum M_y = 0: -M_y + P_{z1} \cdot L = 0,$$

$$M_y = P_{z1} \cdot L; \sum M_z = 0: M_z + P_{y1} \cdot L - P_{x1} \cdot \frac{d}{2} = 0,$$

$$M_z = -P_{y1} \cdot L + P_{x1} \cdot \frac{d}{2}.$$

Практично усього цього можна усунути накладенням коливань, шляхом зрівноважуванням збуджуючих джерел. Тобто виконувати обробку чотирма різцями (рис. 3).

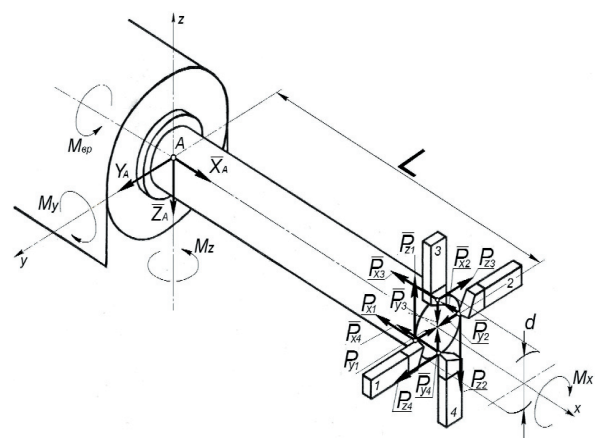


Рис. 3. Обробка заготовки чотирма різцями

Тоді, склавши шість рівнянь рівноваги, за умовою, що  $M_{BP} = M_X$  одержимо:

$$\sum F_X = 0: X_A - P_{X1} - P_{X2} - P_{X3} - P_{X4} = 0,$$

$$X_A = P_{X1} + P_{X2} + P_{X3} + P_{X4};$$

$$\sum F_Y = 0: Y_A - P_{Y1} + P_{Y2} - P_{Y3} + P_{Y4} = 0,$$

$$Y_A = P_{Y1} - P_{Y2} + P_{Y3} - P_{Y4} = 0;$$

$$\sum F_Z = 0: -Z_A + P_{Z1} - P_{Z2} - P_{Y3} + P_{Y4} = 0,$$

$$Z_A = P_{Z1} - P_{Z2} - P_{Y3} + P_{Y4} = 0;$$

$$\sum M_E = 0: M_{BP} - P_{Z1} \cdot \frac{d}{2} - P_{Z2} \cdot \frac{d}{2} - P_{Z3} \cdot \frac{d}{2} - P_{Z4} \cdot \frac{d}{2} = 0,$$

$$M_{BP} = P_{Z1} \cdot \frac{d}{2} + P_{Z2} \cdot \frac{d}{2} + P_{Z3} \cdot \frac{d}{2} + P_{Z4} \cdot \frac{d}{2} = M_X;$$

$$\sum M_Y = 0: -M_Y + P_{Z1} \cdot L - P_{Z2} \cdot L - P_{Y3} \cdot L + P_{Y4} \cdot L = 0,$$

$$M_Y = P_{Z1} \cdot L - P_{Z2} \cdot L - P_{Y3} \cdot L + P_{Y4} \cdot L = 0;$$

$$\sum M_Z = 0:$$

$$M_Z + P_{Y1} \cdot L - P_{Y2} \cdot L - P_{X1} \cdot \frac{d}{2} + P_{X2} \cdot \frac{d}{2} + P_{Z3} \cdot L - P_{Z4} \cdot L = 0,$$

$$M_Z = -P_{Y1} \cdot L + P_{Y2} \cdot L + P_{X1} \cdot \frac{d}{2} - P_{X2} \cdot \frac{d}{2} - P_{Z3} \cdot L + P_{Z4} \cdot L = 0.$$

Як ми бачимо, що практично усі зусилля прирівнюються до нуля.

## 6. Висновок

Розглянутий один з напрямків зменшення впливу вібрації на механічні системи металорізного устаткування, що виникають від впливу збурюючих джерел на робочі елементи, який полягає у досягненні гармонійної залежності, спрямований на зрівноважування збурюючих джерел, і дає можливість конструкторам і винахідникам, новий напрямок при проектуванні безвібраційної механічної обробки та обробних комплексів, що приведе до одержання більш якісної продукції, підвищенню надійності і довговічності роботи устаткування, підвищенню продуктивності праці і знизить рівень шуму, що негативно впливає на організм людини.

### Література

1. Яблонский А.А., Норейко С.С. Курс теории колебаний. – М.: Высшая школа, 1966. – 254с.
2. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1971. – 240с.
3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304с.
4. Григорьев В.И., Мякишев Г.Я. Силы в природе. 4-е изд., – М.: Наука, 1973. – 414с.
5. Пуховский Е.С., Таврит Г.Э., Лещенко М.И. Безвибрационное многолезвийное резание. – К.: Техніка, 1982. – 114с.
6. Бармин Б.П. Вибрации и режимы резания. – М.: Машиностроение, 1972. – 69с.
7. Бобров В.Ф., Грановский Г.И., и др. Развитие науки о резании металлов. – М.: Машиностроение, 1967. – 410с.