

**Геннадій Пасов<sup>1</sup>, Володимир Венжега<sup>2</sup>, Ярослав Кужельний, Антоніна Кологойда<sup>4</sup>,  
Олександр Карпенко<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна).

E-mail: [genapasov@gmail.com](mailto:genapasov@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

Researcher ID: N-4455-2014 Scopus Author ID: 57220212743

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна).

E-mail: [vjvenzhega@gmail.com](mailto:vjvenzhega@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

Researcher ID: N-3560-2014. Scopus Author ID: 16510833000

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна).

E-mail: [k.y.v.immortal@gmail.com](mailto:k.y.v.immortal@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5269-8557>

Researcher ID: J-1127-2016

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна).

E-mail: [kolohoida@gmail.com](mailto:kolohoida@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1742-2686>

Researcher ID: I-1118-2014. Scopus Author ID: 57222329484

<sup>5</sup>здобувач вищої освіти, гр. ММБ-221, Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна).

E-mail: [kaparek321@gmail.com](mailto:kaparek321@gmail.com).

## ВИВЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ЗОНІ РІЗАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АНІМАЦІЙНОГО СИМУЛЯТОРА

*Програмний продукт призначений для імітаційного виконання лабораторної роботи з курсу «Теорія різання». Користувачі мають можливість самостійно, без реального обладнання імітувати вимірювання температури в зоні різання. При цьому можуть бути встановлені різні режими різання (швидкість різання, подача, глибина різання). На основі отриманих даних здобувачі можуть будувати графіки залежностей та аналізувати їх. Наочна візуалізація разом з інтерактивністю сприяє ефективному засвоєнню навчального матеріалу.*

*Стаття є публікацією науково-методичного характеру.*

*Ключові слова:* навчальний процес; температура; режими різання; моделювання; симулятор.

*Рис.: 14. Табл.: 1. Бібл.: 9.*

**Актуальність теми дослідження.** Один із найголовніших факторів, які супроводжують процес різання, є теплота, що утворюється в результаті роботи різання. Закони теплоутворення пояснюють ті явища, які пов'язані з навантаженням різця, його стійкістю, якістю обробленої поверхні. Щоб правильно використовувати різальний інструмент, необхідно знати ці закони. Навчальна дисципліна, яка саме вивчає ці закони, є «Теорія різання». Однією зі складових цієї дисципліни є вивчення та дослідження сил різання та температури в зоні різання. Температура, яка виникає в зоні різання, суттєво впливає на знос та стійкість інструменту, на якість поверхні деталі та точність обробки. Тому вивчення теплових явищ – це важливе завдання.

Одним з інструментів при проведенні досліджень є дуже поширене використання комп'ютерної техніки. Проте ще потрібно мати й відповідне програмне забезпечення. Використання в навчальному процесі спеціального програмного забезпечення, наприклад, імітаційні моделі з можливістю анімації досліджуваних явищ, дозволяє застосовувати їх при виконанні лабораторних робіт із різних навчальних дисциплін. Наприклад, досліджувати різноманітні процеси в гідравліці, теорії різання, при складанні керуючих програм для верстатів із числовим програмним керуванням та інше.

**Постановка проблеми.** Освіта є основою будь-якого суспільства. При вивченні навчальних предметів використовуються різноманітні джерела інформації: підручники, навчальні посібники, збірники статей, інтернет-ресурси тощо. У теперішній час актуальним є використання спеціального імітаційного, анімаційного програмного продукту для вивчення різноманітних навчальних дисциплін [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Здобувачі вищої освіти технічних та будь-яких інших спеціальностей повинні бути присутніми на різнопланових структурних навчальних елементах: лекціях, лабораторних та практичних заняттях. На цих заняттях часто використовують двовимірні та тривимірні зображення: рисунки різноманітних машин, конструкцій, процесів та інше [2-5]. Для кращого розуміння процесу роботи різноманітних явищ використовують комп'ютери та відповідні програмні продукти, що надають навчальному процесу більш інтенсивного та інтерактивного змісту [6-9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Здобувачі вищої освіти напрямів навчання «Галузеве машинобудування» та «Технологія машинобудування» вивчають дисципліну «Теорію різання». Крім теорії, їм необхідно отримати ще й практичні навички, які здобувачі одержують на лабораторних заняттях.

При виконанні лабораторної роботи «Вимірювання температури в зоні різання Вплив режимів різання на температуру» здобувачам вищої освіти пропонується використовувати передові інформаційні технології, а саме анімаційний симулятор досліджуваного процесу.

**Метою статті** є аналіз способів вимірювання температури в зоні різання та пропозиція використання в навчальному процесі симулятора, який імітує процес вимірювання.

**Виклад основного матеріалу.** На кафедрі автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Національного університету «Чернігівська політехніка» при вивченні навчальної дисципліни «Теорія різання» здобувачам різних напрямів навчання, зокрема «Галузеве машинобудування» та «Технологія машинобудування», запропоновано використовувати навчальний симулятор для вивчення температури в зоні різання SunSpire Art group [10].

Програмний продукт призначений для імітаційного виконання лабораторних робіт із дисципліни «Теорії різання». Запропонована методика виконання лабораторної роботи в оболонці комп'ютерної програми передбачає вивчення теплових явищ при різанні металів і методів вимірювання температури різання, а також дослідження впливу елементів режиму різання на температуру різання.

Для ефективного засвоєння матеріалу, який вивчається, застосовується наочна об'ємна візуалізація в сукупності з максимальною інтерактивністю. Симулятор є комп'ютерним віртуальним тренажером, який призначений для проведення лабораторної роботи «Вимірювання температури в процесі різання. Вплив режимів різання на температуру». До комп'ютера, на якому буде використовуватись програма, ставляться певні системні вимоги [10].

Мета роботи симулятора полягає у вивченні теплових явищ при обробці (різанні) металів і методів вимірювання температури різання, а також дослідження впливу елементів режиму різання (швидкості, подачі та глибини різання) на температуру різання.

Теплові явища в процесі різання відіграють виключно важливу роль. Саме вони визначають температуру в зоні різання, яка впливає на характер утворення стружки, наріст, усадку стружки, величину сил різання і мікроструктуру поверхневого шару. Ще більш істотний вплив має температура різання на інтенсивність затуплення інструмента і його стійкість, а отже, продуктивність процесу різання. Розглянемо, як утворюється та розподіляється тепло.

Дослідженнями встановлено, що понад 99,5 % механічної роботи різання переходить у тепло й лише невелика частина її перетворюється в потенційну енергію перекрученої кристалічної ґратки. Тому вважають, що в теплоту переходить практично вся робота різання, тобто кількість тепла  $Q$ , що виділяється, еквівалентно механічній роботі  $A$ . Оскільки робота в одиницю часу  $A = Pz V$ , то кількість тепла, що виникає за одиницю часу, дорівнює:

$$Q = Pz V, \quad (1)$$

де  $Pz$  – складова сили різання, яка діє в напрямку головного руху, Н;

$V$  – швидкість різання, м/с.

Джерелами утворення тепла при різанні (рис. 1) є:

$Q_d$  – тепло, яке виділяється внаслідок пластичної деформації в зоні стружкоутворення;

$Q_{TP}$  – тепло від тертя на передній поверхні інструмента;

$Q_{TZ}$  – тепло від тертя на задній поверхні.

Теплота кожного з цих трьох джерел у результаті теплообміну в зоні різання передається стружці –  $Q_C$ , оброблюваній деталі –  $Q_{ДЕТ}$ , інструменту –  $Q_I$  і навколишньому середовищу –  $Q_{СР}$  (рис. 1). Таким чином, рівняння теплового балансу при різанні має вид:

$$Q = Q_D + Q_{ТП} + Q_{ТЗ} = Q_C + Q_{ДЕТ} + Q_I + Q_{СР}. \quad (2)$$

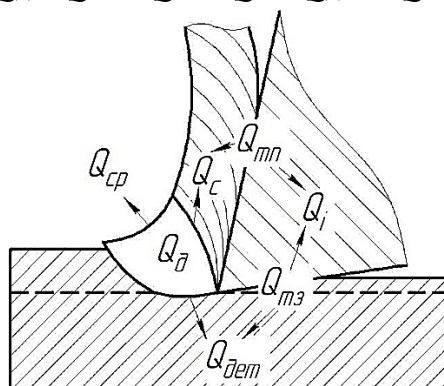


Рис. 1. Схема утворення та розподілу тепла

Кількість тепла, яке утворюється в процесі різання, і співвідношення доданків у рівнянні (2) залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів, геометрії різального інструменту та режимів різання.

Експерименти показують, що при роботі різцями з невеликою швидкістю різання ( $V < 40$  м/хв) відносна частка теплоти становить:

$$Q_C = 60-70 \%, Q_{ДЕТ} = 30-40 \%, Q_I = 3 \%, Q_{СР} = 1-2 \%$$

На розподіл тепла між стружкою, деталлю та інструментом істотно впливає збільшення швидкості різання: при цьому  $Q_C$  зростає, а  $Q_I$  та  $Q_{ДЕТ}$  зменшуються. Крім того, чим нижче теплопровідність оброблюваного матеріалу, тим більше тепла йде до інструменту. Як видно,  $Q_I$  дуже маленьке і при різанні будь-яких матеріалів з будь-яким режимом обробки набагато менше, ніж  $Q_C$  та  $Q_{ДЕТ}$ . Основною причиною низької інтенсивності тепловіддачі до інструменту є більш низька теплопровідність інструментального матеріалу в порівнянні з оброблюваним.

Розглянемо, які є методи вимірювання температури в зоні різання. На рис. 2 наведено зміни температури вздовж площадки контакту на передній поверхні інструмента. Максимальна температура виникає приблизно на половині ширини площадки контакту. До леза і до кінця площадки температура зменшується. По площадці контакту задньої поверхні інструмента з поверхнею різання температура розподіляється також нерівномірно. Тому в загальному випадку під температурою різання розуміють середню температуру на поверхні контакту інструмента зі стружкою та поверхнею різання.

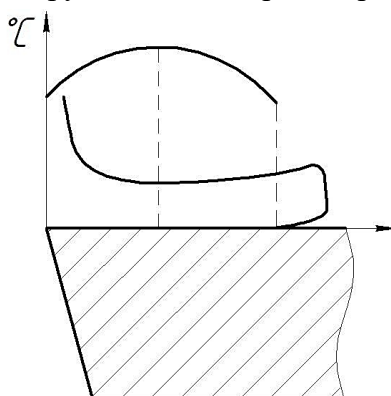


Рис. 2. Розподіл температури вздовж площадки контакту стружки з різцем

Слід зазначити, що поняття «температура різання» також тісно пов'язано зі способами її вимірювання. Розрізняють непрямі та безпосередні способи вимірювання температури різання. До непрямих способів належать: калориметричний, спостереження за кольорами мінливості, термокрасок, мікроструктурного аналізу; оптичний і радіаційний. Але ці способи не точні й тому використовуються рідко.

Велику зацікавленість становить безпосередній вимір температур у зоні різання, оскільки дає змогу одержати результат, близький до дійсного. З цією метою застосовують спосіб термопар, уперше запропонований Я. Г. Усачовим. Розрізняють такі різновиди способу термопар: штучна; напівштучна; природна; метод двох різців і біжучої термопари.

На рис. 3, а представлено вимірювання температури штучною термопарою. До корпусу різця притиснута різальна пластинка 1. У корпусі зроблено отвір, у який вставлена ізоляційна трубка 2. Стандартна термопара 3 (мідь – константан, хромель – алюмель та ін.) з гальванометром 4, підключеним до її кінців, вставлена в трубку 2 так, що її спай торкається нижньої площини пластинки 1. Спай термопари реєструє температуру опорної площини пластинки. Розташовуючи отвір у різних точках опорної площини, можна вивчити розподіл температури по передній поверхні різця.

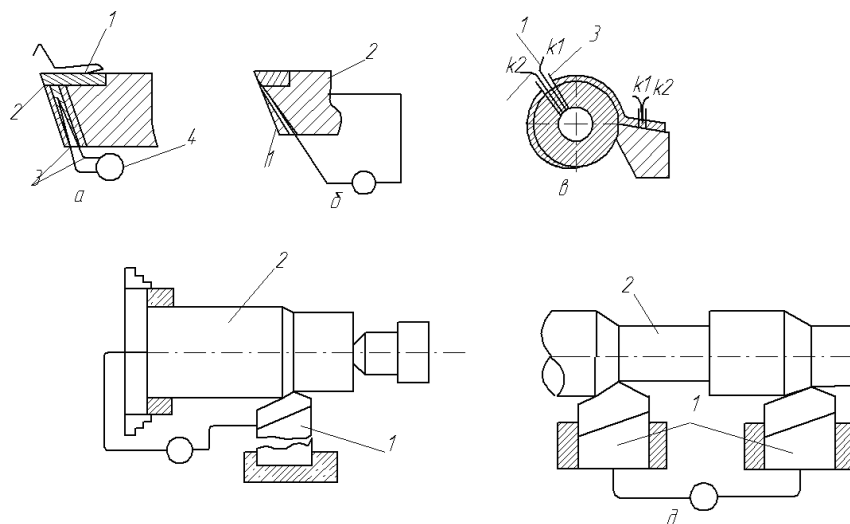


Рис. 3. Вимірювання температури термопарами:  
а – штучною; б – напівштучною; в – біжучою;  
г – природною; д – методом двох різців

Перевагою методу є можливість використання стандартної термопари, а тому немає потреби у спеціальному її тарюванні. Проте вимірювана термопарою температура нижче за температуру на контактних поверхнях інструмента й різниця температур залежить від відстані спаю термопари до зазначених поверхонь, зростаючи зі збільшенням товщини різальної пластинки. Практично не вдається мати товщину пластинки менше ніж 1,5-2 мм, а тому через великий градієнт температур вимірювана температура на 50-80 °С нижче за дійсну.

Напівштучна термопара (рис. 3, б) складна у виготовленні, допускає малу кількість переточувань інструмента та вимагає спеціального тарювання в порівнянні зі штучною, а тому набула обмеженого застосування.

Простішим є метод природно утвореної термопари (рис. 3, г). Елементами природної термопари є різець 1 та оброблювана деталь 2, спаєм термопари служить поверхня контакту різця зі стружкою і деталлю. Якщо деталь та різець включити в замкнений електричний ланцюг, то величина термоелектрорушійної сили (т.е.р.с.), яка виникає в термоелементі, буде пропорційна температурі ковзного спаю утвореної термопари. Цим

методом вимірюють не максимальну, а деяку середню контактну температуру на передній і задній поверхнях різця. Перевагою методу є те, що його легко здійснити при будь-якому виді обробки (точінні, свердлінні, струганні, фрезеруванні, протягуванні та ін.). Для перекладу показань гальванометра в градуси Цельсія ця термопара попередньо повинна бути протарирована. Відзначимо, що тарировання термопар є трудомістким процесом. При використанні ж методу природної термопари необхідно робити кожен раз нове тарировання при зміні матеріалів різця або деталі, що є недоліком методу.

Вплив матеріалу оброблюваної деталі на вид тарировального графіка можна виключити, застосовуючи дворізцевий метод (рис. 3, д). При цьому методі точіння деталі 2 здійснюють двома однаковими різцями 1, які виготовлені з різних інструментальних матеріалів та підключені до гальванометра. Елементами природно утвореної термопари є матеріали різців, величина т.е.р.с. залежить від їхніх властивостей і температури нагрівання контактних поверхонь різців. Оброблюваний матеріал тут служить тільки електричним провідником і на показання гальванометра не впливає. Якщо один раз такий прилад протарировати, то можна оцінювати температуру різання при обробці різних металів. За точністю метод поступається однорізцевому, тому що припускає тільки однакові температури контактних поверхонь обох різців. Однак унаслідок різних сил різання і різної теплопровідності матеріалів двох різців температури на контактних поверхнях різців не можуть бути однаковими.

Найбільш точним є методи, які використовують термопари, що біжать або зрізаються (рис. 3, в, з). Штучна незамкнена термопара (рис. 3, в), розташована в захисній трубці 3, вставляється в отвір діаметром 0,5-0,7 мм у деталі. Трубка 3 виготовляється з матеріалу деталі. Елементами 1 та 2 термопари є тонкі дротики діаметром 0,1 мм із міді й константану, ізольовані емаллю. Кінці термопар К1 та К2, К3 та К4 через струмознімачі підключені до осцилографа. При перерізанні різцем захисної трубки і незамкнутої штучної термопари елементи останньої замикаються на контактній поверхні стружки й поверхні різання. Таким чином утворюється дві термопари: одна з них, рухаючись зі швидкістю стружки, через контакти К1 та К2 фіксує на осцилографі температуру вздовж контактної площадки на передній поверхні різця, а інша, рухаючись зі швидкістю різання, через контакти К3 та К4 фіксує температуру вздовж контактної площадки на задній поверхні різця.

Метод біжучих термопар відрізняється складністю і великою трудомісткістю, проте є найбільш точним та дозволяє вивчити закон розподілу температур на контактних поверхнях інструмента (рис. 2).

Розглянемо, як впливають різні фактори на температуру різання. На температуру різання  $\theta$  впливають ті ж фактори, що і на зміну балансу тепла (властивості інструментального й оброблюваного матеріалів, елементи режиму різання, геометрія інструмента та ін.).

Фізико-механічні властивості інструментального й оброблюваного матеріалів впливають на температуру різання  $\theta$  так же як і на усадку стружки чи сили різання, тобто мається тенденція до збільшення  $\theta$  з підвищенням міцності, жорсткості і пластичності оброблюваного матеріалу. Крім того, на  $\theta$  дуже впливає теплопровідність оброблюваного та інструментального матеріалів: чим вище теплопровідність цих матеріалів, тим нижче  $\theta$ , тому що відвід тепла від місця його виділення в стружку, деталь і в інструмент більш інтенсивний.

З елементів режиму різання найбільш впливає на  $\theta$  швидкість різання  $V$ , менше – подача  $S$  та найменш – глибина різання  $t$ , причому з їх збільшенням температура різання підвищується. Це підвищення  $\theta$  не пропорційне збільшенню  $V$ ,  $S$  та  $t$ . Тобто зростання температури різання відстає від зростання  $V$ ,  $S$  та  $t$ . Це відставання особливо підсилюється в зоні високих  $V$ ,  $S$  та  $t$ .

Вплив  $V$ ,  $S$  та  $t$  на температуру різання пояснюється такими факторами:

1) зі збільшенням  $V$  росте робота різання ( $A = Pz V$ ) і, отже, кількість виділеної теплоти, але безпосередньо в різець і деталь доля відведеної теплоти знижується, а основна кількість її забирається стружкою, тому хоча зі збільшенням  $V$  температура різання росте, це зростання увесь час сповільнюється; крім того, припущення про те, що  $A = Pz V$  змінюється пропорційно  $V$ , не зовсім вірне, тому що в міру збільшення  $V$  сила різання  $Pz$  зменшується;

2) зі збільшенням  $S$  збільшується сила  $P_z$ , а отже, збільшується робота різання і кількість виділеної теплоти; одночасно зростає площа контакту стружки з передньою поверхнею різця; це поліпшує умови відводу теплоти, тому збільшення  $\theta$  відстає від зростання  $S$ ;

3) зі збільшенням  $t$  прямо пропорційно зростає  $P_z$ , робота різання і кількість виділеного тепла, але в стільки ж раз збільшується і площа контакту стружки з передньою і задньою поверхнями різця, а отже, поліпшується відвід теплоти; тому зі збільшенням  $t$  температура різання незначно змінюється.

Оскільки площа контакту стружки з передньою і задньою поверхнями інструмента збільшується з підвищенням  $S$  в значно меншій мірою, ніж із підвищенням  $t$ , то відвід тепла зі збільшенням  $t$  поліпшується більше, ніж зі збільшенням  $S$ . Тому  $S$  більшою мірою впливає на температуру різання, ніж  $t$ .

Неоднаковий вплив  $t$  і  $S$  на температуру різання дозволяє зробити важливий висновок: для зниження  $\theta$  при заданій площі перерізу зрізаного шару необхідно працювати з можливо більшим відношенням  $t/S$  тобто із широкими й тонкими стружками.

З геометричних параметрів інструмента найбільш впливає на  $\theta$  передній кут  $\gamma$  та головний кут у плані  $\varphi$ .

При вимірюванні температури різання у склад лабораторного обладнання входять такі прилади, інструменти та приналежності:

1. Токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20.
2. Експериментальна заготовка.
3. Токарний прохідний різець.
4. Штангенциркуль.
5. Струмознімач.
6. Мілівольтметр.
7. Комплект ключів.
8. Набір з'єднувальних проводів.

Лабораторний стенд (рис. 4) дозволяє вимірювати температуру різання методом природної термопари. Стенд змонтовано на базі верстата 16К20 та складається з: експериментальної заготовки 1 та різця 3, струмознімача 7, сполучних проводів та мілівольтметра 5. На заготовці 1 з метою ізоляції її від верстата насаджені текстолітові втулка і пробка 2. Різець 3 також ізолюють від верстата текстолітовими прокладками 4. Струмознімач 7 являє собою металеву пластинку, що притиснута під дією власної ваги до токопровідної шпильки, яка виготовлена з матеріалу деталі. Вільний кінець шпильки 6 ізолювано від корпусних деталей верстата за допомогою текстолітової втулки 8. Мілівольтметр 5 сполучними проводами підключається одним кінцем до ртутного струмознімача через накопичувач, а іншим – до різця.

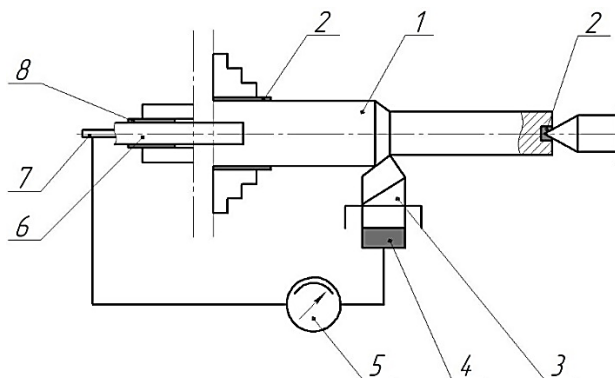


Рис. 4. Схема лабораторного стенда:

1 – заготовка, 2 – пробка, 3 – різець, 4 – прокладка, 5 – мілівольтметр,  
6 – шпилька, 7 – струмознімач, 8 – втулка

У процесі різання утворюється замкнутий електричний ланцюг: «заготовка – струмомознімач – мілівольтметр – різець – заготовка». Як бачимо, всі елементи цього ланцюга ізольовані від верстата. Останнє пов’язано з усуненням впливу на показання мілівольтметра різних паразитних термопар, що можуть виникнути між елементами електричного ланцюга і верстатом.

При визначеному режимі різання виконується обробка заготовки. При цьому т.е.р.с., що виникає в природній термопарі деталь – різець, фіксується мілівольтметром. Чим більше температура різання  $\theta$ , тим більше виникаюча т.е.р.с., тим більше відхилення стрілки мілівольтметра.

Для переведення показань мілівольтметра в градуси Цельсію необхідно провести спеціальне тарювання природної термопари “матеріал заготовки – матеріал різця”. У навчальних цілях при проведенні лабораторної роботи можна користуватися графіками тарювання термопар для сталі 40 та різних твердих сплавів (рис. 5).

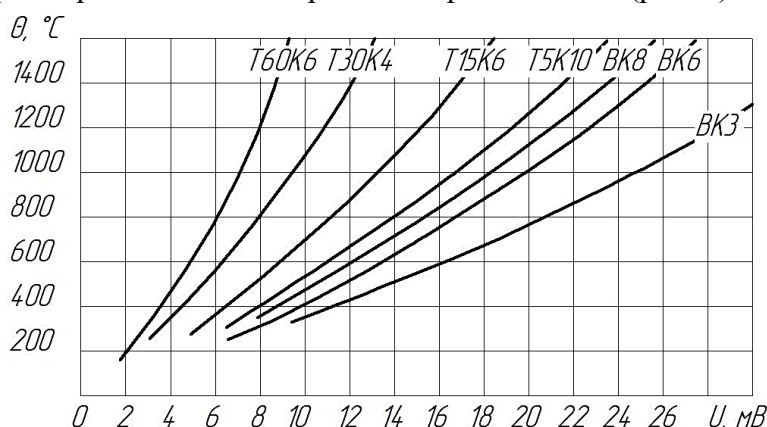


Рис. 5. Криві тарювання термопар сталь 40 – твердий сплав

Лабораторна робота виконується в такій послідовності:

1. На лабораторній установці виконується (відповідно до отриманого завдання) дослідження впливу елементів режиму різання (наприклад, глибини різання) на температуру різання за методикою, описаною вище. Дані дослідження заносяться до протоколу (таблиця 1).

Таблиця 1 – Дані, що отримані при виконанні лабораторної роботи

Порядок експериментів	Частота обертання n, об/хв.	Діаметр оброблюваної заготовки d, мм	Швидкість різання V, м/хв.	Подача S, мм/об	Глибина різання t, мм	Показання гальванометра, мV	Температура, °C
1	200	65	40	0,15	2	3,8	530
2	200	65	40	0,15	1,5	3,65	520
3	200	65	40	0,15	1	3,5	500
4	200	65	40	0,15	0,5	2,85	460

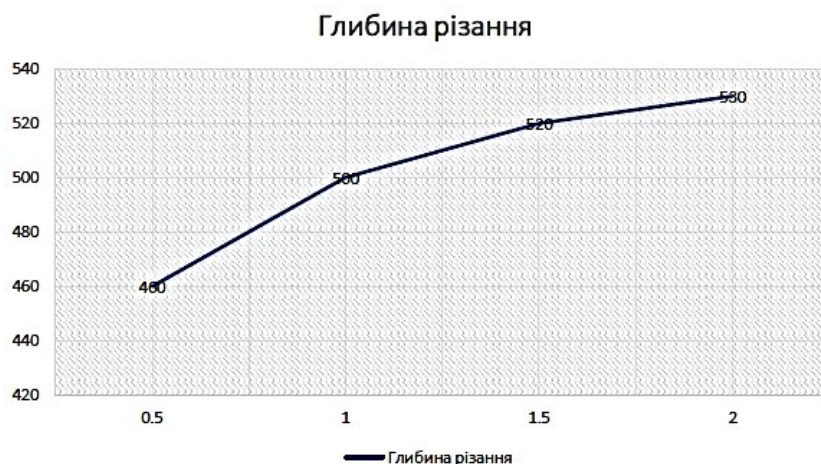
3. Показання мілівольтметра переводяться за допомогою тарювального графіка в градуси Цельсія і заносяться до протоколу лабораторної роботи.

4. Аналогічно досліджують вплив на температуру різання інших складових (швидкості різання та подачі).

5. За даними протоколу будуються графіки залежностей температури різання від елементів режиму різання. Наприклад, для глибини різання  $\theta = f(t)$  (рис. 6) та інші  $\theta = f(V)$ ,  $\theta = f(S)$ .



6. Використовуючи отримані залежності робляться висновки про вплив  $V$ ,  $S$  і  $t$  на температуру різання з поясненням фізичної сутності цього явища.

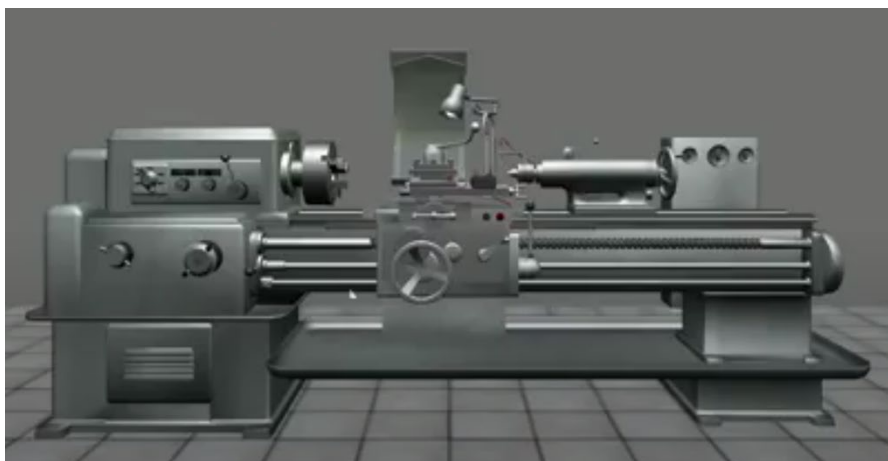


*Рис. 6. Приклад впливу на температуру різання глибини*

Усі вищенаведені дії виконуються на реальному лабораторному стенді. Проте в сучасних умовах, коли дистанційна форма навчання набуває значного поширення, у багатьох відсутній доступ до лабораторій. Саме в цьому випадку і приходять на допомогу інформаційні технології, які дозволяють, наприклад, виконувати цю лабораторну роботу безпосередньо на комп'ютері з використанням анімаційного симулятора цієї лабораторної роботи.

Для початку роботи зі симулятором потрібно запустити файл «SimulatorTEMPERATURA.exe». Після запуску програми на екрані з'являється «Меню», з якого користувач може вибрати ті дії, які йому необхідні в певний момент: «Мета роботи», «Теоретична частина» (пояснюються основні положення про температуру різання та її вимірювання), «Лабораторне обладнання» та інше.

На рис. 7 представлено зовнішній вигляд лабораторного стенда для вимірювання температури в зоні різання на базі токарного верстата 1К62.



*Рис. 7. Зовнішній вигляд лабораторного стенда на базі токарного верстата 1К62*

Після того, як здобувач вищої освіти ознайомився з основними частинами верстата та елементами його керування, він приступає до безпосереднього налагодження лабораторного стенда на задані режими різання: частоту обертання шпинделя (рис. 8), діапазон вибору обертів (рис. 9), подачу (рис. 10), глибину різання (рис. 11).





Рис. 8. Налаштування частоти обертання шпинделя



Рис. 9. Налаштування діапазону частоти обертання шпинделя



Рис. 10. Налаштування подачі

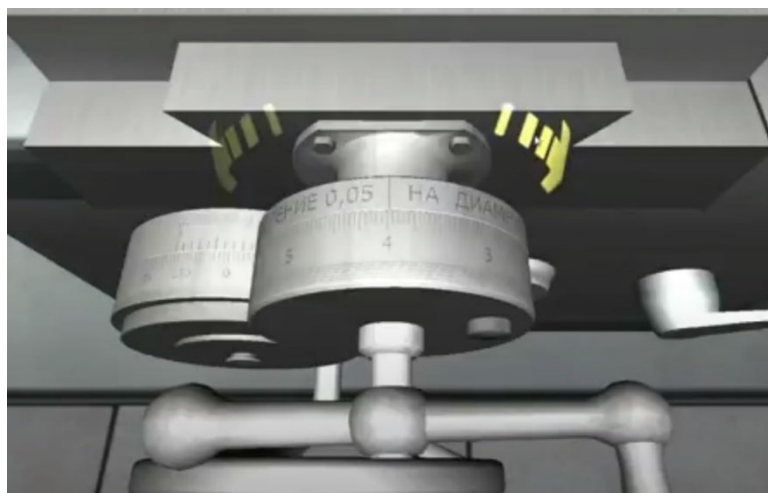
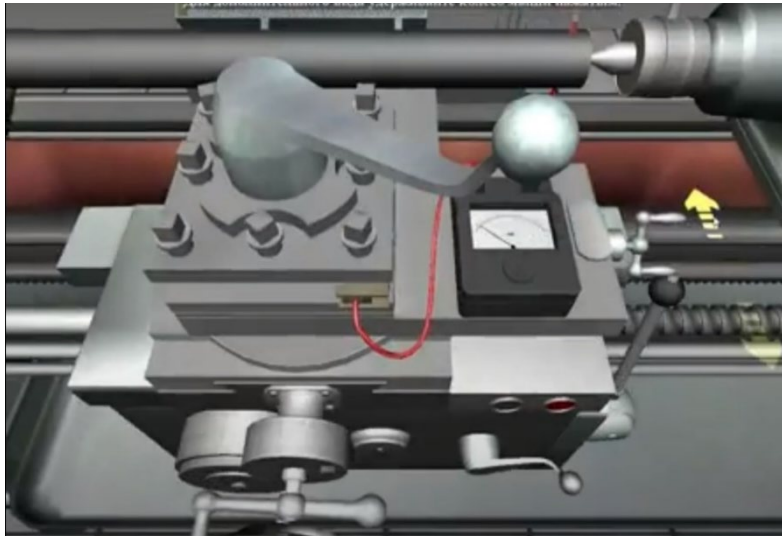


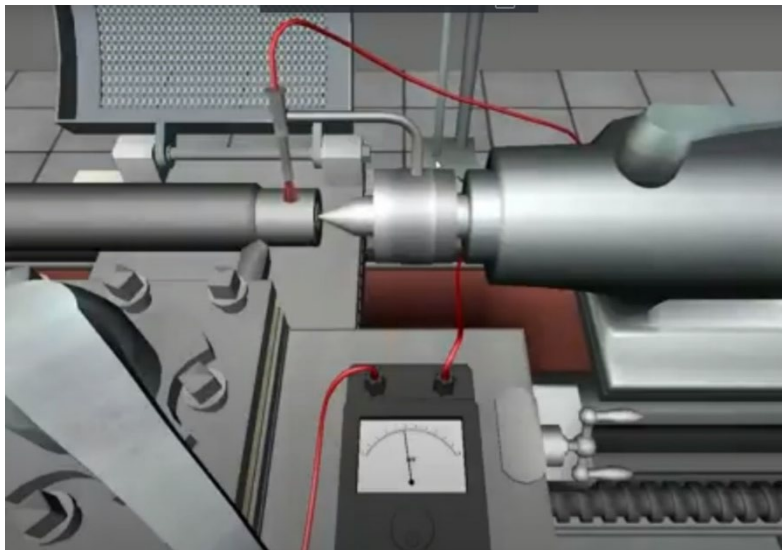
Рис. 11. Налаштування глибини різання

На рис. 12 наведено зовнішній вигляд вимірювального приладу (мілівольтметра) на лабораторному стенді.

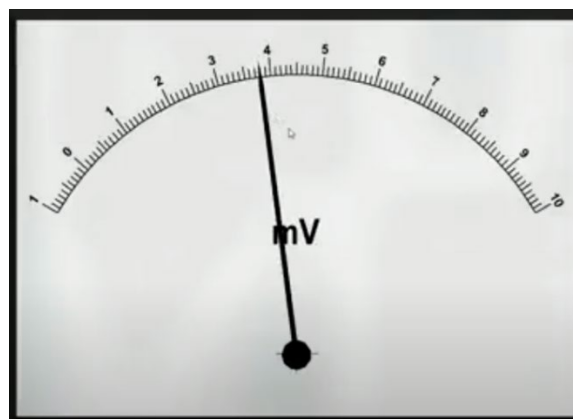


*Рис. 12. Зовнішній вигляд вимірювального приладу на стенді*

Після всього вищезазначеного починаються вимірювання. У процесі імітації обробки (рис. 13) здійснюються зняття показників з мілівольтметра (рис. 14). Отримані результати заносяться до протоколу лабораторної роботи. Наприклад, як у таблиці 1.



*Рис. 13. Зняття показників з мілівольтметра при заданому режимі обробки*



*Рис. 14. Значення показника з мілівольтметра при заданому режимі обробки*

Після чого за тарировальним графіком знаходимо величину температури в зоні різання при заданому режимі обробки.

Надалі здійснюються дії для налагодження верстата на інші режими обробки (інші показники швидкості різання (частоти обертання заготовки), подачі та глибини різання). Після чого знімаються нові покази та будуються необхідні залежності зміни температури різання від параметрів обробки.

Після закінчення всіх експериментів здобувачі мають можливість обробити результат та зробити необхідні висновки.

**Висновки.** Навчальний симулятор, який запропонований при виконанні лабораторної роботи з вивчення температури в зоні різання, дозволить краще зрозуміти процес, а також є більш наочним. Однак у цій програмі не можна використовувати різноманітні матеріали, які оброблюються (різні марки сталі, чавуну, кольорових сплавів та інше). Було б доцільним додати функцію вибору матеріалу, який досліджується в наступній версії цієї програми.

### Список використаних джерел

1. Бочков В. М. Обладнання автоматизованого виробництва : навчальний посібник / В. М. Бочков, Р. І. Сілін. – Львів : Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. – 380 с.
2. Грабченко А. И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования : учеб. пособ. / А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Федорович. – Харків : НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
3. Маров М. Н. Энциклопедия 3ds max 8 (+CD) / М. Н. Маров. – Санкт-Петербург : Питер, 2010. – 1388 с.
4. Горелик А. Г. Основы моделирования и визуализации в 3ds max (в упражнениях) / А. Г. Горелик. – Санкт-Петербург : Питер, 2011. – 398 с.
5. Сахно Ю. О. Гідравліка і гідропневмоавтоматика : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Ю.О. Сахно; Чернігівський держ. технологічний ун-т. – Чернігів : ЧДТУ, 2004. – 148 с.
6. Аббасов И. Б. Компьютерное моделирование в промышленном дизайне / И. Б. Аббасов. – Санкт-Петербург : Питер, 2013. – 92 с.
7. Михальченко Д. О. Анімаційне моделювання храпових механізмів для створення обертового переривчастого руху / Д. О. Михальченко // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : Всеук. наук.-практ. конф. студ., аспір. та молод. учених. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 22-23.
8. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання механізмів для створення реверсивного, обертового руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега, А. В. Рудик // Технічні науки та технології. – 2016. – № 1(3). – С. 60-65.
9. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання гідроциліндрів та пневмокамер для створення прямолінійного поступального руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Технічні науки та технології. – 2018. – № 4(14). – С. 34-40.

### References

1. Bochkov, V.M., & Silin, R.I. (2000). *Obladnannia avtomatyzovanoho vyrobnyctva [Equipment for automated production]*. Lviv Polytechnic.
2. Hrabchenko, A.I., Dobroskok, V.L., & Fedorovych, V.A. (2006). *3D modelirovaniealmazno-abrazivnykh instrumentov i protsessov shlifovaniia [3D modeling of diamond-abrasive tools and grinding processes]*. NTU «KhPI».
3. Marov, M.N. (2010). *Entsiklopediia 3ds max 8 (+CD) [Encyclopedia 3ds max 8 (+ CD)]*. Piter.
4. Horelyk, A.H. (2011). *Osnovy modelirovaniia i vizualizatscii v 3ds max (v uprazhneniiah) [Basics of modeling and rendering in 3ds max (in exercises)]*. Piter.
5. Sakhno, Yu.O. (2004). *Hidravluka i hidropnevmoavtomatyka [Hydraulics and hydropneumatic automation]*. Chernihiv State Technological University.
6. Abbasov, I.B. (2013). *Kompiuternoe modelirovanie v promyshlennom dizaine [Computer modeling in industrial design]*. Piter.

7. Mykhalchenko, D.O. (2017). Animatsiine modeliuвання khrapovykh mekhanizmiv dlia stvorenia obertalnogo pereryvchastoho rukhu [Animation modeling of ratchet mechanisms to create a rotating intermittent motion]. *Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh uchennykh "Novitni tekhnologii u naukovi diialnosti i navchalnomu protsesi" [All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Latest technologies in scientific activity and educational process"]* (pp. 22-23). Chernihivskiy natsionalnyi tekhnolohichnyi universytet.

8. Pasov, H.V., Venzheha, V.I., & Rudyk, A.V. (2016). Animatsiine modeliuвання mekhanizmiv dlia stvorenia reversyvnogo, obertalnogo rukhu [Animation simulation of reverse mechanism for creating rotary motion]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (1(3)), 60-65.

9. Pasov, H. V., & Venzheha V. I. (2018). Animatsiine modeliuвання hidrotsylindriv ta pnevmokamer dlia stvorenia priamoliniinoho postupalnogo rukhu [Animated modeling of hydraulic cylinders and pneumatic chambers to create a rectilinear translational motion]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (4(14)), 34–40.

Отримано 26.04.23

UDC 621.22:004.94

**Hennadii Pasov<sup>1</sup>, Volodymyr Venzheha<sup>2</sup>, Yaroslav Kuzhelnyi<sup>3</sup>, Antonina Kolohoida<sup>4</sup>,  
Oleksandr Karpenko<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [genapasov@gmail.com](mailto:genapasov@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

Researcher ID: [H-4455-2014](https://orcid.org/0000-0001-7248-9085). Scopus Author ID: [57220212743](https://orcid.org/0000-0001-7248-9085)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [vivenzhega@gmail.com](mailto:vivenzhega@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

Researcher ID: [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X). Scopus Author ID: [16510833000](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [k.y.v.immortal@gmail.com](mailto:k.y.v.immortal@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5269-8557>

Researcher ID: [J-1127-2016](https://orcid.org/0000-0002-5269-8557)

<sup>4</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [kolohoida@gmail.com](mailto:kolohoida@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1742-2686>

Researcher ID: [I-1118-2014](https://orcid.org/0000-0002-1742-2686). Scopus Author ID: [5722329484](https://orcid.org/0000-0002-1742-2686)

<sup>5</sup>student of higher education, gr. MMB-221

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: [kaparek321@gmail.com](mailto:kaparek321@gmail.com).

## STUDY OF TEMPERATURE MEASUREMENT IN THE CUTTING ZONE USING AN ANIMATED SIMULATOR

*The temperature that occurs in the cutting zone significantly affects the wear and stability of the tool, the quality of the surface of the part and the accuracy of processing. Therefore, the study of thermal phenomena is an important task.*

*Nowadays, the use of a simulation software product in the study of various academic disciplines is relevant.*

*For a better understanding of the work process of various phenomena, computers and software products are used, which give the educational process a more intensive and interactive content.*

*When performing laboratory work "Measurement of temperature in the cutting zone" it is suggested to use advanced information technologies, namely an animation simulator.*

*The purpose of the article is to propose the use of a simulator for measuring the temperature in the cutting zone in the educational process.*

*The "SimulatorTEMPERATURE.exe" file is launched. "Menu" appears on the screen. After getting acquainted with the main parts of the machine, they begin to set up the laboratory bench for the specified cutting modes: spindle speed, feed, cutting depth. In the process of simulating processing, indicators are removed from the device. The results are recorded in the work protocol. According to the calibration schedule, the value of the temperature at the specified processing mode is found. In the future, the machine is adjusted for other processing modes. After the end of all experiments, the results are processed and the necessary conclusions are drawn.*

*The educational simulator, which is proposed when performing laboratory work on the study of the temperature in the cutting zone, will allow a better understanding of the process, and is also more visual.*

*The article is a scientific and methodological publication.*

**Keywords:** educational process; temperature; cutting modes; modeling; simulator.

**Fig.:** 18. **References:** 9.

Пасов Г., Венжега В., Кузьмич Я., Кологойда А. Вивчення вимірювання температури в зоні різання із застосуванням анімаційного симулятора. *Технічні науки та технології*. 2023. № 2(32). С. 95-106.