

УДК 621.828.9

В.А. Батлук, д-р.техн.наук, проф., Н.М. Параняк, Е.В. Романцов  
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

## ФІЗИЧНА СУТЬ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ В ПИЛОВЛОВЛЮЮЧОМУ АПАРАТІ, ЯКИЙ ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ МАШИНОБУДУВАННЯ

*Приведены научные основы процесса разделения гетерогенных систем путем диссипации многомасштабных турбулентных вихрей, которые дают возможность рассчитать конструктивные размеры принципиально новых конструкций пылеуловителей.*

*The scientific bases process of division heterogeneous systems by dissipation is great-scale turbulence of whirlwinds are given, that enables to calculate the constructive sizes of essentially new designs dust-collectors.*

**Постановка проблеми.** В процесах обробки матеріалів на металообробних верстатах утворюється велика кількість пилу колоїднодисперсних систем (з розміром частинок менших за  $5 \cdot 10^{-5}$  м), зменшити кількість яких сучасними методами неможливо.

Для поліпшення положення зі станом запиленості на машинообробних підприємствах України необхідно в першу чергу – довести кількість (концентрацію) пилу, що утворюється при таких процесах до певних величин, які обмежені нормами гранично-допустимих концентрацій (ГДК) і викидів (ГДВ). На сьогоднішній день гостро стоїть задача створення апаратів з підвищеною ефективністю роботи, збільшеною питомою продуктивністю; зменшенням гідравлічним опором; зниженими метало- і енергоємностями.

**Аналіз останніх досягнень.** Для зменшення кількості аерозолів (пилу, туманів) використовують сухі, мокрі і електричні методи. Ці апарати відрізняються один від одного як за конструкцією, та і за принципом осадження витаючих частинок. В основі роботи сухих апаратів лежать гравітаційні, інерційні і відцентрові механізми. В мокрих пиловловлювачах відбувається контакт запиленних газів з рідиною. При цьому осадження проходить на краплини, на поверхню газових бульбашок або на плівку рідини. В електрофільтрах відділення заряджених частинок – аерозолів – проходить на осаджуючих електродах.

Вибір методу і пристрою для вловлювання аерозолей передусім залежить від їх дисперсного складу (табл. 1).

Таблиця 1

Розмір частинок, мкм	Апарати
40-1000	Пилоосаджуючі камери
20-1000	Циклони діаметром 1-2 м
5-1000	Циклони діаметром 1 м
20-100	Скрубери
0,9-100	Тканинні фільтри
0,05-100	Волокнисті фільтри
0,01-10	Електрофільтри

Шляхом досліджень на стандартному експериментальному стенді в НУ «Львівська політехніка» на стандартному кварцевому піску з певним медіанним розміром нами вибраний в якості еталону найефективніший з існуючих апаратів сухого знепилення – циклон ЦН-11, з яким і будемо порівнювати параметри новоствореного пиловловлювача./ Метою даної роботи є вивчення процесів, які протікають у відцентрово-інерційних апаратах, створення на їх основі принципово нових пиловловлювачів з підвищеною ефективністю роботи і зменшеними енерго- та металоємностями.

**Виклад основного матеріалу.** Існуючий в даний час апарати аналогічного призначення не можуть дати

значного підвищення ефективності пиловловлювання через неможливість забезпечення постійної дії відцентрової сили на частинку і неможливість підключення до процесу пиловиділення збільшених сил ваги та інерції.

Тому нами було поставлене завдання створення такого пиловловлювача, в якого розміщення жалюзійного відокремлювача в горизонтальній площині перпендикулярній до осі абсцис і осі ординат дозволить втягнути в процес пиловловлювання більшу кількість сил, а наявність відбивача, сконструйованого певним чином, дає змогу направляти в пиловихідний

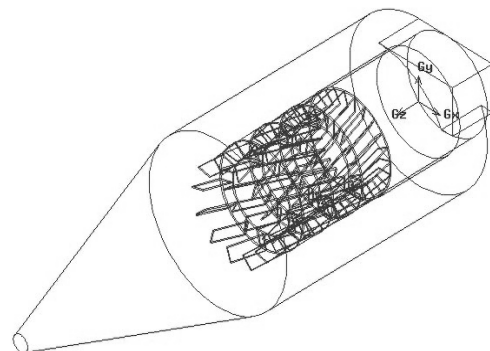


Рис. 1. Аксонометрія циклону

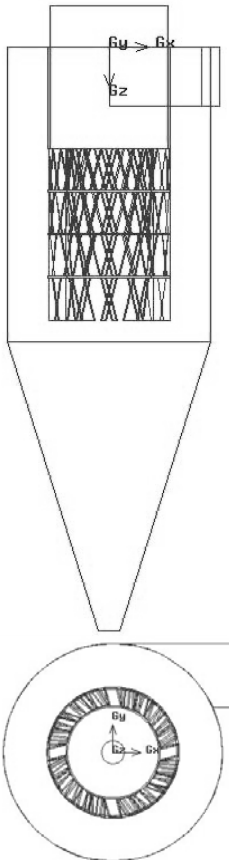


Рис. 2. Видяк циклону збоку і зверху

пристрій площинами з певним кроком як показано на рисунку 5, то можна побудувати розподіл тиску в апараті і поля швидкостей для різних перетинів.

На рисунку 6 показаний розподіл статичного тиску в проектованому апараті для різних поперечних перетинів. Тут також можна бачити що в осьовій частині циклону статичний тиск менше ніж у стінок циліндрової і конічної частин.

Описані вище розподіли тиску і швидкостей можна також представити у вигляді графічних залежностей, показаних в площинах XZ і XY. Зокрема розподіл тиску показаний на рисунку 7. Аналіз даних залежностей підтверджує припущення про падіння статичного тиску від периферії до осі апарату, що обумовлює можливість очищення забрудненого повітря від механічних частинок пилу.

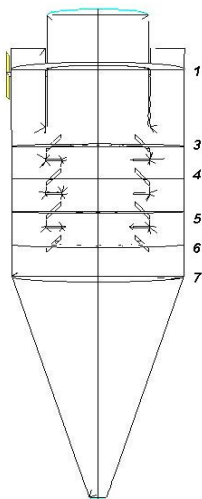


Рис. 5. Розташування поперечних площин в пристрої

патрубок ще частину не виділеного з потоку іншим способом пилу, при цьому реконструкція патрубка виходу очищеного повітря дозволить зменшити турбулентність потоку і гідравлічний опір апарату.

Для вивчення фізичної суті процесів, що протікають в нашому апараті і для обґрунтування вибору параметрів для експериментальних досліджень нами була побудована 3-х мірна звичайно-елементна модель циклону, для якої методом кінцевих елементів (МКЕ) вирішена система рівнянь Нав'є-Стокса для турбулентного перебігу повітря. Для цієї мети побудована геометрична модель пиловловлювача, зовнішній вигляд якої показаний на рисунках 1-2.

В результаті рішення з використанням ПЕВМ нами отримані поля швидкостей і тиску повітря в гідроциклоні без урахування наявності в ній пил. Лінії струму повітря в проектованому циклоні показані на рисунку 3 при швидкості подачі повітря у верхній і нижній патрубках апарату рівної 10 м/с, збільшення швидкості подачі не змінить фізичної суті процесів, що відбуваються в циклоні і картина течій залишиться практично незмінною.

З рис. 3. видно, що повітря, що подається через вхідний патрубок, набуває обертальний рух. Внаслідок чого частина повітря поступає до стінок циліндрової частини апарату і рухається до нижнього вихідного отвору. Інша частина рухається до осі пристрою і взаємодіє з жалюзі, внаслідок чого відбувається розділення потоків і очищене повітря виводиться з апарату через верхній відповідний патрубок.

Такий рух повітря пояснюється перепадом статичного тиску у стінок апарату і в центральній його частині. Наочно цей перепад тиску можна побачити на рисунку 4.

Можна припустити, що при подачі вхідний патрубок повітря з механічними домішками важкі частинки відкидаються до стінок циклону і рухаються вниз до нижнього патрубка. Легші частинки разом з повітрям - у внутрішньому висхідному потоці до жалюзійного пристрою і далі до відповідного патрубка, складаючи очищену частину повітря. Якщо розітнути пропонований

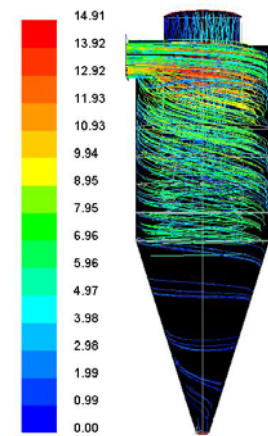


Рис. 3. Лінії струму повітря в проектованому пристрої

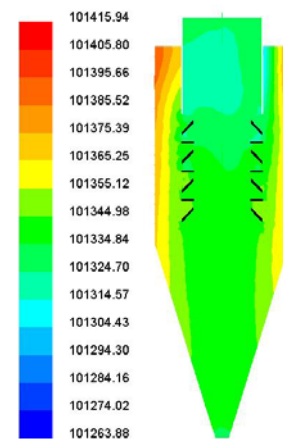


Рис. 4. Розподіл статичного тиску в апараті, Па

припущення про падіння статичного тиску від периферії до осі апарату, що обумовлює можливість очищення забрудненого повітря від механічних частинок пилу. З рисунка 8 також видно, що найбільш ефективне очищення повітря від пилу можливе в циліндровій частині апарату при виході забрудненого повітря з вхідного патрубка, оскільки перепад тиску в поперечних перетинах 1-4 найбільший. Очищення інтенсифікується за рахунок використання жалюзійного пристрою.

Наочний розподіл абсолютних швидкостей в різних поперечних перетинах циклону можна побачити на рис. 8.

З рисунка 8 видно, що в осьовій частині вектора абсолютних швидкостей після проходження жалюзі направлені вгору до відповідного патрубка очищеного повітря.

На підставі отриманих даних побудовані графічні залежності для розподілу осьових, радіальних і тангенціальних швидкостей в циклоні, показані на рисунках 8-10.

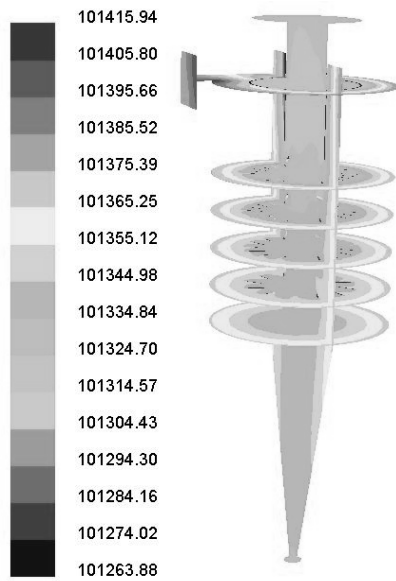


Рис. 6. Розподіл статичного тиску по поперечних перетинах

який складається з патрубку 1 для вводу пилогазової суміші в апарат, корпусу апарата 2, жалюзійного відокремлювача 3 з жалюзі 4, пиловипускного патрубку 5, відбивача 6, патрубків для виходу очищеного газу 7 і 8, кришки апарату 9.

Працює горизонтальний пиловловлювач наступним чином: пилогазова суміш через вхідний патрубок 1 тангенційно поступає в корпус апарата 2. Під дією відцентрових сил великодисперсні частинки пилу притискаються до стінки корпусу апарата 2, а дрібnodисперсний пил захоплюється газовим потоком і рухається у бік жалюзійного відокремлювача 3. Біля відокремлювача частинки пилу стикаються із жалюзі 4 жалюзійного відокремлювача 3 і відбиваються від них у бік потоку великодисперсних частинок, захоплюються ним і попадають у пиловипускний патрубок 5. Частинки, які під дією інерційних сил і сил ваги пролітають мимо отвору пиловипускного патрубку стикаються з відбивачем 6 і

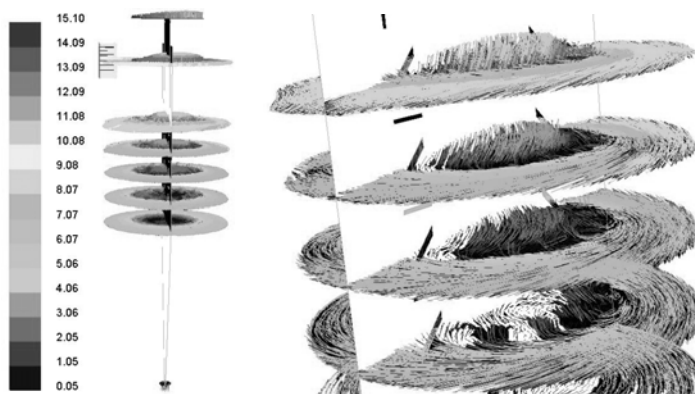


Рис. 8. Розподіл абсолютних швидкостей в поперечних перетинах циклону

З рисунка 8 видно, що біля стінок циклону осьові швидкості направлені вниз до розвантажувального отвору, а після проходження в центральній частині зони жалюзі змінюють свій знак на протилежний і повітря рухається вгору.

Потрібно сказати, що ефективність очищення більшою мірою залежить від радіальної швидкості повітряного потоку. Розподіл радіальних швидкостей показаний на рисунку 9.

Аналогічні залежності можна побудувати для тангенціальних складових швидкості в апараті, що показано на рисунку 10.

Аналіз залежностей, приведених на рисунку 9, показує, що в центральній частині значення радіальних швидкостей вище, особливо в зоні площин 1, 3 і 4 в яких відбувається інтенсивне очищення повітря. Із залежностей, показаних на рисунку 10 видно, що тангенціальна швидкість у стінок апарату вища, ніж у осі. Особливо це чітко видно в зоні інтенсивного очищення повітря в циліндровій частині, відповідній перетинам 1, 3 і 4.

Нами було поставлене завдання створення такого пиловловлювача, в якого розміщення жалюзійного відокремлювача в горизонтальній площині перпендикулярній до осі абсцис і осі ординат дозволить втягнути в процес пиловловлювання більшу кількість сил, а наявність відбивача, сконструйованого певним чином, дає змогу направляти в пиловихідний патрубок ще частину не виділеного з потоку іншим способом пилу, при цьому реконструкція патрубку виходу очищеного повітря дозволить зменшити турбулентність потоку і гідравлічний опір апарата.

На рис. 11. зображений горизонтальний пиловловлювач,

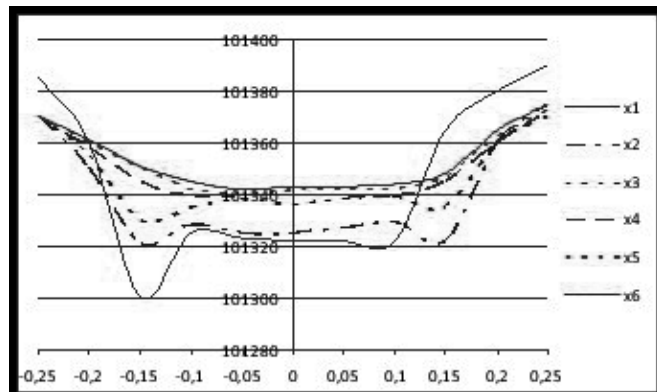


Рис. 7. Розподіл статичного тиску при швидкості подачі повітря 10 м/с

відбиваються ним у вихідний патрубок пилу 5. Вихідні патрубки для очищеного газу 7 приєднані з двох боків до жалюзійного відокремлювача 3 і розташовані вздовж його осі, а за межами корпусу апарата 2 підіймаються вертикально вгору паралельно стінкам корпусу апарата (рис. 3.) і над кришкою апарата 9 переходять у основний патрубок для виходу очищеного газу 8, який розташований співвісно корпусу 2 вздовж його вертикальної осі. Та частина газу, що очистилась від пилу, як в корпусі 2 апарата, так і при проходженні через жалюзі 4 відокремлювача 3, виводиться з внутрішньої порожнини жалюзійного відокремлювача через ці діаметрально протилежні патрубки 7 і вихідний патрубок 8 назовні.

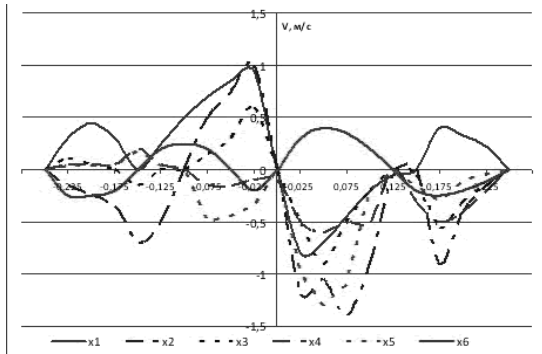


Рис. 9. Розподіл радіальних швидкостей в поперечних перетинах апарату: 1 – в площині XZ; 2 – в площині YZ

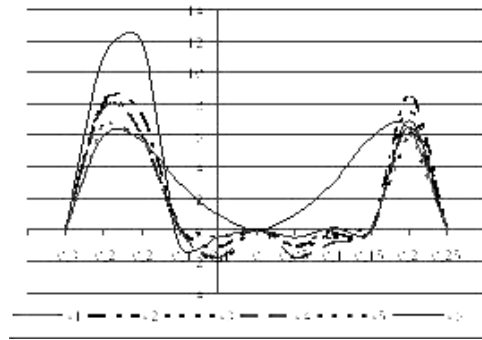


Рис. 10. Розподіл тангенціальних швидкостей в поперечних перетинах апарату: 1 – в площині XZ; 2 – в площині YZ

Для оптимізації процесу пиловловлення жалюзійний відокремлювач розташований на горизонтальній осі – осі аплікат, яка має прямі кути з віссю абсцис і ординат корпусу пиловловлювача, що дозволяє збільшити вплив сил ваги при проведенні процесу очистки. Отже пилогазовий потік, ввійшовши в апарат тангенційно через патрубок 1, попадає під вплив відцентрових сил, які відкидають більші частинки пилу з нього до зовнішньої стінки корпусу 2, де формується потік великодисперсного пилу в напрямку від вхідного 1 до пиловипускного 4 патрубків. Відомо, що для видалення твердих частинок пилу з потоку достатньо половини оберту його вздовж жалюзійного відокремлювача 3, тому після здійснення потоком половини оберту на нього починають діяти додатково ще сили ваги та інерції, які підштовхують цей потік спочатку вздовж зовнішньої стінки корпусу апарату 2, а потім у напрямку пиловипускного патрубку 5. Практично весь виділений великодисперсний пил попадає у пиловипускний патрубок 5. Дрібнодисперсний пил, який не може бути виділений за допомогою відцентрових сил, захоплюється потоком газу, який одночасно рухається до жалюзійного відокремлювача 3, і, роблячи поворот на кут  $\alpha$  ( $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ ) в сторону отвору між його жалюзі 4, проходить через ці отвори і виводиться з апарату через патрубки 7, 8. Дрібнодисперсні частинки пилу не встигають за потоком, за рахунок сил інерції відстають від нього і

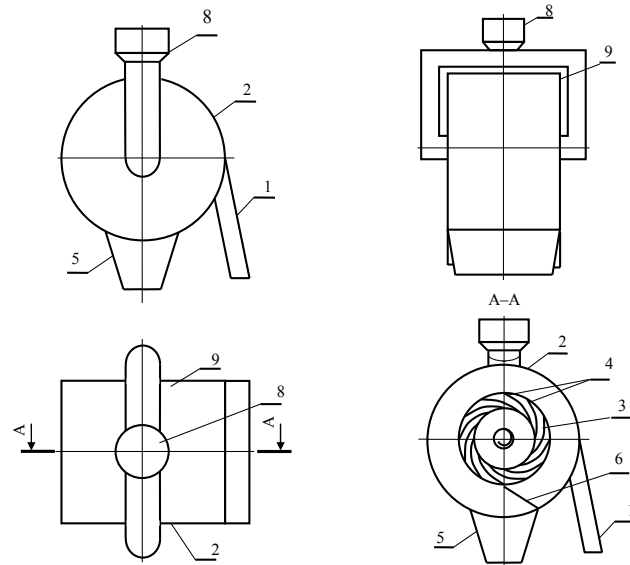


Рис. 11. Горизонтальний пиловловлювач

не можуть повернути в отвір між жалюзі 4, стикаються з жалюзі, відбиваються від них в напрямку руху великодисперсного пилу, відбиваються потоком назад, знов захоплюються газовим потоком, стикаються з жалюзі і відбиваються ними і т. д. до тих пір, доки не попадуть в потік, який рухається в напрямку до пиловипускного

Таблиця 1.

Порівняльні дослідження пиловловлювачів

Витрати повітря, м <sup>3</sup> /г	Діаметр пилу, $\delta_{50} \cdot 10^{-6}$ м	Ефективність роботи, %		Гідравлічний опір, Па	
		циклон ЦН-11	запропонований апарат	циклон ЦН-11	запропонований апарат
1000	8	76,5	87,2	88	67
	32	83,2	93,9		
	50	85,2	95,8		
2000	8	77,4	89,1	92	71
	32	80,5	93,2		
	50	85,7	97,1		
3000	8	78,7	89,4	94	75
	32	82,1	94,4		
	50	86,8	98,7		

не можуть повернути в отвір між жалюзі 4, стикаються з жалюзі, відбиваються від них в напрямку руху великодисперсного пилу, відбиваються потоком назад, знов захоплюються газовим потоком, стикаються з жалюзі і відбиваються ними і т. д. до тих пір, доки не попадуть в потік, який рухається в напрямку до пиловипускного

патрубка 5. Невелика частина цього дрібнодисперсного пилю пронесеться разом з газовим потоком мимо патрубка виходу пилю 5 ближче до жалюзійного відокремлювача 3, але зустріне на своєму шляху відбивач 6, який розташований в апараті між верхнім правим краєм патрубка для виходу пилю 5 і жалюзійним відокремлювачем під певним кутом до вертикальної осі корпусу апарата.

Нами проведені порівняльні дослідження запропонованого горизонтального пиловловлювача із прототипом на експериментальному стенді НУ „Львівська політехніка”, результати яких наведені в табл.1. В якості пилю прийнятий кварцовий пісок.

Як видно з таблиці 1 переваги запропонованої конструкції очевидні.

Висновки. Шляхом створення пиловловлювача, жалюзійний відокремлювач в якому розташований в корпусі апарата вздовж осі аплікат, яка розміщена перпендикулярно до осі абсцис і осі ординат апарата, а також має відбивач пилю, розташований в корпусі апарата між верхнім правим краєм пиловипускного патрубка і жалюзійним відокремлювачем під кутом  $60^\circ$  до вертикальної осі корпусу апарата; крім того має два діаметрально протилежні патрубки для виходу очищеного газу, які розташовані по осі жалюзійного відокремлювача, а за межами корпусу апарата підіймаються вертикально вгору паралельно стінкам корпусу апарата і над кришкою апарата переходять у патрубок виходу очищеного повітря, який розташований співвісно корпусу апарата вздовж його вертикальної осі, нам вдалося досягти значного збільшення на 10-12% ефективності вловлення дрібнодисперсного пилю у порівнянні з еталоном – циклоном ЦН-11, зменшивши при цьому гідравлічний опір (енергоємність) і витрати матеріалу (металоємність).

У даний час проводиться впровадження запропонованого апарата в системах очистки повітря при обробці матеріалів на металообробних верстатах.

### Список літератури

1. Патент на корисну модель № 20786В01Д45/12 від 31.07.06; Циклон із горизонтальним віддільником/ Параняк Н.М. №И200608582 Опубл. 15.02.2007. Бюл.№ 2, 2007
2. Параняк Н.М. Зумовленість та стан екологічної безпеки України /Дадак Ю.Р.// Наукові вісті інституту менеджменту та економіки» Галицька академія»
3. Батлук В.К. The Problem of Highly Effective Cleaning of air from dust/ Modern problems of radio engineering, telecommunicataions and computer science. Proceedings of the International Conference TCSET 2006, Lviv-Slavsko, Ukraine.c.46-48.

---

УДК 621.9

В.В. Вовк, ас., В.А. Токунов, маг.  
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м. Київ, Україна

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНИЧЕСКИХ ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ СФЕРИЧЕСКИХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ

---

*В статті вирішена задача визначення геометричних параметрів сферичних кінцевих фрез з конічними передньою та задньою поверхнями в кінематичній системі координат. На основі цих залежностей, в результаті аналізу впливу кутів нахилу, випередження осі фрези та величини подачі на кінематичні геометричні параметри, можливо визначити такі їх значення, при яких їх зміна вздовж різальної кромки не буде перевищувати задану величину.*

*The problem of definition geometrical parameters of the spherical end milling cutters with conical front and back surfaces in the kinematics system of co-ordinates is solved in the articles. Based on these relationships and the analysis of the influence of tilt angles, the advance axis cutter and feed on the kinematics geometric parameters may define such of their value at which they change along the cutting edge does not exceed the specified value.*

---

**Вступление.** Одними из основных параметров, определяющих протекание процесса резания и явлений, его сопровождающих, являются геометрические параметры режущей части инструмента. Инструментальные геометрические параметры, которые используются для изготовления и контроля инструмента, не учитывают действительное направление скорости резания в различных точках режущих кромок при установке инструмента на станок [1, 2]. Статическая же система координат используется для приближенных расчетов углов режущей кромки в процессе резания [1], поскольку определяется относительно скорости главного, а не результирующего движения