

## ОГЛЯД ОЗДОБЛЮВАЛЬНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЇ МАСИ В СЕРЕДОВИЩІ ВІЛЬНИХ АБРАЗИВІВ

Машинобудування має великий арсенал технологічних прийомів і можливостей, спрямованих на вирішення завдань, пов'язаних з досягненням високої якості і продуктивності оздоблювальної обробки, зачистка деталей малої жорсткості і масою 25 - 40 г в даний час залишилася не механізованою і часто здійснюється вручну.

У зв'язку з цим пошук і розробка нових методів оздоблювальної обробки, їх механізація і автоматизація, особливо для дрібних деталей малої маси, з наявністю важкодоступних ділянок (отворів, пазів), є актуальним завданням.

Гострота проблеми полягає в тому що для основних операцій обробки (штампування, точіння, фрезерування і т. д.) все частіше використовується високопродуктивне обладнання (яке не може забезпечити потрібної нам технологічної точності, шорсткості і матовості), а операції по оздоблювальній обробці, на зазначених деталях, в основному виконуються вручну (що є нетехнологічним енергоємним процесом і забирає багато часу) або з використанням найпростіших слюсарних засобів (пристроїв), в результаті чого трудомісткість оздоблювальних операцій становить від 10% до 60% загальної трудомісткості від виготовлення деталей і має тенденцію до зростання.

Механізація оздоблювальної обробки деталей малої маси, а також важкодоступних ділянок, очевидно, можлива при застосуванні таких методів обробки, в яких в якості робочого середовища використовуються дрібнозернисті абразиви.

Аналіз різних методів обробки дрібнозернистим абразивом показує, що деякі з них не дозволяють проводити обробку дрібних незакріплених деталей, закріплення вкрай утруднено (внаслідок їх розмірів), ряд методів виявляються неефективними при обробці важкодоступних ділянок або володіє низькою продуктивністю, інші методи не знайшли застосування через експлуатаційні недоліки.

Віброабразивна обробка є найбільш перспективним і продуктивним методом оздоблювальної обробки. Вона становить в загальному по машинобудуванню 6-70% трудомісткості виготовлення деталей і дозволяє охопити широкий діапазон оброблюваних деталей як за габаритами і масам, так і за видами оброблюваних матеріалів і їх фізико-механічними характеристиками.

**Ключові слова.** Оздоблювальна обробка, вільний абразив, робоче середовище, псевдо-зріджений шар, амплітуда коливань, хімічно-активний розчин, гранульована робоче середовище, мікрорізання.

**Постановка проблеми.** Високопродуктивна обробка деталей з важкодоступним розташуванням поверхонь є складною технологічною задачею [1-8]. Процес заокруглення крайок і знімання задилок на заготовках з важкодоступними поверхнями представляє певні труднощі внаслідок великого різноманіття форм контурів, необхідності видалення матеріалу на невеликих ділянках, не зачіпаючи при цьому основної його частини, і ін. Особливі труднощі викликає обробка складно-профільних внутрішніх поверхонь малого діаметра і розміру, так як від розмірів оброблюваних деталей і важко доступність знімання задилок залежить доступ абразивних частинок технологічного середовища до різних ділянок поверхонь і відповідна інтенсивність обробки. У малорозмірних деталях, що мають малі глухі кишень, отвори, пази і поглиблення, інтенсивність обробки низька, виникає необхідність більш ретельного підбору розміру і форми

## Машинобудування і зварювальне виробництво

частинок технологічних середовищ. Видалення задирок та обробка подібних деталей відмінна від обробки легкодоступних поверхонь своєю різко визначеною не стаціонарністю, рівень якої, в свою чергу, значно впливає на визначення необхідних режимів процесів обробки і вибір устаткування. У зв'язку з цим перед вибором технології обробки та необхідного обладнання повинен стояти детальний аналіз закономірностей, характерного процесу обробки складно доступних пазів і отворів деталей.

Одними з головних завдань сучасного виробництва є підвищення продуктивності праці і якості продукції, зниження трудомісткості і собівартості продукції, що випускається. Одним із шляхів реалізації цих завдань в машинобудуванні є інтенсифікація існуючих методів слюсарної обробки деталей за рахунок їх автоматизації. Автоматизація слюсарних операцій є досить складною проблемою. На даний момент велика кількість слюсарних операцій залишається неавтоматизованими. На вирішення цих завдань спрямоване впровадження методів обробки абразивними гранулами для таких операцій, як з'єм задирок і округлення гострих кромки для деталей практично будь-яких форм і розмірів. Одним з методів оздоблювальної обробки заготовок є абразивна обробка. Однак більш поширені методи обробки закріпленням абразивом, такі як шліфування, хонінгування, притирання, доведення і ін., можуть бути застосовані, в основному, для оздоблювальних операцій простих за формою деталей, в той час як обробка в середовищі вільного абразиву (вібраційна обробка, відцентрово-ротаційна обробка, турбоабразивна обробка, струменево-абразивна обробка та інші) дозволяє підвищити продуктивність в порівнянні з ручною і дає можливість при мінімальних витратах обробляти деталі практично будь-якої форми і розмірів. Проте широке впровадження і подальше вдосконалення даних методів і їх інтенсифікація стримуються недостатньою їх вивченістю і відсутністю способів для обробки окремих типів деталей, в результаті чого ряд з перерахованих вище операцій виконується вручну або малопродуктивними засобами. Наприклад, обробка важкодоступних ділянок деталей, зачистка деталей, маючих малу жорсткість, і поверхонь, пошкодження яких при взаємному зіткненні в процесі обробки неприпустимо, округлення гострих кромки і зачистка поверхонь на малорозмірних деталях з малими пазами і отворами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглядаючи вже відомі методи обробки складно-профільних поверхонь деталей, приходимо до висновку, що не всі технологічні методи забезпечують стабільність процесу оздоблювальної обробки і призводять до досягнення зазначеної шорсткості складно-профільних поверхонь і якості виробу в цілому. Тому для обробки конкретних деталей необхідно ретельно підбирати технологічне обладнання, метод обробки, розмір абразиву, робочого середовища і режими обробки.

**Мета дослідження.** У даній роботі обґрунтовується актуальність досліджень оздоблювальної обробки деталей малої маси. Представлений огляд способів знімання задирок і округлення гострих кромки деталей в середовищі вільних абразивів. Показано, що віброабразивна обробка є найбільш ефективним методом видалення задирок у деталей малої маси зі складно-доступними поверхнями і має ряд переваг перед іншими способами, так як обробка подібних деталей являє собою складну задачу в зв'язку з ускладненням доступу робочого середовища і загинанням задирок всередину пазів і отворів.

**Основний матеріал дослідження.** Знімання задирок у важкодоступних місцях деталі і округлення гострих кромки деталі за допомогою вільних абразивних частинок може здійснюватися такими способами.

1. Для проведення оздоблювальних робіт застосовують ударну обробку, такі методи, як дробеструминний, гідропіскоструминний і гідрокавітаційний. Відомі також дробеметна, гідрокавітаційноабразивний, піскоструминний, пневмодробеструминний, пневмо-шариковий і пневмопластмошариковий методи обробки [7]. Ударні методи широко поширені в промисловості. Вони застосовуються для зачистки і зміцнення заготовок середніх і невеликих розмірів. Ударні методи ефективні при зміцнюючих і інших методах оздоблювальної обробки, але не можуть

застосовуватися при обробці деталей з м'яких матеріалів і деталей з малою жорсткістю, що мають малі розміри.

2. Обробка складних фасонних поверхонь і отворів деталей здійснюється повітряно-абразивними або повітряно рідинно-абразивними струменями [6]. При обробці отворів в струменевому апараті щільно видні сопла розташовуються віялом. Абразивне середовище надходить в струменений апарат, частинки за допомогою енергії стиснутого повітря рухаються зі швидкістю 100 - 200 м/с і розсіюються у вигляді струменя. Такі струменеві апарати застосовують лише при найтонших доводочних операціях, де поверхня дотику струменя з атмосферним повітрям відносно велика, внаслідок чого кінетична енергія абразивної частинки зменшується і з'їм металу скорочується. Струмінь абразивних частинок, вдаряючись з поверхнями деталі, обробляє їх. До основних технологічних факторів, що впливають на результати обробки, відносять тиск стисненого повітря, зернистість і тип абразивного матеріалу, кут зіткнення струменя, а також час обробки.

3. При обробці внутрішніх поверхонь деталі на порцію абразивного матеріалу впливають зустрічно спрямованими спіралевидними потоками стиснутого повітря, в результаті чого абразивний матеріал починає обертатися і утворює кільце, яким ведеться струменева обробка. Стиснене повітря спрямовується спіралевидно уздовж оброблювальних поверхонь в одну сторону і одночасно з цим змінюється протилежно по фазі інтенсивності потоку енергоносія [8]. Залежно від вибору робочого середовища (сталеві кульки, абразивні частинки і т. д.) забезпечується або очищення і полірування, або зміцнення оброблюваної поверхні деталі.

4. Відомий спосіб, коли для знімання задирок у деталей, малих розмірів, як технологічне середовище застосовують кристали льоду [3]. Даний процес ведеться із застосуванням ультразвукових хвиль. В якості технологічного середовища застосовуються кристали льоду, які безперервно подаються з технологічною рідиною протягом всієї обробки, розмір кристалів льоду застосовується рівним 0,08-0,18 мм. Також температура технологічної рідини, наприклад, води, підтримується в діапазоні (+ 1 ... + 3) °С. Кристали льоду утворюються шляхом розпилення струменя води потоком повітря в обсязі морозильної камери. Даний процес призначений для використання в оздоблювальних операціях деталей машин малих розмірів, вироблених переважно з легких сплавів і полімерів, що мають низьку межу міцності і модуль пружності. Встановлено, що при використанні кристалів льоду, відповідними розміру зерен абразиву, відбувається досить інтенсивне руйнування задирок, але не вдається повністю їх усунути і сформувати достатній радіус заокруглення крайок (0,05 і 0,1 мм відповідно). У разі застосування більших кристалів ефект по округлення крайок ще менше (0,03 і 0,1 мм). Це пов'язано з вихідної округлої формою кристалів і їх таненням, внаслідок чого вони не мають достатньо гострими вершинами і крайками, характерними для абразивних частинок, і не здатні ефективно різати опрацьований матеріал. У разі застосування дрібних кристалів зменшення задирок проходить мало інтенсивне, а округлення крайок не відбувається зовсім. Це пов'язано з таненням дрібних частинок льоду в воді, що різко знижує їх концентрацію і не може досить ефективно компенсуватися подачею нових частинок. Також найбільш близьким є спосіб кавітаційно-абразивного видалення задирок, заснований на ефектах підвищення ерозійних і кавітаційних активностей акустичного поля, при якому деталі поміщаються в технологічну рідину, що містить певну концентрацію твердих частинок абразиву, в обсязі якої збуджують ультразвукові коливання [5].

5. Для видалення задирок і округлення крайок застосовується анодно-абразивний спосіб, обробка ведеться в середовищі електроліту і абразивного наповнювача, які знаходяться в обертовому циліндричному барабані, де також розміщений електрод. При цьому барабан і електрод підключені до різнойменних полюсів джерела технологічної напруги, що відрізняється тим, що обробку здійснюють з використанням електрода, виконаного у вигляді відбивача у вигляді криволінійної форми [4]. При обертанні із заданою частотою барабана виникають

## Машинобудування і зварювальне виробництво

відцентрові сили які притискають оброблювані деталі, абразивний наповнювач і електроліт до перфорованої обичайці, які з великою швидкістю переміщуються до відбивача. Даний спосіб має ряд недоліків: конструктивна складність установки, обробка не струмопровідних матеріалів неможлива.

6. В оброблюємий отвір деталі поміщають гранули між двома ущільнювачами, утворюючи таким чином робочу камеру, за допомогою ущільнювачів робоче середовище стискають (1-2 МПа). Після цього її переміщують уздовж осі каналу оброблюваної поверхні, разом з цим технологічному середовищі повідомляють амплітудні коливання і силові імпульси, що дає можливість обробляти деталі змінного перерізу по довжині, а також мають форму еліпса в поперечному перерізі.

7. Відомий спосіб відцентрової обробки внутрішніх поверхонь деталей в контейнерах з планетарним обертанням, зокрема, для полірування стінок каналів втулок, кілець, труб [6]. Для даної обробки застосовують контейнер, якому повідомляється планетарне обертання навколо паралельних осей в протилежних напрямках. Технологічне середовище завантажується всередину каналу оброблюваних деталей, що закривається з одного боку технологічною заглушкою. Перед обробкою деталі встановлюються радіально в посадочні гнізда контейнера з жорсткою фіксацією і нахилом до осі власного обертання контейнера, забезпечуючи циклічне осьове переміщення робочої середовища уздовж оброблюваних поверхонь каналу.

8. Через канали в деталі зворотно-поступальним рухом багаторазово прокачують абразивну масу під тиском 1,5-15 МПа [1-4]. З метою підвищення якості обробки направляючий елемент беруть з отворами, який плавно розширюється від торцевих поверхонь.

9. Відомий спосіб, коли для оздоблювальної обробки отворів деталей, в них поміщають абразивну середу, що подається на оброблювані поверхні за допомогою спеціального пристосування. Цей пристрій знаходиться на кінці валу, який здійснює обертальний рух. Крім лопаток, розташованих по периферії, пристрій має паралельну вісь обертання. Під час обертання пристрою периферійні лопатки підбирають абразивні зерна, що лежать на дні оброблюваного отвору, і підкидають їх до верхньої частини порожнини. Після зіткнення з нею, абразивний суміш падає частково на лопатки, які змінюють напрямок їх руху до бічних стінок.

10. Для обробки внутрішніх поверхонь і знімання задирок застосовують струменево-абразивне шліфування. Технологічна схема процесу на основі вихрового закручування потоку суспензії дозволяє збільшити тангенціальні складові швидкості руху струменя, що дає можливість підвищити продуктивність процесу.

11. Відомий спосіб, коли отвір оброблюваної заготовки заповнюється рідиною, що має властивість тверднути в магнітному полі. Після цього рідину відводять разом зі стружкою в збірник стружки, після чого вплив магнітного поля припиняється.

12. Для видалення задирок в отворах використовують процес магнітно-абразивної обробки, при якому в зазор, утворений між отвором і індуктором розміщують феро-абразивний порошок. Пристрій магнітно-абразивної обробки приводять в обертання навколо власної осі і в планетарне рух. Індуктору також надається осьовий коливальний рух [2].

13. Для обробки складно доступних поверхонь заготовок застосовується процес вібраційної обробки. Абразивні частинки здійснюють коливальний рух в віброверстаті одночасно з деталями [4-6].

14. Відцентрово-ротаційна оздоблювальна обробка отворів, заснована на формуванні тороїдального потоку абразивних частинок. Технологічне середовище разом з оброблювальними заготовками здійснює спіралевидний рух. Характерною рисою даного методу є те, що частинам технологічної маси робочого резервуара, яка контактує з обертовим дном, повідомляється додаткове рух частинок щодо заготовок шляхом періодичного реверсивного руху дону верстата протягом циклу обробки.

## Машинобудування і зварювальне виробництво

Завдяки високій продуктивності і великим технологічним можливостям методів обробки в середовищі вільних абразивів, а також і можливості автоматизації процесу обробки деталей складної конфігурації з різних матеріалів при проведенні оздоблювальних операцій їх ставлять в число найбільш використовуваних способів фінішної обробки деталей. Однак існує необхідність продовжувати всебічні дослідження, що сприяють широкому впровадженню цих процесів у виробництво. Найбільш перспективною технологією оздоблювальної обробки деталей з малими внутрішніми складно-профільними поверхнями є вібраційна обробка в середовищі вільного абразиву, яка дозволяє забезпечувати необхідну ефективну швидкість переміщення абразивного середовища для тіл з малою масою і низькою жорсткістю. В теперішньому часі проведений великий обсяг робіт в області обробки заготовок складної форми в середовищі вільних абразивів [1, 2, 6]. Протягом останніх років багато хто з цих способів були детально вивчені. Однак обробка деталей, що мають малі пази і отвори з важкодоступним розташуванням задирок значно ускладнена і досліджена недостатньо повно. Необхідно зауважити, що основною причиною, що утрудняє широке використання даного процесу, є відсутність актуальної та достовірної інформації по режимам обробки подібних деталей за допомогою абразивних робочих середовищ. Малі розміри і загинання задирок всередину пазів і отворів також є серйозною перешкодою для отримання необхідних відносних швидкостей робочих тіл технологічного середовища в процесі обробки. Слід зазначити, що такі деталі широко поширені в різних галузях промисловості, особливо на радіотехнічних підприємствах, тому успішні результати даної роботи будуть мати важливе наукове і прикладне значення.

### ВИСНОВКИ

Пропонована тема досліджень є актуальною і має науковою новизною, так як питання оздоблювальної обробки складно-профільних поверхонь деталей, що мають пази і отвори малих розмірів, до сих пір повністю не вирішені. Аналіз існуючих методів оздоблювальної обробки деталей забезпечить стабільність процесу, досягнення заданої шорсткості поверхонь деталей, розширить діапазон оброблювальних деталей, а також знизить трудомісткість оздоблювальних операцій.

#### Список використаних джерел:

1. *Бабичев, А. П.* Вибрационная обработка деталей / *А. П. Бабичев.* – М. : Машиностроение, 1974. – 134 с.
2. *Тамаркин, М. А.* Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08 / *Тамаркин Михаил Аркадьевич.* – Ростов-на-Дону, 1995. – 298 с.
3. *Gillespie, L. K.* Deburring and Edge Finishing Handbook / *L. K. Gillespie.* – [S. l.] : Society of Manufacturing Engineers, 1999. – 404 p.
4. *Агранат, Б. А.* Ультразвуковая технология / *Б. А. Агранат.* – М. : Металлургия, 1974. – 236 с.
5. *Гудушаури, Э. Г.* Теория вибрационных технологических процессов при некулоновом трении / *Э. Г. Гудушаури, Г. Я. Пановко.* – М. : Наука, 1988. – 144 с.
6. *Димов, Ю. В.* Обработка деталей свободным абразивом / *Ю. В. Димов.* – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2000. – 293 с.
7. *Димов, Ю. В.* Обработка деталей эластичным инструментом / *Ю. В. Димов.* – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2007. – 352 с.
8. *Королев, А. В.* Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки / *А. В. Королев, Ю. К. Новоселов.* – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 320 с.

### ОБЗОР ОТДЕЛОЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЙ МАССЫ В СРЕДЕ СВОБОДНЫХ АБРАЗИВОВ

*Машиностроение обладает большим арсеналом технологических приемов и возможностей, направленных на решение задач, связанных с достижением высокого качества и производительности отделочной обработки, зачистка деталей малой жесткости и массой 25 - 40 г в настоящее время осталась не механизированной и часто осуществляется вручную.*

*В связи с этим поиск и разработка новых методов отделочно-зачистной обработки, их механизация и автоматизация, особенно для мелких деталей малой массы, с наличием труднодоступных участков (отверстий, пазов), является актуальной задачей.*

*Острота проблемы заключается в том, что для основных операций обработки (штамповка, точение, фрезерование и т. д.) все чаще используются высокопроизводительное оборудование (которое не может обеспечить нужной нам технологической точности шероховатости и матовости), а операции по зачистной обработке, на указанных деталях, в основном выполняются вручную (что является нетехнологичным энергоемким процессом и забирает много времени) или с использованием простейших слесарных средств (приспособлений), в результате чего трудоемкость зачистных операций составляет от 10 % до 60 % общей трудоемкости от изготовления деталей и имеет тенденцию к возрастанию.*

*Механизация отделочно-зачистной обработки деталей малой массы, а также труднодоступных участков, очевидно, возможна при применении таких методов обработки, в которых в качестве рабочей среды используются мелкозернистые абразивы.*

*Анализ различных методов обработки мелкозернистым абразивом показывает, что некоторые из них не позволяют производить обработку мелких незакрепленных деталей, закрепление крайне затруднено (вследствие их размеров), ряд методов оказываются неэффективными при обработке труднодоступных участков либо обладает низкой производительностью, другие методы не нашли применения из-за эксплуатационных недостатков.*

*Виброабразивная обработка является наиболее перспективным и производительным методом отделочно-зачистной обработки. Она составляет в общем, по машиностроению 6-70 % трудоемкости изготовления деталей и позволяет охватить широкий диапазон обрабатываемых деталей как по габаритам и массам, так и по видам обрабатываемых материалов и их физико-механическим характеристикам.*

**Ключевые слова.** *Зачистная обработка, свободный абразив, рабочая среда, псевдо-жидкий слой, амплитуда колебаний, химически-активный раствор, гранулированная рабочая среда, микрорезание.*

### OVERVIEW OF FINISHING METHODS FOR PROCESSING LOW-WEIGHT PARTS IN A FREE ABRASIVE ENVIRONMENT

*Mechanical engineering has a large arsenal of technological methods and capabilities aimed at solving problems associated with achieving high quality and productivity of finishing processing, cleaning of parts of low rigidity and weighing 25-40 g is currently not mechanized and is often carried out manually.*

## Машинобудування і зварювальне виробництво

*In this regard, the search and development of new methods of finishing and cleaning, their mechanization and automation, especially for small parts of low weight, with the presence of hard-to-reach areas (holes, grooves), is an urgent task.*

*The severity of the problem lies in the fact that for the basic processing operations (stamping, turning, milling, etc.), high-performance equipment is increasingly used (which cannot provide the required technological accuracy of roughness and haze), and the operations for cleaning, on the specified parts, are mainly carried out manually (which is a low-tech, energy-intensive process and takes a lot of time) or using the simplest plumbing tools (devices), as a result of which the labor intensity of cleaning operations is from 10 % to 60 % of the total labor intensity from the manufacture of parts and tends to increase.*

*Mechanization of finishing and cleaning processing of parts of low weight, as well as hard-to-reach areas, is obviously possible when using such processing methods in which fine-grained abrasives are used as a working medium.*

*Analysis of various methods of processing with fine-grained abrasive shows that some of them do not allow processing small loose parts, fastening is extremely difficult (due to their size), a number of methods are ineffective when processing hard-to-reach areas or have low productivity, other methods have not found application due to operational disadvantages.*

*Vibro-abrasive treatment is the most promising and productive method of finishing and cleaning. In general, in mechanical engineering, it makes up 6-70 % of the labor intensity of manufacturing parts and allows you to cover a wide range of processed parts both in size and weight, and in the types of processed materials and their physical and mechanical characteristics.*

**Keywords.** *Grinding, free abrasive, working medium, fluidized bed, vibration amplitude, chemically active solution, granular working medium, microcutting.*

*Стаття надійшла 15.02.2021 р.*

УДК 621.91

[doi.org/10.31498/2522-9990242021248682](https://doi.org/10.31498/2522-9990242021248682)

Водзянський В. В., Потлов В. О., Бантюков В. В.

### ВПЛИВ АБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПРОЦЕС ДОВЕДЕННЯ

*У роботі представлені результати досліджень проведених авторами при веденні технологічного процесу відновлення зношених поверхонь методом доведення контактних поверхонь великогабаритних деталей запірної арматури, попередньо оброблених на токарних верстатах до  $R_a=0,8$  мкм, для яких найважливішим експлуатаційним параметром є забезпечення максимальної щільності з'єднання. З метою виявлення впливу геометричної величини абразивного зерна на продуктивність процесу доведення, на шорсткість оброблюваних поверхонь, а також ряду механічних і фізичних характеристик зерна, що впливають на сам процес доведення кольорових металів гомогенної структури. Експерименти проводилися на великогабаритних деталях запірної арматури магістральних трубопроводів, їх ескізи представлені на відповідних рисунках. Аналіз літературних джерел у напрямі обробки контактуючих поверхонь дозволив вибрати з великої кількості запропонованих технологічних процесів і інструментів, доведення поверхні за допомогою пасти ДОІ, як найбільш ефективну у нашому випадку, тому що кольорові паски виготовлені з латуні або бронзи. В роботі вивчається вплив абразивної водонерозчинної пасти ДОІ з різними, за розмірами, зернами, до складу усіх цих паст в обов'язковому порядку входять поверхнево активні речовини (ПАР) з яких найбільш суттєво впливають на процес стеаринова і олеїнова кислоти. Дані речовини підтверджують фізико-хімічну гіпотезу академіка Гребеницькова, яка найбільше відповідає на сьогоднішній день*